

Aus der Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
Direktor: Prof. Dr. med. Hinnerk Wulf

Defibrillation bei einem präklinischen Herz-Kreislauf-Stillstand:
Konversionsraten und Rezidivhäufigkeiten in der Frühphase der
Reanimation durch den Rettungsdienst

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin

vorgelegt von

Dana Maresa Spies, geboren am 29.03.1991 in Marburg

Marburg, 2021

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am: 19.10.2021

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekanin: Frau Prof. Dr. Denise Hilfiker-Kleiner

Referent: Herr Prof. Dr. C. Kill

1. Korreferent: Herr Prof. Dr. B. Noll

Widmung

Diese Arbeit möchte ich meinen wunderbaren Eltern Ute und Ulrich Spies widmen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
1. Einleitung	1
1.1. Entstehung der Reanimation.....	1
1.2. Entstehungsgeschichte der Defibrillation	3
1.3. Leitlinien und Algorithmen	4
1.3.1 Basic Life Support (BLS) und Advanced Life Support (ALS).....	5
1.4. Formen des Herz-Kreislauf-Stillstandes und Bedeutung der EKG-Rhythmen..	7
1.5. Technik der Defibrillation.....	8
1.6. Stand der bisherigen Erkenntnisse	12
1.7. Ziele der Studie und Fragestellung	14
2. Material und Methoden.....	15
2.1 Untersuchungsraum.....	15
2.2 Systemgestaltung.....	15
2.3 Angewandte Guidelines	16
2.4 Datengewinnung	17
2.5 Ein- und Ausschlusskriterien	18
2.6 Verwendeter Defibrillator und Elektrodenposition	19
2.7 Datenexport.....	20
2.8 Datenkonvertierung.....	20
2.9 Datenanalyse	21
2.9.1 Technische Aufbereitung der Signale	21
2.9.2 Kriterien der Datenauswertung und Analyse	23
2.10 Primärer und sekundärer Endpunkt	25
2.11 Statistische Verfahren	25
2.12 Ethische Aspekte der Auswertung	26

3.	Ergebnisse	27
3.1	Beschreibung des Studienkollektivs.....	27
3.2	Graphische Darstellung der Auswertung	28
3.3	Defibrillationserfolg.....	33
3.4	Rezidive.....	34
3.5	Rhythmusanalyse nach Defibrillation	35
3.6	Zeitpunkt der Refibrillation nach erfolgreicher Defibrillation.....	36
3.7	Einzelanalyse der Rezidivzeitpunkte.....	37
3.8	Kumulative Ergebnisse des ersten bis dritten Schocks im Vergleich.....	39
4.	Diskussion.....	42
4.1	Diskussion und Interpretation der Ergebnisse	42
4.2	Diskussion im Kontext der bestehenden Literatur.....	47
4.3	Limitationen der Methodik	52
4.4	Ergebnisse im klinischen Kontext	55
4.5	Resümee und Ausblick	56
5.	Zusammenfassung	58
6.	Abstract	60
7.	Literatur	62
8.	Anhang	71
I.	Tabellendarstellung für die Auswertung	71
II.	Feedback-Bogen im Rahmen eines Reanimationseinsatzes	72
III.	Appendix.....	75
(1)	Tabellarischer Lebenslauf:.....	75
(2)	Verzeichnis der akademischen Lehrer und Lehrerinnen:	76
(3)	Danksagung.....	78
(4)	Urheberrechtserklärung	80
(5)	Ehrenwörtliche Erklärung.....	80

Abkürzungsverzeichnis

AHA	American Heart Association
ALS	Advanced Life Support
ANZCOR	Australian and New Zealand Committee on Resuscitation
AZ	Aktenzeichen
BLS	Basic Life Support
BTE	biphasic truncated exponential waveform = biphasischer abgeschnittener Exponentialimpuls
CPR	cardio-pulmonary Resuscitation = kardiopulmonale Reanimation
DC	direct current = direkte Stromstärke
EKG	Elektrokardiographie
ERC	European Resuscitation Council
GRC	German Resuscitation Council
HSFC	Heart and Stroke Foundation Canada
Hz	Hertz
IAHF	Inter American Heart Foundation
ILCOR	International Liaison Committee on Resuscitation
MDS	monophasic damped sinusoidal waveform = monophasische sinusoidale Wellenform
MR-BID	Landkreis Marburg-Biedenkopf
NAS-NCR	National Academy of Sciences-National Research Council
NEF	Notarzt-Einsatz-Fahrzeug
OHCA	out-of-hospital cardiac arrest = außerklinischer Herz-Kreislauf- Stillstand
PEA	pulslose elektrische Aktivität
(p)VT	(pulslose) ventrikuläre Tachykardie
RD	Rettungsdienst
RDFP	Rettungsdienstfachpersonal
RDMH	Rettungsdienst Mittelhessen
RLB	rectilinear biphasic waveform = biphasisch rechtwinklig linearer Impuls
ROOR	return of organized rhythm = Rückkehr eines organisierten Herzrhythmus
ROSC	return of spontaneous circulation = Rückkehr eines spontanen Herzkreislaufs
s	Sekunden
VF	Ventricular fibrillation = Kammerflimmern
WHO	World Health Organization

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	GRC – Leitlinien, Algorithmus: Advanced Life Support.....	6
Abb. 2	Monophasische Impulsform.....	8
Abb. 3	Biphasische abgeschnittene Impulsform	10
Abb. 4	Biphasische rechteckig lineare Impulsform.....	10
Abb. 5	Flowchart-Graphik der Ein- und Ausschlusskriterien.....	18
Abb. 6	Exemplarisches D-EKG inklusive aller Filter unter HDM.....	22
Abb. 7	Ablauf der Analyse der EKG-Datensätze	24
Abb. 8	EKG und Defibrillation in EDFTrace.exe.	28
Abb. 9	EKG-Ableitung mit Artefakten.....	28
Abb. 10	EKG-Ableitung mit Artefakten.....	29
Abb. 11	Persistierendes Kammerflimmern nach Schock.....	29
Abb. 12	Änderung des Herzrhythmus: VF zu ROOR.....	30
Abb. 13	Änderung des Herzrhythmus: VF zu Asystolie	31
Abb. 14	VF-Rezidiv nach organisiertem Herzrhythmus	32
Abb. 15	Defibrillationserfolgsrate Schock 1-3	33
Abb. 16	Rezidiv-Rate Schock 1-3	34
Tabelle 1	Herzrhythmen nach Schock 1-3	35
Abb. 17	Rezidiv-Zeitpunkte	36
Abb. 18	Rezidivzeitpunkte Schock 1-3 und alle Schocks	37
Abb. 19	Erfolgreicher Schock und VF-Rezidiv	39
Abb. 20	Defibrillationen im Vergleich	40
Abb. 21	Auswertung der Herzrhythmen.....	41

1. Einleitung

Die häufigste Todesursache weltweit ist laut WHO die ischämische Herzerkrankung [73]. Circa 16% aller ursächlich zum Tode führenden Erkrankungen sind auf eine Ischämie des Herzens zurückzuführen, die unbehandelt in einem Herz-Kreislauf-Stillstand enden kann. Tritt ein Herz-Kreislauf-Stillstand ein, hat es oberste Priorität, die Durchblutung und Versorgung der Organe durch eine kardio-pulmonale Reanimation sicherzustellen. Hierbei ist es äußerst wichtig, entsprechend den aktuellen Leitlinien, in einem adäquaten Verhältnis Thoraxkompressionen und Beatmungshübe zu praktizieren, aber auch so schnell als möglich, den Betroffenen an einen Defibrillator anzuschließen, um eine frühzeitige Defibrillation – sofern indiziert – durchzuführen.

Die vorliegende Dissertation widmet sich thematisch der Defibrillation, die während einer Reanimation durch den Rettungsdienst im Rahmen eines außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillstandes vorgenommen wird, und stellt ein Forschungsprojekt des Zentrums für Notfallmedizin der Universitätsklinik Marburg dar. Im Speziellen soll der Defibrillationserfolg und der Zeitpunkt eines möglichen Rezidivs eines defibrillierbaren Herzrhythmus untersucht werden.

1.1. Entstehung der Reanimation

Historisch werden erst seit weniger als zwei Jahrhunderten Maßnahmen zu einer Wiederbelebung des Menschen durchgeführt.

In der damaligen christlichen Vorstellung des 18. Jahrhunderts stand die Reanimation unter göttlichem Vorbehalt und oblag allenfalls den Entsandten Gottes. Eine durch den Menschen durchgeführte Wiederbelebung war im frühen 18. Jahrhundert sogar verboten. Erst im Zeitalter der das Individuum in den Vordergrund rückenden Aufklärung, wurde ab dem Jahr 1750, das christliche Verbot der Wiederbelebung immer mehr in Frage gestellt [25]. Die Notwendigkeit hierzu ergab sich

unter anderem infolge der vielen Patienten, die in den Jahren nach 1700 in den Häfen großer Städte Europas ertranken. Allein in Amsterdam zählte man über 400 Ertrinkungstote in einem Jahr, sodass von damalig führenden Wissenschaftlern nach immer neuen Wegen gesucht wurde, um das Leben eines Ertrunkenen zu retten. Im Jahr 1767 äußerte das „Establishment of the Amsterdam Rescue Society“ erstmals kollektiv den Wunsch, eben jene Personen retten zu wollen, die ein plötzlicher Tod – wie etwa bei einem Ertrinkungsunfall – ereilt hatte. Zwar konnten nach den Angaben der zuvor genannten Gesellschaft einige Leben auch damals schon gerettet werden, doch erst über 200 Jahre später sollte dies wirklich systematisch gelingen [25].

Im Jahr 1949 war schon seit vielen Jahrhunderten die Nützlichkeit der Mund-zu-Mund-Beatmung im Rahmen einer Neugeborenen-Versorgung bekannt. Dies machte sich insbesondere James Elam zu eigen und behandelte in diesem Wissen ein lebloses und zyanotisch aussehendes Kind, indem er es beatmete. Er vermochte den Erfolg seiner Beatmungen in der Veränderung des Hautkolorits von zyanotisch zu rosig sofort zu erkennen. Mit Blick auf seine Wahrnehmungen beabsichtigte er zu beweisen, dass die ausgeatmete Luft des Beatmenden ausreichend Sauerstoff enthält, um eine nicht-atmende Person am Leben zu erhalten. Einige Jahre später begegnete er Peter Safar, der diese These mittels freiwilliger Probanden testete und bestätigen konnte. Ab diesem Zeitpunkt galt die Behandlung der Apnoe bei einem Herz-Kreislauf-Stillstand als ein wichtiges Mittel der Reanimation.

Allerdings bestand weiterhin ein weniger offensichtliches Zeichen des Herz-Kreislauf-Stillstands: die Pulslosigkeit und daraus resultierend auch die fehlende Blutzirkulation, die unvermeidlich zu einer Unterversorgung der Organe – insbesondere des Gehirns – führt.

Die zweite in der heutigen Zeit unabdingbar notwendige Komponente der Reanimation stellt die rhythmische Thoraxkompression dar. Diese Kompressionen wurden erstmals im Jahre 1868 beschrieben, wobei der Grund hierfür vermutlich eine durch die Thoraxkompressionen hervorgerufene artifizielle Beatmung war [36]. Fast 100 Jahre später

machten drei Wissenschaftler die Entdeckung, dass Thoraxkompressionen zu einem Puls führen und somit die fehlende Blutzirkulation beheben können [42].

Im Jahr 1963 wurde dann die kardio-pulmonale Reanimation erstmals durch die American Heart Association (AHA) beschrieben [3].

1.2. Entstehungsgeschichte der Defibrillation

Ein weiteres essentielles Element der heutigen Reanimation ist die Defibrillation.

Dass ein elektrischer Impuls zu einer erneuten Pulsation führen kann, wurde schon im Jahr 1778 von Charles Kite entdeckt und beschrieben [6].

Es vergingen aber über hundert Jahre, bis McWilliam herausfand, dass ein fibrillierender Herzmuskel einen Grund für einen plötzlichen Herz-Kreislauf-Stillstand darstellen kann [48]. McWilliam zeigte zwar in seinen Publikationen, wie ein elektrischer Impuls im Herzmuskel eine Fibrillation hervorruft, er erkannte damals aber noch nicht, dass der elektrische Impuls nicht nur zu einer Fibrillation, sondern auch zu einer Termination der Fibrillation zu führen vermag. Dieser Zusammenhang zwischen einem elektrischen Schock und der Defibrillation des Herzmuskels wurde 1920 wieder aufgegriffen. Hieraus ergab sich auch der englische Fachterminus „countershock“. Damalige Forscher induzierten mit einem ersten elektrischen Impuls ein Kammerflimmern (ventricular fibrillation, VF) und terminierten dann das Kammerflimmern mit einem zweiten Schock, dem „countershock“. Dieser Begriff war lange Zeit das Synonym für die Defibrillation [34].

Im Jahr 1956 erforschte und entwickelte Paul Zoll daraufhin einen externen Defibrillator und publizierte seine Ergebnisse im New England Journal of Medicine [74]. Das damals weiterhin bestehende Problem der fehlenden Portabilität durch die bislang sehr schweren Defibrillatoren wurde von Bernard Lown mittels der Verwendung direkter Stromstärke (direct current, DC), die einen Kondensator innerhalb weniger Sekunden auflädt, gelöst. Damit war es möglich, den Defibrillator auch zum Patienten

zu transportieren. Die monophasische Schockabgabe des Defibrillators wurde später als die „Lown-waveform“ bezeichnet.

Aber nicht nur in der westlichen Welt erforschte man diese Art von elektrischer Therapie. Auch Forscher der ehemaligen Sowjet Union veröffentlichten im Jahr 1939 eine Arbeit, die die Effektivität der direkten Stromstärke (DC) für eine Defibrillation zeigte [29]. Einer der führenden sowjetischen Forscher war Naum Gurvich, der in den 1940er Jahren seine Erkenntnisse mit den Ergebnissen der Forschung zu der vulnerablen Phase des Herzens von „Wiggers und Wegria“ [19] assoziierte. In diesem Zusammenhang verwendete Gurvich schon im Jahr 1939 einen biphasischen elektrischen Impuls, offensichtlich ohne sich der Überlegenheit dieser Wellenform des Stroms im Rahmen einer Defibrillation zu dem damaligen Zeitpunkt bewusst gewesen zu sein. Im Jahr 1952 designte Gurvich den ersten kommerziell verfügbaren transthorakalen DC Defibrillator mit einem monophasischen Defibrillationsimpuls, bezeichnet als ID-1-VEI [15].

Bis heute sind die Erkenntnisse der Beatmung, der Herz-Druck-Massage und der Defibrillation als Grundlagen der Reanimationsmaßnahmen, die in Leitlinien und Algorithmen festgelegt wurden, anzusehen.

1.3. Leitlinien und Algorithmen

Im Rahmen der medizinischen Versorgung von Patienten mit einem Herz-Kreislauf-Stillstand ist ein Vorgehen nach Leitlinien essentiell, um eine gleichmäßig gute Behandlung und das für den einzelnen Patienten beste Ergebnis („Outcome“) gewährleisten zu können.

Die ersten Leitlinien für eine kardio-pulmonale Reanimation wurden in den USA 1966 durch ein Komitee (ad hoc Committee on Cardiopulmonary Resuscitation culminated in a Conference on Cardiopulmonary Resuscitation at the National Academy of Sciences-National Research Council (NAS-NRC)) veröffentlicht [1] und in den darauffolgenden Jahren mehrfach überarbeitet sowie dem aktuellen Wissensstand angepasst.

1988 formierte sich in Europa die europäische Versammlung für Wiederbelebung (European Resuscitation Council, ERC), die die Erkenntnisse und den Wissensstand zusammenfasste und Richtlinien für die Reanimation in Europa bereitstellte [13].

Um ein Forum für den Austausch und die Möglichkeit der Zusammenarbeit zwischen den Hauptvertretern der Wiederbelebungsorganisationen zu etablieren, vereinigten sich 1992 die „American Heart Association (AHA)“, „European Resuscitation Council (ERC)“, „Heart and Stroke Foundation Canada (HSFC)“, „Australian and New Zealand Committee on Resuscitation (ANZCOR)“, „Resuscitation Councils of South Africa (RCSA)“, „Inter American Heart Foundation (IAHF)“ und „Resuscitation Council of Asia“ zu der „International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR)“.

Die insoweit veröffentlichten evidenzbasierten Leitlinien bilden die maßgeblichen Vorgaben für die nationalen Reanimations-Richtlinien und Algorithmen und wurden zuletzt 2021 durch ERC und German Resuscitation Council (GRC) für Deutschland veröffentlicht.

1.3.1 Basic Life Support (BLS) und Advanced Life Support (ALS)

Bei einem außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillstand entscheiden wenige Minuten über Leben oder Tod des Patienten. Deshalb hat die kardio-pulmonale Reanimation höchste Priorität.

Im Rahmen des Basic Life Supports werden bei einem erwachsenen Patienten Herz-Druck-Massage und Beatmung in einem Wechsel von 30:2 durchgeführt. Dies kann auch ein medizinischer Laie vornehmen. Ein frühzeitiger Notruf sollte getätigt werden, um so schnell wie möglich medizinisches Fachpersonal an der Einsatzstelle „empfangen“ zu können. Das Vorgehen nach Advanced Life Support ist dem medizinischen Fachpersonal zu überlassen und beinhaltet neben den Maßnahmen des BLS auch erweiterte Maßnahmen. Die Abb. 1 zeigt die Vorgehensweise nach dem ALS-Algorithmus.

ERWEITERTE REANIMATIONSMASSNAHMEN

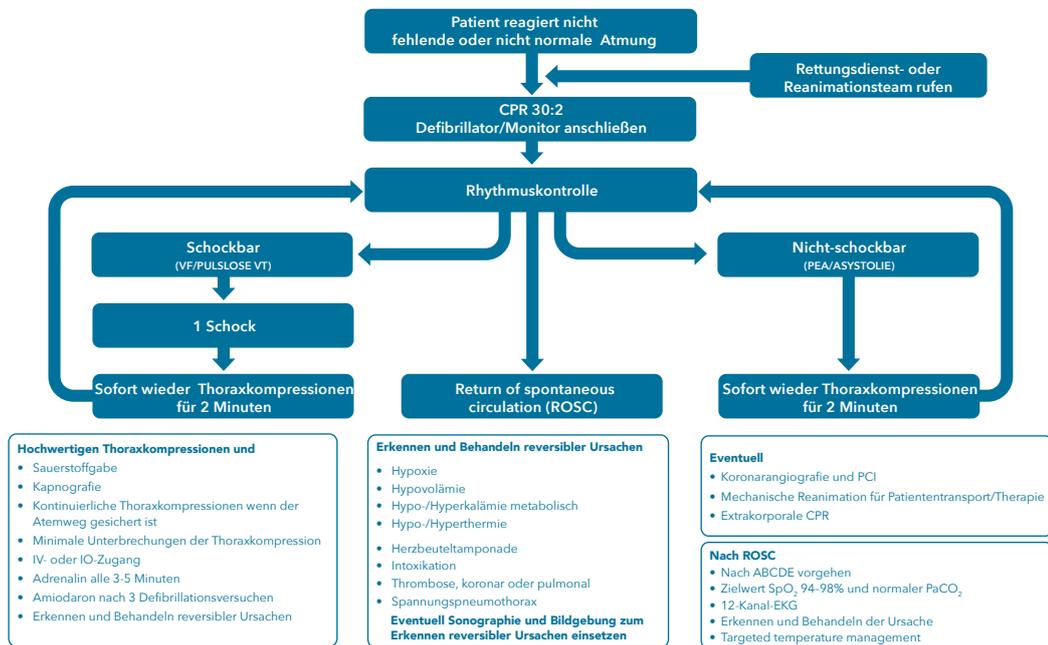


Abb. 1 GRC – Leitlinien, Algorithmus: Advanced Life Support
Aus „Rettungs+Notfallmedizin“, © German Resuscitation Council (GRC) und Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021

Die Abb.1 zeigt eine Handlungsanweisung für das medizinische Fachpersonal im Falle einer Reanimation.

Das Vorgehen nach Advanced Life Support umfasst erweiterte Maßnahmen, wie einen Defibrillationsimpuls, eine Atemwegssicherung, die Anlage eines intravenösen oder intraossären Zugangs und eine Medikamentenapplikation (Abb. 1).

Die frühestmögliche Ableitung eines Elektrokardiogramms über den Defibrillator ist von äußerster Wichtigkeit, um den initial vorliegenden Herzrhythmus erfassen und frühzeitig bei malignen Herzrhythmusstörungen auch therapieren zu können.

1.4. Formen des Herz-Kreislauf-Stillstandes und Bedeutung der EKG-Rhythmen

Im Rahmen eines Herz-Kreislauf-Stillstandes sind zwei unterschiedliche Formen von Herzrhythmen möglich:

Die deutlich häufiger vorkommenden nicht defibrillierbaren, hypodynamen Herzrhythmen, wie die pulslose elektrische Aktivität (PEA) und die Asystolie. Seltener ist ein initial defibrillierbarer, hyperdynamer Herzrhythmus im Sinne eines Kammerflimmerns (VF) oder einer pulslosen ventrikulären Tachykardie (pVT) festzustellen [47].

Hypodyname Formen des Herz-Kreislauf-Stillstandes zeigen eine bradykarde elektrische Aktivität, ohne jeglichen Auswurf, oder eine Asystolie. Diese Form wird nach den gültigen Reanimations-Leitlinien des ERC nicht defibrilliert. Sofortige Thoraxkompressionen haben hier die höchste Priorität [50].

Die hyperdynamen, defibrillierbaren Herz-Kreislauf-Stillstände werden in zwei Formen eingeteilt: Das Kammerflimmern und die pulslose ventrikuläre Tachykardie.

Bei einem initialen Kammerflimmern offenbaren sich viele einzelne unkoordinierte elektrische Impulse der Herzzellen, wodurch eine arrhythmische, tachykarde und gezackte Linie im EKG sichtbar wird. Durch die ungeordneten Impulse des Myokards kann keine geordnete Kontraktion mehr stattfinden, weshalb der Blutstrom zum Erliegen kommt. Die elektrische Defibrillation ist die zum aktuellen Zeitpunkt einzige wirksame Therapie dieser malignen Herzrhythmusstörung und deshalb entscheidend für das Überleben. Daher empfehlen die internationalen Richtlinien eine schnellstmögliche Defibrillation [31], gefolgt von sich sofort anschließenden Thoraxkompressionen für zwei Minuten mit anschließender erneuter Herzrhythmusanalyse.

Bei einer pulslosen ventrikulären Tachykardie kommt die Auswurfleistung des Herzens zum Erliegen. Auch bei diesem Herzrhythmus ist ein schnellstmöglicher Defibrillationsversuch als therapeutische Maßnahme durchzuführen.

1.5. Technik der Defibrillation

Die Defibrillation beschreibt eine Abgabe eines elektrischen Impulses mit dem Ziel, die Herzmuskelzellen alle gleichzeitig zu depolarisieren [14]. Per definitionem wird eine Defibrillation dann notwendig, wenn ein Patient mit einem Herz-Kreislauf-Stillstand einen „schockbaren“ Herzrhythmus, wie ein Kammerflimmern oder eine pulslose ventrikuläre Tachykardie, aufweist. Für jede Schockabgabe während einer Reanimation wird im umgangssprachlichen medizinischen Gebrauch das Wort „Defibrillation“ verwendet. Allerdings ist der elektrische Impuls nur dann im medizinischen Sinne auch eine „wahre Defibrillation“, wenn sich der Herzrhythmus von einem „fibrillierenden“ Rhythmus zu einem anderen Herzrhythmus verändert, also eine Termination des Kammerflimmerns erwirkt wird.

Man differenziert zwischen monophasischen und biphasischen Defibrillationsimpulsen.

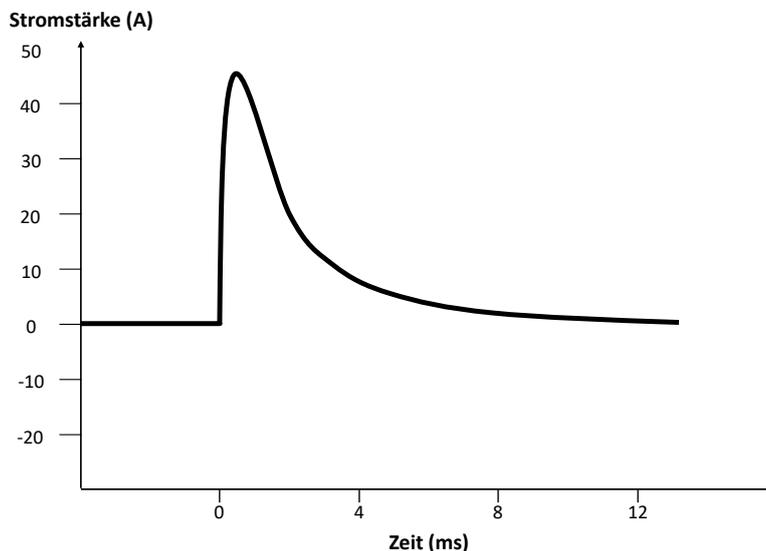


Abb. 2 Monophasische Impulsform

Die Abb. 2 zeigt die Stromkurve eines monophasischen Defibrillationsimpulses aufgetragen auf die Zeit in Millisekunden.

Bei einer monophasischen Defibrillation fließt der elektrische Impuls lediglich in eine Richtung, weshalb man von nur einer („mono“) Phase spricht. Der monophasische Defibrillationsimpuls zeigt sich in einer sinusoidalen Wellenform des Stromimpulses (monophasic damped sinusoidal waveform, „MDS“).

Die SI-Basiseinheit der elektrischen Stromstärke wird in Ampere angegeben und beschreibt die Menge an Elektronen, die in einer Zeiteinheit durch eine Leitung fließt.

Die gängige Maßeinheit für die Defibrillationsenergie wird in Joule angegeben. Joule ist die internationale Maßeinheit (SI = Système International d'Unités) der Energie. Der Zusammenhang zwischen Joule und Ampere stammt aus der Elektrotechnik. Hierbei ergibt das Produkt aus elektrischer Spannung (in Volt gemessen) und der elektrischen Stromstärke (in Ampere gemessen) die Leistung. Multipliziert man Volt und Ampere sowie die Zeit miteinander, ergibt dieses Produkt wiederum die Energie in Joule.

In der Regel erfolgt ein monophasischer Defibrillationsimpuls mit einer Energie von 360 Joule. Die Defibrillation als solche dauert wenige Millisekunden (Abb.2).

Bei einem biphasischen Defibrillationsimpuls fließt der Strom zunächst für eine bestimmte Zeit in eine positive Richtung und danach erfolgt die elektrische Entladung in negativer Richtung zurück zu der Ausgangselektrode. Man spricht von „bi-“, also zwei Phasen.

Die biphasischen Defibrillationsimpulse können wiederum in zwei Hauptimpulstypen unterschieden werden: Der biphasische abgeschnittene Exponentialimpuls (biphasic truncated exponential waveform, „BTE“, Abb. 3) und der biphasisch rechtwinklig lineare Impuls (rectilinear biphasic waveform, „RLB“, Abb. 4). [22]

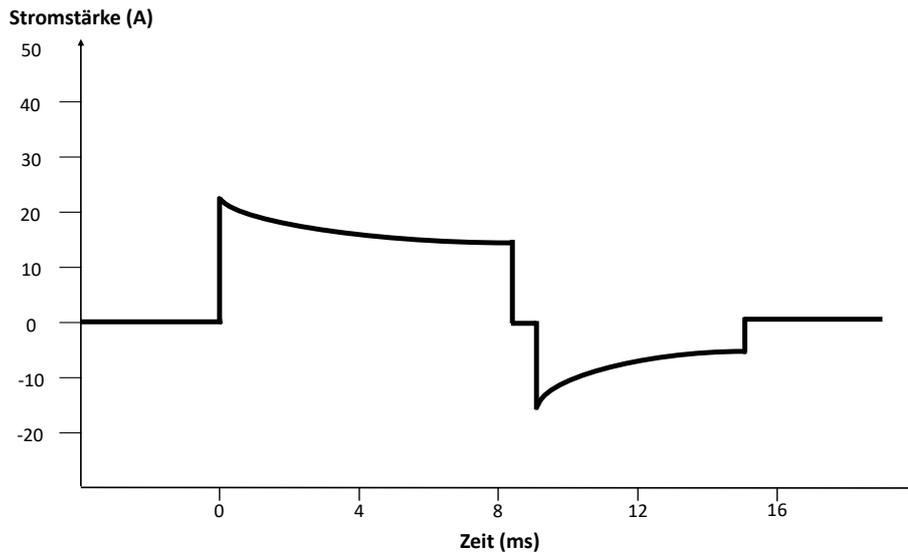


Abb. 3 Biphasische abgeschnittene Impulsform (BTE = biphasic truncated exponential waveform)

Die Abb. 3 zeigt eine typische Stromkurve einer biphasischen abgeschnittenen Wellenform einer Defibrillation, aufgetragen auf die Zeit in Millisekunden.

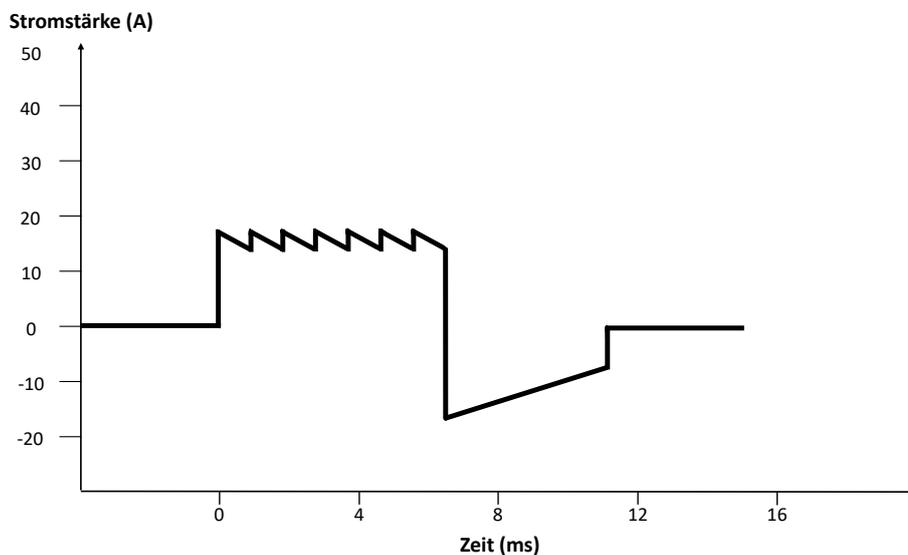


Abb. 4 Biphasische rechteckig lineare Impulsform (RLB = rectilinear biphasic waveform)

Die Abb. 4 zeigt eine typische Stromkurve eines biphasischen Rechteckimpulses, aufgetragen auf die Zeit in Millisekunden.

Für die Energie eines biphasischen Defibrillationsimpulses sind mindestens 150 Joule vorgesehen. Bei Persistenz des Kammerflimmerns kann das Energieniveau auch noch gesteigert werden [40, 52].

In den Fällen, die dieser Arbeit zugrunde liegen, wurden ausschließlich biphasische rechtwinklige lineare Impulse mit einem Energieniveau von 200 Joule verwendet.

Nach aktueller Studienlage ist die biphasische Defibrillation der monophasischen deutlich überlegen [51].

Je nach individuellem transthorakalen Widerstand (transthorakale Impedanz) wird durch moderne Defibrillatoren sowohl die Stromstärke als auch die Spannung angepasst, um eine optimale Defibrillationstechnik bei minimaler transthorakaler Impedanz zu gewährleisten.

Die transthorakale Impedanz variiert wegen unterschiedlicher Faktoren, wie zum Beispiel einer unterschiedlichen Gesamt-Körpermasse, einer möglichen Körperbehaarung, unterschiedlicher Positionierungen der Defibrillationselektroden und des variablen Anpressdrucks dieser sowie der Elektrodengröße [22, 38]. Auch die Atemphase spielt bei der Entstehung der transthorakalen Impedanz eine wesentliche Rolle. So ist die Impedanz während der Expiration und bei minimalem beziehungsweise fehlendem PEEP (positive end-expiratory pressure) am niedrigsten und damit die Erfolgsaussicht für eine erfolgreiche Defibrillation am höchsten [22].

Es kann bei einem Defibrillationsimpuls eine Synchronisation mit einer möglichen R-Zacke (oder einem „upslope“ der EKG-Welle) erfolgen [20]. Diese synchronisierte Cardioversion ist vor allem bei der Therapie einer Tachyarrhythmia absoluta, die neben einer medikamentösen Therapie durchgeführt wird, Mittel der Wahl [28].

1.6. Stand der bisherigen Erkenntnisse

Eine erfolgreiche Defibrillation und auch das Outcome des Patienten kann durch verschiedene Faktoren und Interventionen während der Reanimation beeinflusst werden. Die "Überlebenskette" hängt hierbei von mehreren Aspekten ab. Zum einen ist eine frühzeitigen Herz-Lungen-Wiederbelebung und Defibrillation durch Umstehende, möglicherweise auch unter Anleitung des Leitstellendisponenten, essentiell [61]. Zum anderen ist das Überleben der Betroffenen von einer suffizienten kardiopulmonalen Reanimation durch den Rettungsdienst, inklusive Medikamentengabe, und anschließend von der Versorgung der reanimierten Patienten abhängig; hierfür eignen sich dafür spezialisierte „cardiac arrest“-Zentren am besten [53, 57, 64].

Betrachtet man den Ablauf des Reanimations-Algorithmus genauer, stechen einige Aspekte hervor, die besonderer Beachtung bedürfen. Die Reanimation ist so aufgebaut, dass sich nach einem schnellstmöglich durchgeführten Defibrillationsimpuls ein zweiminütiges Intervall von Thoraxkompressionen anschließt. Während dieses Intervalls bleiben der wahre Herzrhythmus und damit auch das Defibrillationsergebnis unbekannt [68]. Eine Beurteilung einer Herzrhythmusänderung unter der laufenden Reanimation ist ohne die Anwendung spezieller Filtertechnologien erschwert. Mehrere Arbeitsgruppen haben die Anwendungen unterschiedlicher Filtertechnologien untersucht [2, 7]. Weitere Arbeitsgruppen mit demselben Fokus kommen zu dem Ergebnis, dass eine solche Technologie vielversprechend zu einer Dezimierung der „Hands-off“ Zeiten führen könnte, was indes bislang noch nicht ausreichend erforscht ist [26, 60].

Zeigt sich bei der Analyse des Herzrhythmus nach zwei Minuten ein erneutes Kammerflimmern, bleibt unklar, ob dieses nach dem Defibrillationsversuch persistierte oder ob es nach einem primär erfolgreichen Schock mit einer Termination des Kammerflimmerns zu

einem Rezidiv gekommen ist und deswegen eine erneute Defibrillation notwendig wurde.

Frühere Studienergebnisse zu diesem Thema zeigen, dass es bei einer Defibrillation eine hohe Rate an vorübergehend erfolgreichen biphasischen Schocks von bis zu 92% gibt. Die Autoren beschreiben aber auch hier eine hohe Refibrillationsrate, die einen erneuten Schock erforderte [32]. Eine Aussage über die Häufigkeit von refraktärem oder rezidivierendem Kammerflimmern während eines außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillstandes trafen Nichol et al. und gaben das Vorkommen dieser beiden Phänomene mit etwa 10% an [53].

Bhandari et al. legten dar, dass unterschiedliche Rhythmusprofile innerhalb der ersten zwei Minuten nach Schockabgabe existieren. Bei Patienten mit einem organisierten Herzrhythmus nach der Defibrillation war in dieser Studie die Überlebensrate im Vergleich zu Patienten mit einem konstanten Kammerflimmern beziehungsweise einer transienten Asystolie doppelt so hoch. Die Autoren vermuten, die zugrunde liegenden physiologischen Mechanismen könnten als Grundlage für Behandlungsstrategien dienen [12].

Wendet man den Reanimationsalgorithmus richtig an, so folgt in dem defibrillierbaren Zweig des Algorithmus nach der dritten Defibrillation die Medikamenten-Applikation. Hierbei handelt es sich um das Katecholamin Adrenalin und das Antiarrhythmikum Amiodaron. Im Jahr 2018 stand die Medikamenten-Applikation vor allem im Hinblick auf die Gabe eines Antiarrhythmikums im Fokus der ILCOR, der AHA und des ERC. Es zeigte sich kein Vorteil einer Antiarrhythmika-Gabe in Bezug auf das Langzeit-Überleben oder das neurologische Outcome. Allerdings vermochten einige Autoren eine positive Auswirkung auf die kurzfristigen Effekte, wie eine Wiederkehr eines spontanen Herz-Kreislaufs (return of spontaneous circulation, ROSC), festzustellen [54, 67].

Die Wissenschaft beschäftigt sich – wie man aus diesen Angaben ableiten kann – also fortwährend mit dem Thema der kardiopulmonalen Reanimation. Es fehlen nach aktuellem Stand der Forschung jedoch

weiterhin Kenntnisse über den Zeitpunkt des in der Reanimation vorkommenden Rezidivs eines Kammerflimmerns, dessen Einflussfaktoren und Auslöser.

1.7. Ziele der Studie und Fragestellung

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, den Defibrillationserfolg bei Patienten zu untersuchen, die einen primär defibrillierbaren Herzrhythmus bei einem außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillstand aufwiesen. Dabei wurde insbesondere die Häufigkeit einer erfolgreichen Defibrillation wie auch die Häufigkeit von Refibrillationen/Rezidiven analysiert. Des Weiteren wurde der Zeitpunkt des Rezidivs des Kammerflimmerns erfasst und eine Auswertung der Herzrhythmen nach der Defibrillation vorgenommen.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, was in dem zweiminütigen Intervall zwischen der Defibrillation und der erneuten Herzrhythmusanalyse, einer Situation medizinisch-kognitiven Nichtwissens, geschieht.

2. Material und Methoden

In der vorliegenden Arbeit wurde eine retrospektive Datenanalyse von routinemäßig erhobenen EKG-Datensätzen des Rettungsdienstbereiches Marburg-Biedenkopf in dem Zeitraum vom 01.01.2014 bis 31.03.2018 durchgeführt und ausgewertet.

2.1 Untersuchungsraum

Der Landkreis Marburg-Biedenkopf liegt im mittelhessischen Bereich, umfasst eine Größe von 1.262,55 km² und ist geprägt von einer eher ländlichen Struktur. Das Oberzentrum dieses Landkreises ist die Universitätsstadt Marburg. Die Einwohnerzahl zum Zeitpunkt der Untersuchung betrug circa 245.200 Einwohner.

2.2 Systemgestaltung

Das in Hessen gängige System der außerklinischen Patientenversorgung besteht aus einem Rettungswagen, besetzt mit einer Notfallsanitäterin / einem Notfallsanitäter oder einer Rettungsassistentin / einem Rettungsassistenten sowie einer Rettungssanitäterin / einem Rettungssanitäter. Zusätzlich kann ein Notarzt-Einsatz-Fahrzeug (NEF) zu bestimmten schweren Unfällen oder Krankheitsbildern angefordert oder mitalarmiert werden. Das Notarzt-Einsatz-Fahrzeug ist besetzt mit einer Notärztin / einem Notarzt und einer Rettungssanitäterin / einem Rettungssanitäter beziehungsweise einer Person mit höherwertiger Ausbildung. Diese normativen untergesetzlichen Vorgaben sind geregelt in § 26 der Verordnung zur Durchführung des Hessischen Rettungsdienstgesetzes, zuletzt geändert durch die Verordnung vom 10.12.2019 [35].

Der Landkreis-Marburg Biedenkopf beauftragt mehrere rettungsdienstliche Leistungserbringer, die Aufgaben der außerklinischen

Patientenversorgung zu gewährleisten. Hierzu zählt auch der DRK Rettungsdienst Mittelhessen.

Bei jeglicher Form einer vitalen Bedrohung eines Patienten wird grundsätzlich von der disponierenden Leitstelle ein Rettungswagen und ein NEF alarmiert, um die Patienten bestmöglich zu versorgen.

Vorgegeben wird dabei ein strukturiertes Vorgehen nach dem sogenannten ABCDE-Schema und den anerkannten Guidelines.

Das ABCDE-Schema beschreibt ein Akronym für „Airway, Breathing, Circulation, Disability und Environment/Exposure“ und eignet sich zur primären Evaluation eines kritischen und möglicherweise auch vitalbedrohten Patienten. Im Rahmen dieser Evaluation werden die Vitalwerte der Patienten erfasst. Bei einer Reanimation erfolgt neben der Aufzeichnung von Vitalparametern wie der Atemfrequenz, der Sauerstoffsättigung, der Herzfrequenz, dem Puls und dem Blutdruck auch eine Speicherung der EKG-Ableitungen.

2.3 Angewandte Guidelines

Bei einem präklinischen Herz-Kreislauf-Stillstand wird durch das rettungsdienstliche Personal, sofern keine sicheren Todeszeichen vorliegen, sofort mit den Reanimationsmaßnahmen nach dem schon im Kapitel 1.3 beschriebenen „Advanced life support“-Algorithmus des „German Resuscitation Councils“ begonnen.

Der Anschluss des Patienten an den Defibrillator soll so früh wie möglich erfolgen, um den initialen Rhythmus unmittelbar beurteilen zu können.

Bei einem nicht-schockbaren Herzrhythmus (PEA und Asystolie) wird die Reanimation mittels Herz-Druck-Massage und Beatmung direkt nach der Rhythmusanalyse fortgesetzt. Die schockbaren Herzrhythmen (Kammerflimmern, pulslose ventrikuläre Tachykardie und torsade-de-pointes) sollen mittels eines biphasischen rechtwinkligen Stromimpulses mit einer Stärke von 200 Joule behandelt werden [22].

Die Reanimation erfolgt in einem Rhythmus von 30 Thoraxkompressionen und 2 Beatmungen, bis ein sicherer Atemweg etabliert werden konnte (Abb. 1).

2.4 Datengewinnung

Alle Daten, die Grundlage dieser Dissertation sind, stammen aus einem internen Register des DRK Rettungsdienstes Mittelhessen (RDMH). Der im RDMH standardmäßig verwendete Defibrillator Corpuls C3[®] protokolliert alle Einsatzdaten in einem eingebauten Speichermedium. Im Rahmen einer internen Auswertung aller Reanimationsdatensätze, die zur Qualitätssicherung durchgeführt wird, erfolgt dann nach Abschluss des Reanimations-Einsatzes ein „Hochladen“ der Daten. Das so gewonnene Datenmaterial diente als Ausgangsbasis für die dieser Dissertation zugrundeliegenden Studie.

2.5 Ein- und Ausschlusskriterien

Die Ein- und Ausschlusskriterien sind in der folgenden Flowchart-Graphik (Abb. 5) dargestellt:

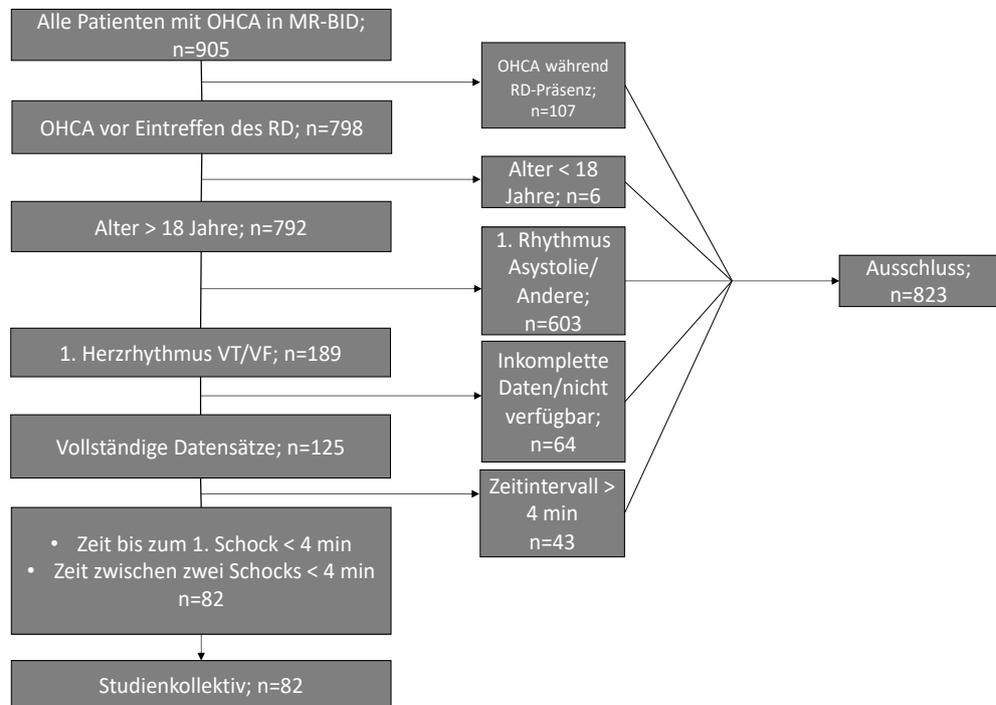


Abb. 5 Flowchart-Graphik der Ein- und Ausschlusskriterien

Diese Graphik (Abb. 5) schlüsselt die Datensätze nach ihren Ein- und Ausschlusskriterien auf. (OHCA = out-of-hospital cardiac arrest = außerklinischer Herz-Kreislauf-Stillstand).

Es wurden nur EKG-Daten von Patienten mit einem außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillstand bei Eintreffen des Rettungsdienstes verwendet (n=905). Aus diesem Grund kam es zu einem Ausschluss von 107 Datensätzen, da sich hier der außerklinische Herz-Kreislauf-Stillstand nicht vor, sondern während der rettungsdienstlichen Präsenz ereignete.

Die Einschlusskriterien umfassen auch eine Altersgrenze.

Ausgeschlossen wurden insgesamt sechs Datensätze von Patienten mit einem Alter von kleiner als 18 Jahren.

Für die Auswertung wurde festgelegt, dass der initiale Herzrhythmus einem defibrillierbaren Herzrhythmus entsprechen muss. Hierzu zählen nach allgemeinen Leitlinien ein Kammerflimmern und eine pulslose ventrikuläre Tachykardie. Insgesamt zeigten sich 603 Datensätze, die aufgrund dieses Kriteriums ausgeschlossen werden mussten, da der initial erfasste Herzrhythmus bei diesen Datensätzen einer Asystolie oder einer pulslosen elektrischen Aktivität entsprach. Unter dieses Kriterium fielen auch Herzrhythmen, die sich, zum Beispiel aufgrund von Artefakten, nicht genau bestimmen ließen. Auch diese Datensätze wurden aus der Auswertung ausgeschlossen.

Bei insgesamt 64 Datensätzen zeigten sich nur inkomplette Daten, oder es war aus technischen Gründen keine korrekte Darstellung und Auswertung der Datensätze möglich. Auch diese Fälle konnten nicht berücksichtigt werden.

Zuletzt war es erforderlich, ein zeitliches Kriterium festzulegen. Eingeschlossen wurden alle Datensätze, bei denen die erste Defibrillation innerhalb der ersten vier Minuten nach Anschluss des Defibrillators stattgefunden hat. Zusätzlich durfte für die Auswertung auch die Zeit zwischen den beiden Defibrillationen nur maximal vier Minuten betragen, damit der Schock in die Analyse einfließen konnte. Die Auswertung erfolgte lediglich für die erste bis dritte Defibrillation.

Insgesamt ließ sich somit ein Studienkollektiv von $n=82$ ermitteln, wobei 185 Schocks ausgewertet wurden.

2.6 Verwendeter Defibrillator und Elektrodenposition

Die in dieser Arbeit ausgewerteten Defibrillationen wurden mit einem Corpuls C3[®]-Defibrillator unter Anwendung eines impedanzkompensierten, biphasischen Rechteckimpulses durchgeführt.

Die abgegebene Schockenergie für die ersten drei Schocks lag jeweils bei 200 Joule.

Die Position der Defibrillationselektroden war standardmäßig anterior-anterior.

2.7 Datenexport

Ein Mitarbeiter des Rettungsdienstes Mittelhessen filterte zunächst das Datenmaterial nach dem im Einsatzprotokoll angegebenen Initialrhythmus „Kammerflimmern oder pulslose ventrikuläre Tachykardie“. Anschließend transferierte er die Daten über ein externes Speichermedium auf den von der Universitätsklinik Marburg zur Verfügung gestellten Laptop.

Hier wurden die zuvor anonymisierten Daten gespeichert.

2.8 Datenkonvertierung

Eine Umwandlung der Corpuls C3[®] EKG-Rohdaten in auslesbare EKG-Datensätze konnte mittels des Programms „corView2 export“ durchgeführt werden. Die Daten wurden in unterschiedlichen Formaten (.rtd-Datei, events-db.bin-Datei, mission.inf-Datei, trend-db.bin-Datei) von dem verwendeten Defibrillator Corpuls C3[®] gespeichert. Im nächsten Schritt erfolgte das Erstellen einer .edf-Datei, die sich aus den vom Defibrillator gespeicherten und hochgeladenen Daten ergab.

Zur Auswertung wurde die Software „EDFTrace“, die von einem Mitarbeiter des Universitätsklinikums Marburg programmiert und im Rahmen anderer Studien validiert worden war, eingesetzt [39].

Bei der Auswertung in „EDFTrace“ wird das sogenannte D-EKG angezeigt, das sich von den Defibrillationselektroden selbst ableitet und von seinem Vektor der Ableitung II nach Einthoven entspricht.

Des Weiteren wurden die Programme Microsoft Programme Excel für die Auflistung aller Daten und Zeiten, Word zum Verfassen der Dissertation und PowerPoint zum Erstellen von Graphiken, verwendet.

2.9 Datenanalyse

2.9.1 Technische Aufbereitung der Signale

Die Analyse der Daten bezieht sich lediglich auf die ersten drei aufgezeichneten Defibrillationen. Das Rohdaten-EKG wurde in dem Programm „EDFtrace.exe“ zunächst automatisiert mit Hochpassfiltern bearbeitet.

Erläuterung zu den Filtern:

Ein normales EKG-Signal befindet sich in Bereichen von circa fünf bis fünfzehn Hertz. Um die Rohdaten-EKGs der Reanimationspatienten besser auswerten und zwischen Thoraxkompressionen und wahren Herzaktivitäten unterscheiden zu können, wurden die einzelnen Daten der Reanimationen in dem oben genannten Programm „EDFTrace.exe“ aufgerufen und mittels verschiedener Hochpass-Filter bearbeitet. Die der Arbeit zugrunde liegenden Daten basieren auf der Verwendung nachstehender Hochpass-Filter: 2,0 Hz; 3,4 Hz; 4,8 Hz; 6,2 Hz; 7,6 Hz und 9,0 Hz.

Technisch geschieht Folgendes: Eine Herz-Druck-Massage mit 100-120 Thoraxkompressionen pro Minute befindet sich in einem Signalbereich von circa zwei Hertz. Alle höheren oder tieferen Frequenzen außerhalb eines Bereichs von fünf bis fünfzehn Hertz sind vor allem auf Artefakte zurückzuführen und behindern die Analyse der eigentlichen Herzstromkurve.

Sofern man diese Artefakte aus dem EKG herauszufiltern beabsichtigt, bietet sich ein Hochpassfilter an, der alle Frequenzen, die sich in einem Bereich höher als vier Hertz befinden, nicht herausfiltert, dafür aber die niedrigeren Frequenzen ausblendet. Von diesem Vorgang leitet sich auch der Name „Hoch-pass“ ab, weil der Filter alle hohen Frequenzen passieren lässt.

Das ungefilterte EKG (D-EKG) sowie die sechs gefilterten Signale sind im Filterprogramm, wie in Abb. 6 zu erkennen, dargestellt. Das

Filterprogramm eröffnet den Anwendern die Möglichkeit, Kurven sowohl zu verkleinern als auch zu vergrößern. Außerdem gestattet das Programm, die Kurven auch nach oben oder unten zu verschieben, um diese übereinanderzulegen und die EKG-Signale zu vergleichen.

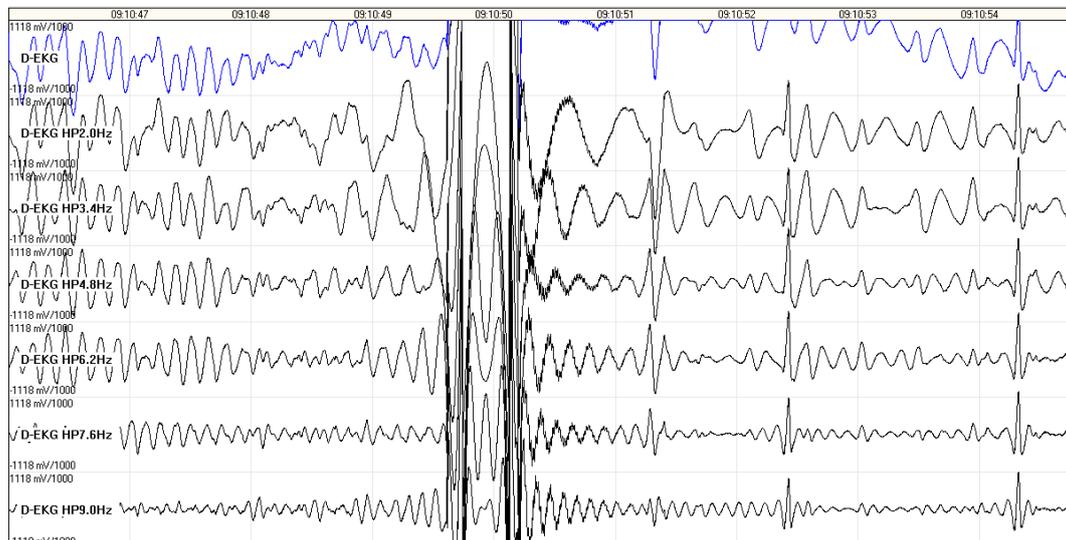


Abb. 6 Exemplarisches D-EKG inklusive aller Filter unter HDM

In der Abb. 6 erkennt man auf der linken Seite ein Kammerflimmern unter laufender Herz-Druck-Massage (HDM), es folgt die Defibrillation und darauf folgend eine weitere Phase von Herz-Druck-Massage, in diesem Fall aber mit einem „Return of organized rhythm“ (ROOR) als Grundrhythmus.

Die oberste Ableitung in Abb. 6 zeigt die Ableitung durch die Defibrillationselektroden ohne Filter. Darunter folgen die Ableitungen mit Anwendung der Filter.

Durch Anwendung unterschiedlicher Filter werden die durch die Thoraxkompressionen entstandenen Artefakte deutlich reduziert.

2.9.2 Kriterien der Datenauswertung und Analyse

Die Auswertung der EKG-Aufzeichnungen erfolgte mit Blick auf den Defibrillationserfolg und den Zeitpunkt des Wiederauftretens von VF durch drei unabhängige Untersucher, von denen jeder einzelne die Analyse selbstständig vornahm und dokumentierte. Die Untersucher werteten die EKG-Datensätze aus und fertigten jeweils eine Tabelle an, die die entsprechenden Daten enthielt. Sie erfassten in dieser Tabelle die durch das Datum und die Uhrzeit vorgegebene Einsatznummer, den initialen Herzrhythmus, den Zeitpunkt des ersten (zweiten, dritten) Schocks, den Erfolg / Misserfolg des Schocks, den Herzrhythmus nach dem Defibrillationsimpuls, das Auftreten eines Rezidivs und den Zeitpunkt desselben (siehe exemplarische Tabelle im Anhang).

Sofern die Auswertungen übereinstimmten, trug die Promovendin die Daten in eine endgültige Tabelle ein. Ein vierter externer Untersucher wurde zu Rate gezogen, wenn bei der Analyse die Ergebnisse der einzelnen Untersucher voneinander abwichen.

In der vorliegenden Arbeit gilt ein Schock dann als erfolgreich, wenn das Kammerflimmern innerhalb eines 5-Sekunden-Intervalls nach dem Defibrillationsimpuls terminiert war.

Ein Rezidiv wurde definiert als Wiederauftreten des Kammerflimmerns, also eine Refibrillation, im Intervall > 5 Sekunden nach einem Defibrillationsimpuls und der darauffolgenden erneuten Schockabgabe.

In der Abb. 7 lässt sich der Ablauf der Analyse der EKG-Datensätze erkennen.

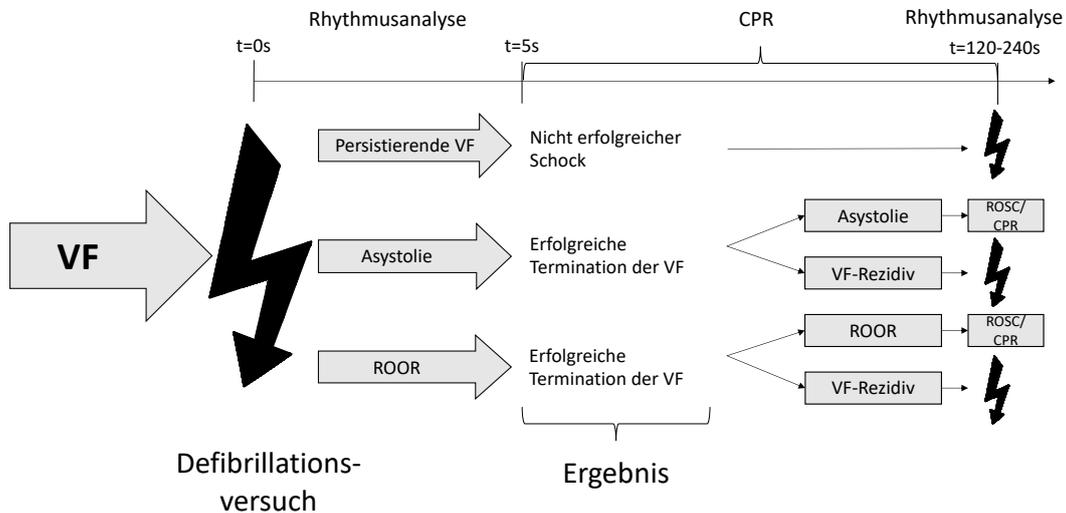


Abb. 7 Ablauf der Analyse der EKG-Datensätze

Die Abb. 7 zeigt den Hergang der Analyse nach dem Defibrillationsimpuls zum Zeitpunkt $t=0s$. Nach dem Schock erfolgt direkt eine 5-sekündige Herzrhythmusanalyse, mit einem sich anschließenden zweiminütigen Intervall kardiopulmonaler Reanimation und einer erneuten Herzrhythmusanalyse.

(VF = Ventricular fibrillation, t = time, CPR = cardiopulmonary resuscitation, ROOR = return of organized rhythm, ROSC = return of spontaneous circulation).

Unmittelbar nach der Schockabgabe konnten innerhalb des 5-sekündigen Intervalls mehrere Herzrhythmen ausgemacht werden, die sich im Einzelnen wie folgt darstellen:

- Persistierende pulslose ventrikuläre Tachykardie oder Kammerflimmern
- „Return of organized rhythm“ (ROOR) = Rückkehr zu einem geordneten Rhythmus
- Asystolie

Ein erfolgloser Schock ist hier definiert als ein Fortbestehen von VF nach erfolgtem Defibrillationsimpuls. Eine Rhythmusänderung nach einer Defibrillation zu Asystolie oder ROOR wird in der vorliegenden Arbeit als „erfolgreiche Terminierung eines Kammerflimmerns“ definiert. Nach tabellarischer Erfassung der Daten fand die Auswertung der einzelnen Kriterien statt.

Im nächsten Schritt folgte die Analyse des Intervalls fünf Sekunden nach dem Defibrillationsimpuls bis zum Zeitpunkt des nächsten Schocks. Hierbei fand die Erfassung aller Rezidive und der Rezidivzeitpunkte eine besondere Aufmerksamkeit.

Nach gleichem Schema schlossen sich die Auswertung der zweiten und dritten Defibrillationsversuchen an. Im letzten Schritt nahm die Promovendin die statistische Auswertung vor.

2.10 Primärer und sekundärer Endpunkt

Als primärer Endpunkt wurde die Rate erfolgreicher Herzrhythmuskonversionen nach einem Defibrillationsimpuls festgelegt. Eine Herzrhythmuskonversion wurde definiert als Rhythmusänderung in einem 5-sekündigen Intervall direkt nach der Schockabgabe.

Sekundäre Endpunkte stellen das Erfassen der Art der Rhythmusänderung fünf Sekunden nach der Schockabgabe und das Identifizieren des Zeitpunkts und der Häufigkeit von rezidivierendem Kammerflimmern nach einer erfolgreichen Defibrillation dar.

2.11 Statistische Verfahren

Zur Berechnung von Raten, Median-Werten und Interquartilbereichen kam eine deskriptive Statistik zum Einsatz.

2.12 Ethische Aspekte der Auswertung

Diese Studie wurde dem Ethikkomitee der Universität Marburg vorgelegt (AZ Prof. Ri./ra bzw. ek_mr_26_07_2019_sassen). Da es sich um eine rein retrospektive Datenauswertung von routinemäßig anfallenden und anonymisierten Daten des Zentrums für Notfallmedizin und des Rettungsdienstes handelt, war eine formelle Bearbeitung durch eine Ethikkommission nicht notwendig.

3. Ergebnisse

3.1 Beschreibung des Studienkollektivs

Im Landkreis Marburg-Biedenkopf mit circa 245.200 Einwohnern fanden im Zeitraum von Januar 2014 bis März 2018 insgesamt 905 Wiederbelebungsversuche statt. Der Rettungsdienst stellte in 798 Fällen einen Herz-Kreislauf-Stillstand fest, der vor ihrem Eintreffen eingetreten war. Das Alter der betroffenen Patienten belief sich bei 792 von 798 Patienten auf ≥ 18 Jahre. Nur in 189 Fällen (23,7%) konstatierte der Rettungsdienst einen initial defibrillierbaren EKG-Rhythmus. 64 dieser 189 Patientendatensätze waren nicht vollständig oder technisch nicht verwertbar, weshalb diese auszuschließen waren. Weiterhin mussten 43 Datensätze ausgeschlossen werden, die ein verlängertes Zeitintervall bis zum ersten Schock bzw. zwischen den Schocks von ≥ 4 Minuten aufwiesen. 82 Fälle der Reanimations-Patienten mit insgesamt 185 einzelnen Defibrillationen konnten dagegen in die Studie eingeschlossen werden. 71 der hier betrachteten Patienten 82 Patienten waren männlich, 11 weiblich. Das Durchschnittsalter der Patienten belief sich auf 66,7 Jahre ($\pm 12,9$ Jahre). Die mittlere Zeit ab Notrufeingang bis zur Ankunft des Rettungsdienstes betrug 06:13 Minuten (04:43-08:00 Minuten). Die mittlere Zeitspanne von der Alarmierung bis zu dem ersten Schock lag bei 09:50 Minuten (07:54-11:23 Minuten).

Eine pulslose ventrikuläre Tachykardie als initial festgestellter Herzrhythmus wurde in keinem der untersuchten Datensätze dokumentiert.

3.2 Graphische Darstellung der Auswertung

Abb. 8 stellt eine Defibrillation im EDFTrace-Programm dar.

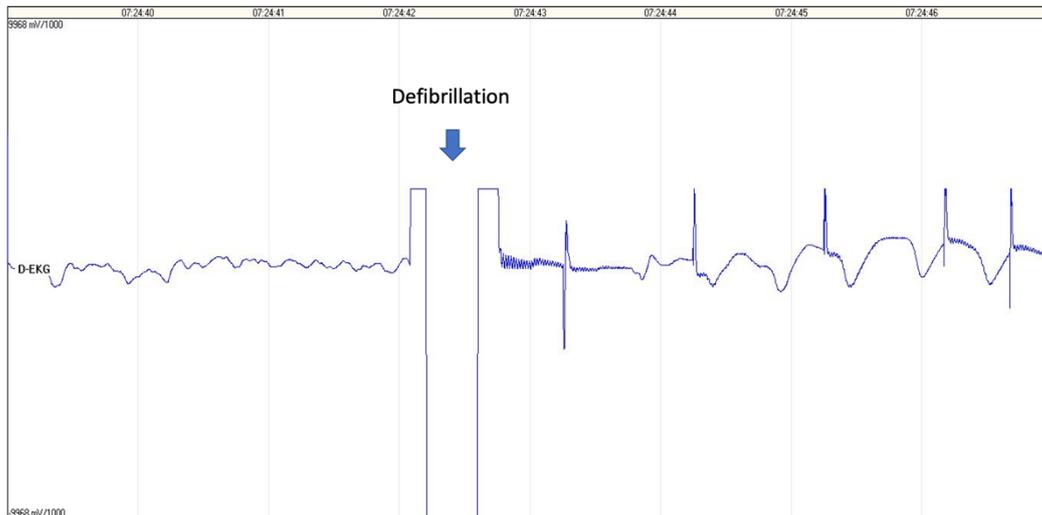


Abb. 8 EKG und Defibrillation in EDFTrace.exe.

Die Abb. 8 zeigt die D-EKG-Ableitung mit einem Kammerflimmern vor der Defibrillation und einem organisierten Herzrhythmus nach der Defibrillation.

In den Abbildungen 9 und 10 sieht man Artefakte, die sowohl mit einem Kammerflimmern (VF) als auch mit Defibrillationsimpulsen verwechselt werden können.

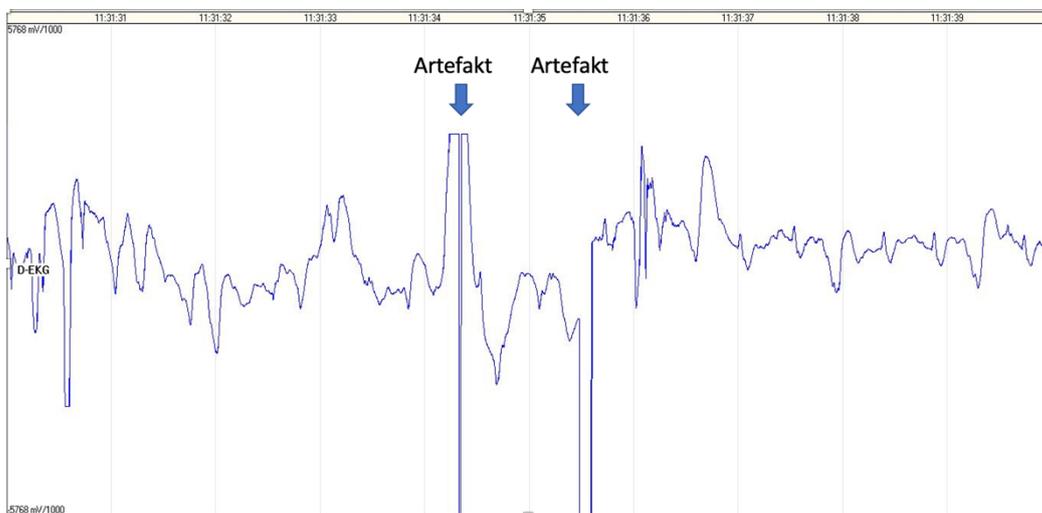


Abb. 9 EKG-Ableitung mit Artefakten

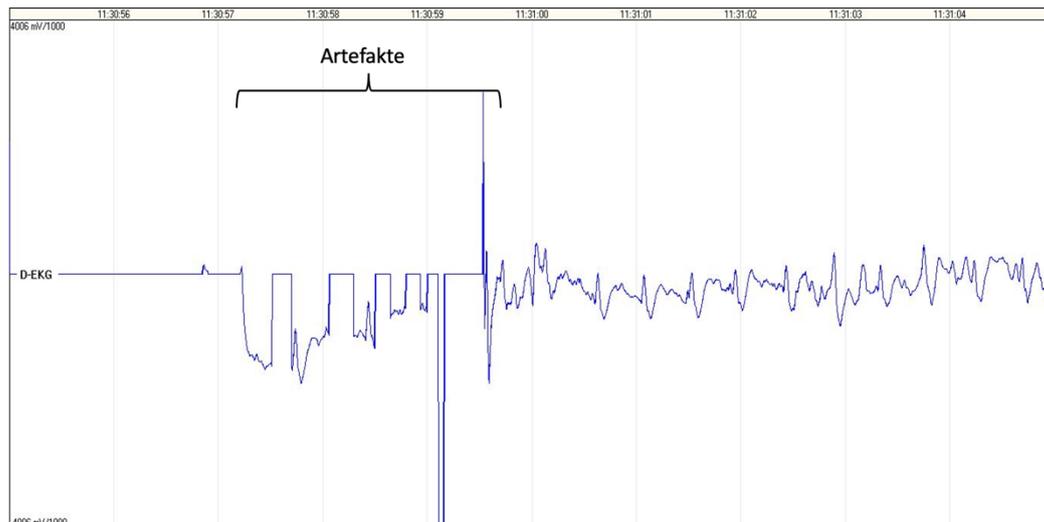


Abb. 10 EKG-Ableitung mit Artefakten

In Abb. 9 und 10 zeigt sich der Unterschied zwischen artifiziell bedingten Störungen des EKGs und echten Defibrillationsimpulsen. Es liegt in Abb. 9 und 10 keine Defibrillation vor.

Sofern keine Änderung des Herzrhythmus durch die Schockabgabe feststellbar war, sah die Auswertung folgendermaßen aus:

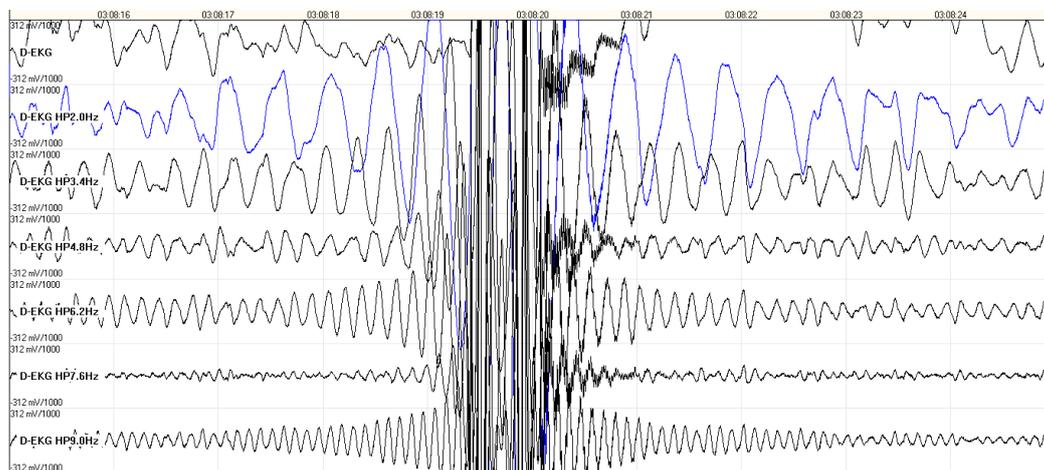


Abb. 11 Persistierendes Kammerflimmern nach Schock

In dieser Abb. 11 ist ein persistierendes Kammerflimmern zu erkennen. Sowohl vor dem Defibrillationsimpuls als auch nach dem Schock zeigt sich keine Änderung des Herzrhythmus. In diesem Fall kann man von einem nicht-erfolgreichen Schock sprechen.

Die folgende Abb. 12 belegt einen erfolgreichen Schock mit einer Änderung des Herzrhythmus von einem Kammerflimmern vor der Defibrillation zu einem „return of organized rhythm“ nach der Defibrillation:

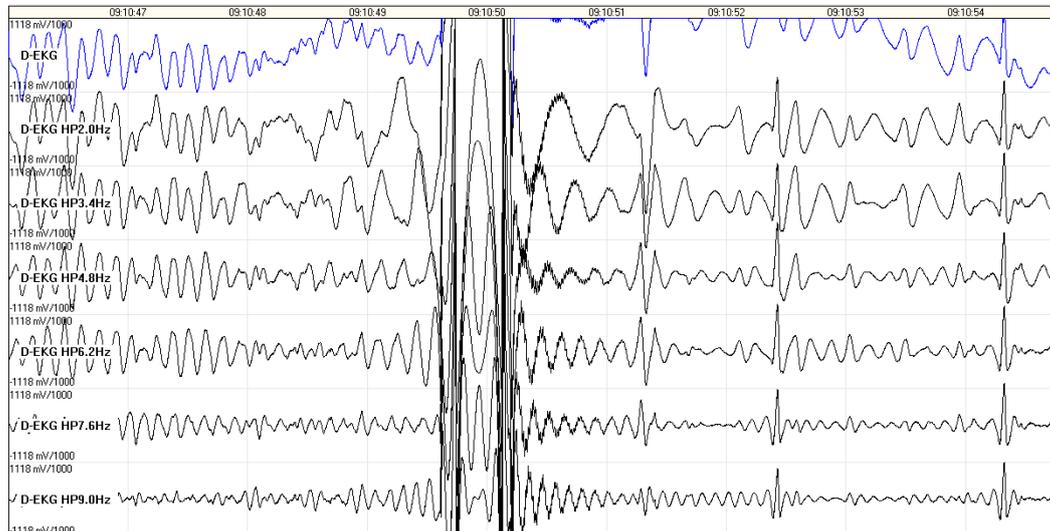


Abb. 12 Änderung des Herzrhythmus: VF zu ROOR

Die Abb. 12 offenbart eine echte Defibrillation. Vor dem Defibrillationsimpuls ist ein Kammerflimmern unter laufenden Thoraxkompressionen zu erkennen. Nach der Defibrillation stellt sich ein „return of organized rhythm“ (ROOR) in den EKG-Signalen dar, definiert als zwei aufeinanderfolgende QRS-Komplexe (ähnlicher Morphologie) innerhalb der ersten 5 Sekunden nach einem Schock.

Die Abb. 13 zeigt im D-EKG eine Asystolie nach der Defibrillation, wobei einige Sekunden später die Thoraxkompressionen wieder einsetzen:



Abb. 13 Änderung des Herzrhythmus: VF zu Asystolie

Die Abb. 13 zeigt erneut einen erfolgreichen Schock im Sinne einer Herzrhythmusänderung von einem Kammerflimmern vor der Defibrillation zu einer Asystolie nach der Defibrillation.

In der folgenden Abb. 14 erkennt man zunächst einen organisierten Herzrhythmus, der sich zu einem Rezidiv des Kammerflimmerns entwickelt.

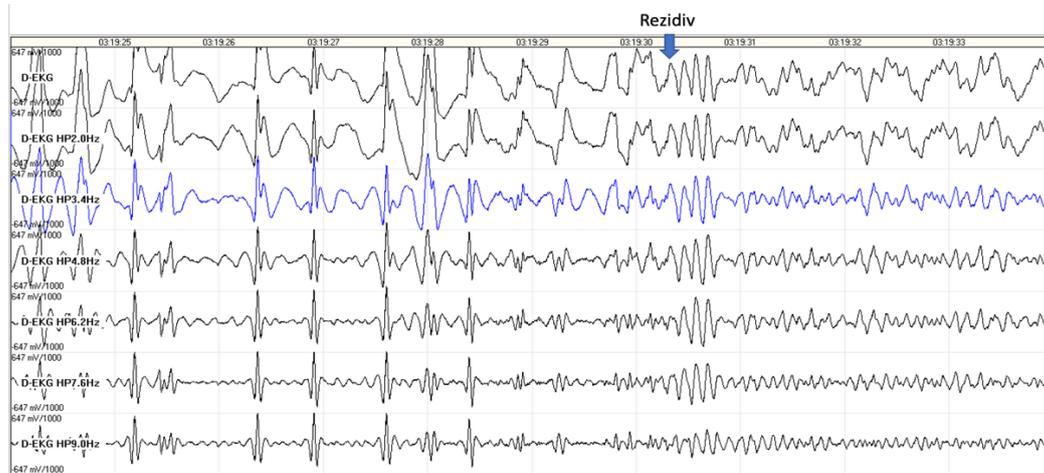


Abb. 14 VF-Rezidiv nach organisiertem Herzrhythmus

In Abb. 14 belegt zunächst einen arrhythmischen – aber organisierten – Herzrhythmus. Ab markierter Stelle (03:19:30) verändert sich der zuvor organisierte Herzrhythmus zu einem Kammerflimmern.

3.3 Defibrillationserfolg

Die Defibrillationserfolgsrate wurde zunächst jeweils einzeln für den ersten bis dritten Schock ausgewertet und ist graphisch in Abb. 15 dargestellt.

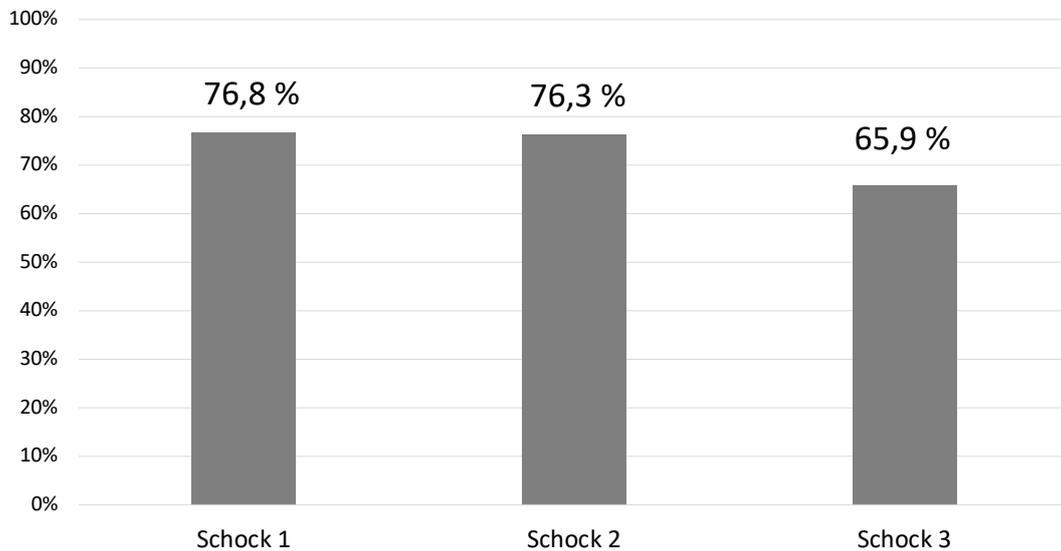


Abb. 15 Defibrillationserfolgsrate Schock 1-3

Die Abb. 15 hält die Defibrillationserfolgsrate des ersten bis dritten Schocks graphisch fest.

Es zeigt sich eine Aufteilung von 76,8% (n=63) erfolgreicher erster Schocks (n=185); 76,3% (n=45) erfolgreicher zweiter Schocks (n=95) und 65,9% (n=29) erfolgreicher dritter Schocks (n=44), bezogen jeweils auf die Summen aller ersten, zweiten und dritten Defibrillationsimpulse.

3.4 Rezidive

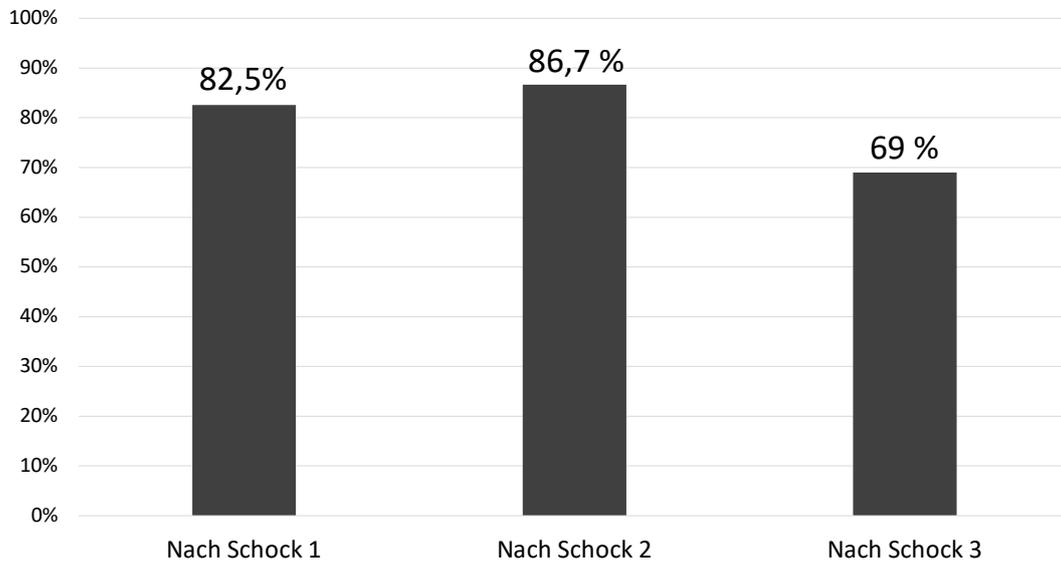


Abb. 16 Rezidiv-Rate Schock 1-3

Die Abb. 16 ist die graphische Darstellung der prozentualen Anteile der Rezidive gemessen an allen erfolgreichen Schocks.

Abb. 16 ist zu entnehmen, dass die Rezidiv-Rate des Kammerflimmerns nach dem ersten Schock 82,5% (n= 52), die Rezidiv-Rate des Kammerflimmerns nach dem zweiten Schock 86,7% (n= 39) und die Rezidiv-Rate des Kammerflimmerns nach dem dritten Schock 69% (n=20) betrug.

3.5 Rhythmusanalyse nach Defibrillation

Die Tabelle 1 bildet den jeweiligen Herzrhythmus nach einem erfolgten Defibrillationsversuch ab.

Herzrhythmus	1. Schock (n=82)	2. Schock (n=59)	3. Schock (n=44)
Keine Veränderung	23,2% (n= 19)	23,7% (n= 14)	34,1% (n= 15)
Veränderung zu "ROOR"	36,6% (n= 30)	61,0% (n=36)	52,3% (n= 23)
Veränderung zu Asystolie	40,2% (n= 33)	15,3% (n= 9)	13,6% (n= 6)

Tabelle 1 Herzrhythmen nach Schock 1-3

In Tabelle 1 wird der Herzrhythmus nach dem Schock tabellarisch erfasst und in einzelnen Prozentwerten dargestellt.

Der erste Schock war in 23,2% (n=19) nicht, der zweite Schock war in 23,7% (n=14) nicht und der dritte Schock war in 34,1% (n=15) nicht erfolgreich.

Eine Veränderung des Herzrhythmus zu einem ROOR trat nach dem ersten Schock in 36,6% (n=30), nach dem zweiten Schock in 61% (n=36) und nach dem dritten Schock in 52,3% (n=23) auf.

Eine Asystolie war in 40,2% (n=33) nach dem ersten Schock, in 15,3% (n=9) nach dem zweiten Schock und in 13,6% (n=6) nach dem dritten Schock zu erkennen (Tabelle 1).

3.6 Zeitpunkt der Refibrillation nach erfolgreicher Defibrillation

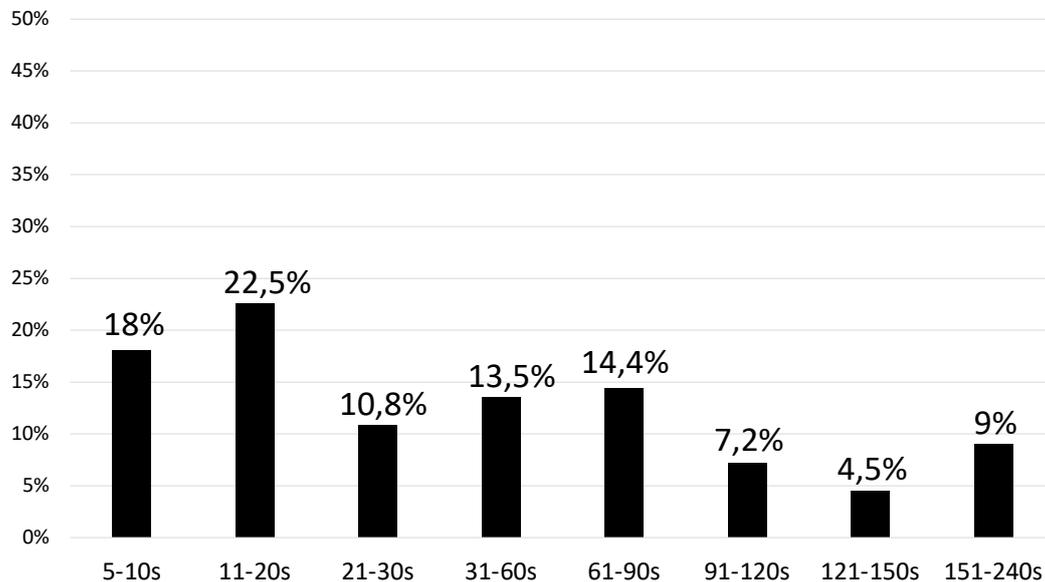


Abb. 17 Rezidiv-Zeitpunkte

Die Abb. 17 erfasst die unterschiedlichen Zeitspannen des Auftretens von Rezidiven und der jeweilig in diesen Zeitspannen vorgekommenen Rezidive in Prozent.

In Abb. 17 finden sich die Zeitpunkte des Wiederauftretens von Kammerflimmern nach erfolgreicher Defibrillation (Rezidiv) wieder. Die höchste Refibrillationsrate (22,5%, n=25) lag in einem Zeitintervall von 11-20 Sekunden nach dem Schock. Die niedrigste Refibrillationsrate (4,5%, n=5) trat in einem Zeitintervall von 121-150 Sekunden auf. Der Median (IQR) der Rezidive lag bei 27 Sekunden (13,5s/80,5s) nach dem Schock.

Alle weiteren Schocks wurden ausgeschlossen, um die Ergebnisse der dieser Arbeit zugrundeliegenden Studie nicht durch einen möglichen Medikamenteneinfluss zu verfälschen. Rezidive, die nach mehr als 240 Sekunden auftraten, wurden ausgeschlossen.

3.7 Einzelanalyse der Rezidivzeitpunkte

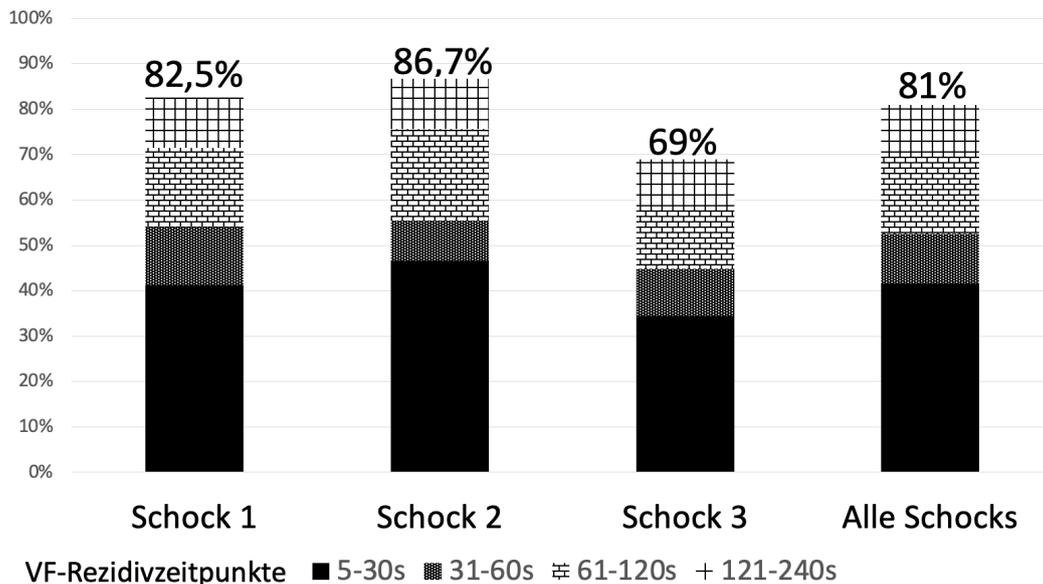


Abb. 18 VF-Rezidivzeitpunkte Schock 1-3 und alle Schocks

Die Abb. 18 zeigt die Analyse der Rezidivzeitpunkte, aufgeteilt auf die drei ersten Schocks und gemittelt über alle Schocks.

Die Ergebnisse der Abb. 18 lassen sich wie folgt darstellen:

Schock 1: Nach VF-Termination (n = 63) gab es in n = 52 Fällen ein VF-Rezidiv.

In 50% (n = 26) trat das Kammerflimmern nach 5 - 30 Sekunden auf.

In 15,4% (n = 8) trat das Kammerflimmern nach 31 - 60 Sekunden auf.

In 21,2% (n = 11) VF trat das Kammerflimmern nach 61 - 120 Sekunden auf.

In 13,5% (n = 7) trat das Kammerflimmern nach 121 - 240 Sekunden auf.

Schock 2: Nach VF-Termination (n = 45) gab es in n = 39 Fällen ein VF-Rezidiv.

In 53,8% (n = 21) trat das Kammerflimmern nach 5 - 30 Sekunden auf.

In 10,3% (n = 4) trat das Kammerflimmern nach 31 - 60 Sekunden auf.

In 23,1% (n = 9) trat das Kammerflimmern nach 61 - 120 Sekunden auf.

In 12,8% (n = 5) trat das Kammerflimmern nach 121 - 240 Sekunden auf.

Schock 3: Nach VF-Termination (n = 29) gab es in n = 20 Fällen ein VF-Rezidiv.

In 50% (n = 20) trat das Kammerflimmern nach 5 - 30 Sekunden auf.

In 15% (n = 3) trat das Kammerflimmern nach 31 - 60 Sekunden auf.

In 20% (n = 4) trat das Kammerflimmern nach 61 - 120 Sekunden auf.

In 15% (n = 3) trat das Kammerflimmern nach 121 - 240 Sekunden auf.

Alle Schocks: Nach VF-Termination (n = 137) trat das Kammerflimmern in n = 111 Fällen auf.

In 51,4% (n = 57) trat das Kammerflimmern nach 5 - 30 Sekunden auf.

In 13,5% (n = 15) trat das Kammerflimmern nach 31 - 60 Sekunden auf.

In 21,6% (n = 24) trat das Kammerflimmern nach 61 - 120 Sekunden auf.

In 13,5% (n = 15) trat das Kammerflimmern nach 121 - 240 Sekunden auf.

3.8 Kumulative Ergebnisse des ersten bis dritten Schocks im Vergleich

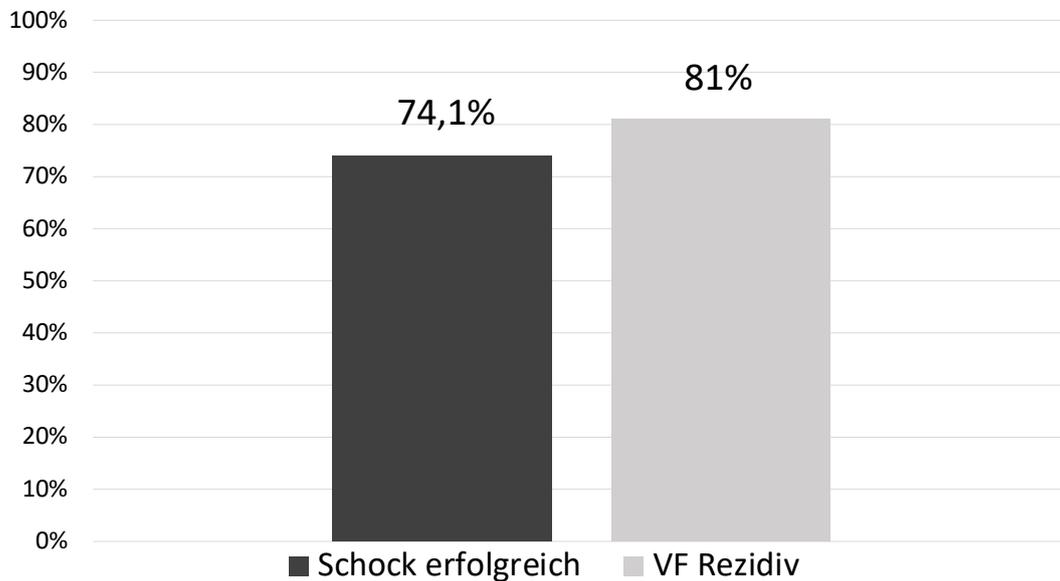


Abb. 19 Erfolgreicher Schock und VF-Rezidiv

Die Abb. 19 belegt die kumulativ ausgewerteten Anteile aller Schocks im Hinblick auf den Defibrillationserfolg und die Quote der Rezidivhäufigkeit.

Wie in Abb. 19 dargestellt, konnte in 74,1% (n=137) aller Defibrillationen (n=185) ein erfolgreicher Schock detektiert werden. Von diesen 74,1% (n=137) wiesen allerdings 81% (n=111) ein Rezidiv, in Form eines Kammerflimmerns, auf.

In den folgenden Abb. 20 und 21 sieht man die Ergebnisse der einzelnen drei Schocks im Vergleich.

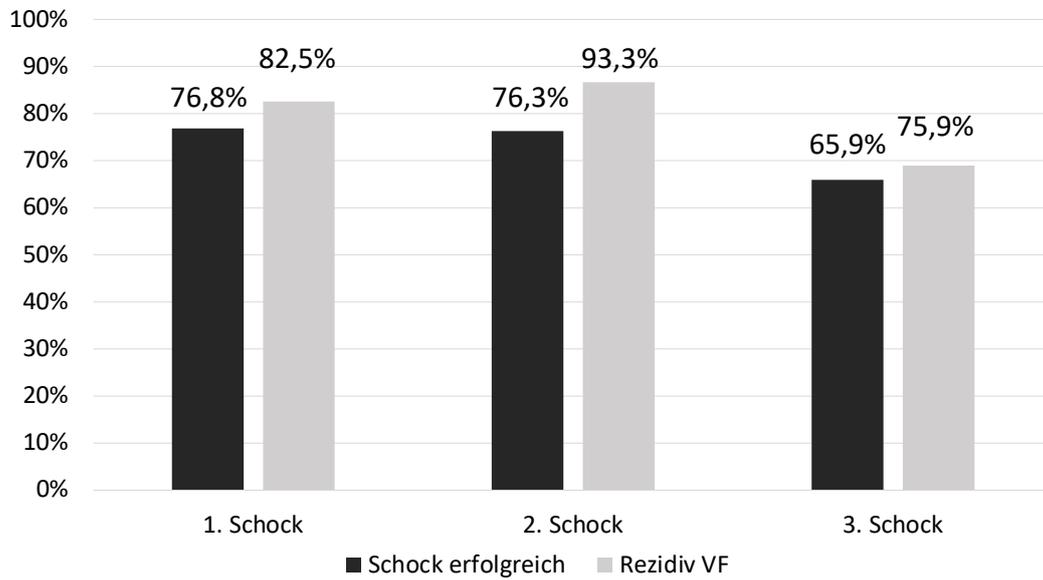


Abb. 20 Defibrillationen im Vergleich

Die Abb. 20 zeigt die Analyse des ersten bis dritten Schocks bezüglich des Defibrillationserfolgs und des prozentualen Vorkommens an Rezidiven.

In der folgenden Abb. 21 lässt sich eine Aufteilung der Herzrhythmen nach erfolgtem Defibrillationsversuch erkennen.

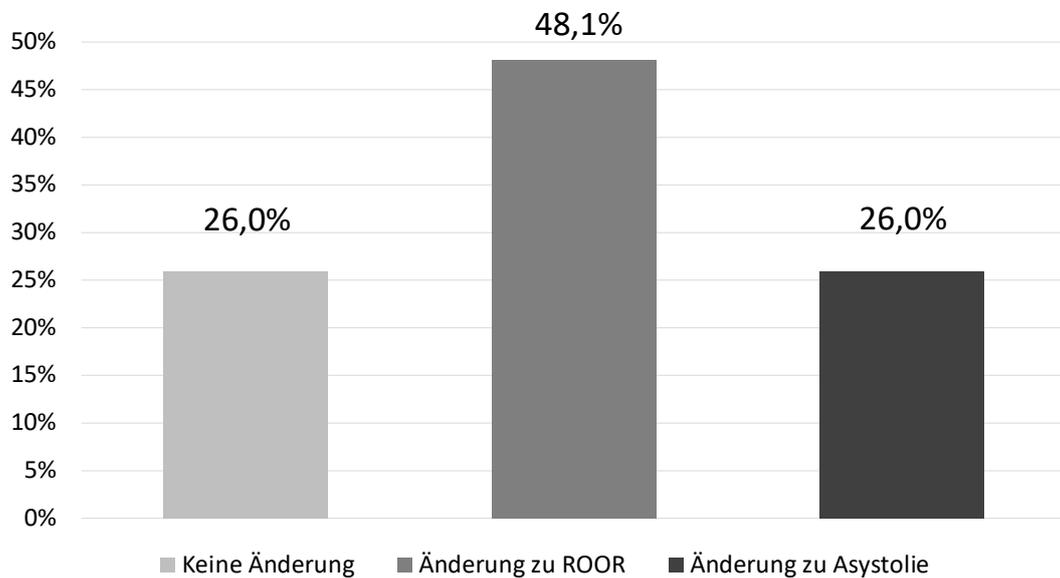


Abb. 21 Auswertung der Herzrhythmen

Die Abb. 21 weist die prozentualen Anteile der Herzrhythmen nach einem erfolgten Schock aus, gemittelt über alle generell ausgewerteten 185 Defibrillationsimpulse.

Insgesamt zeigt sich in dieser Graphik (Abb. 21), dass 26% (n = 48) der Schocks nicht erfolgreich waren.

In 48,1% (n = 89) der Schocks konnte eine Änderung des Herzrhythmus von einem Kammerflimmern zu einem ROOR detektiert werden.

In 26% (n = 48) war eine Änderung des Herzrhythmus zu einer Asystolie zu erkennen.

4. Diskussion

Die vorliegende retrospektive Studie untersuchte die Rate an erfolgreichen Terminierungen des Kammerflimmerns und das Vorkommen von VF-Rezidiven bei Patienten mit einem außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillstand mit Kammerflimmern als initialem Herzrhythmus im Moment der Ankunft des Rettungsdienstfachpersonals [68]. Dabei wurde ein besonderes Augenmerk auch auf die Zeitpunkte des Auftretens der Rezidive gelegt. Insgesamt konnte festgestellt werden, dass 74,1% aller Schocks zu einer Rhythmusänderung führten, aber bei 81% darauffolgend ein Rezidiv unter laufender Herz-Druck-Massage auftrat. Die Mehrzahl der Refibrillationen erfolgte in den ersten 30 Sekunden nach dem Schock (51,4%).

Im Folgenden werden die eigenen Ergebnisse interpretiert und diskutiert und eine Einordnung in den Kontext der Literatur vorgenommen. Ferner sollen Limitationen dargestellt und eine Bewertung der Ergebnisse im klinischen Zusammenhang diskutiert werden.

4.1 Diskussion und Interpretation der Ergebnisse

Um eine qualitativ hochwertige Reanimation für jeden einzelnen Patienten gewährleisten zu können, werden Vorgaben im Rahmen von Leitlinien herausgegeben und in einem Abstand von circa fünf Jahren dem aktuellen Stand der Wissenschaft angepasst.

Hierzu zählt insbesondere der „Advanced Life Support“-Algorithmus des German Resuscitation Council, die in Kapitel 1.3.1 genauer betrachtet wurde.

Aus diesen Leitlinien geht hervor, dass die Herz-Druck-Massage unmittelbar nach einem durchgeführten Defibrillationsversuch von dem rettungsdienstlichen Fachpersonal wiederaufgenommen werden soll. Es wird aktuell empfohlen, keine Herzrhythmusanalyse direkt nach dem Schock durchzuführen, sondern erst nach dem Ablauf von fünf Zyklen von

Thoraxkompressionen und Beatmungen in einem Verhältnis von 30 Thoraxkompressionen zu zwei Beatmungen. Diese fünf Zyklen sollten ungefähr dem Zeitintervall von zwei Minuten entsprechen, in denen der wahre Herzrhythmus unklar bleibt. Die Untersuchungen bezüglich Defibrillationserfolg, Auftreten und Zeitraum des Rezidivs in dieser Studie widmeten sich genau diesem Zeitintervall.

Zunächst konnte gezeigt werden, dass der Einsatz eines Filterprogramms die Analyse des elektrokardiographisch aufgezeichneten Herzrhythmus zu verbessern vermag. Unklar bleibt zum jetzigen Zeitpunkt aber, ob eine Auswertung mit Hilfe der in dieser Studie verwendeten Hochpass-Filter-Technologie auch in einem realen Reanimationseinsatz möglich wäre. Ein schon bestehendes System, welches bereits bei Geräten von Zoll® verwendet wird, ist die See-thru CPR® Technologie. Auf welcher Grundlage diese Filtertechnologie basiert, hat der Hersteller nicht öffentlich publiziert.

Betrachtet man nun die einzelnen Defibrillationen mit Blick auf den Defibrillationserfolg, so erkennt man, dass bei dem ersten und zweiten Defibrillationsimpuls etwas mehr als Dreiviertel der Defibrillationen erfolgreich sind. Bei dem dritten Defibrillationsimpuls sind es immerhin noch circa 66 Prozent. Ein Schock führt also häufig zu einer Termination des Kammerflimmerns. Bei den untersuchten dritten Defibrillationsversuchen zeigte sich eine niedrigere Anzahl an erfolgreichen Defibrillationen, was zum Beispiel auf die zu diesem Zeitpunkt länger andauernde Reanimation zurückgeführt werden könnte oder aber auf ein bei diesen Fällen möglicherweise häufiger vorkommendes refraktäres Kammerflimmern hinweist (Abb. 15). Bei den ersten beiden Defibrillationsversuchen sind Rezidivraten sowie Erfolgsraten der Schocks sehr hoch. Die Rate an Rezidiven liegt bei der ersten Defibrillation bei 82,5% und bei der zweiten Defibrillation bei 86,7%. An dieser bedeutend hohen Zahl ist zu erkennen, dass ein Rezidiv nach einem erfolgreichen Schock insgesamt sehr häufig auftritt. Auch nach dem

dritten Schock kommt es in 69% zu Rezidiven. In Zusammenschau mit der Erfolgsquote bedeutet die niedrigere Anzahl an Rezidiven nach dem dritten Schock, dass sich in den folgenden zwei Minuten überwiegend ein persistierendes Kammerflimmern ereignete (Abb. 16).

Betrachtet man die Herzrhythmen nach einer Defibrillation, so zeigen sich drei mögliche Ergebnisse:

Zum einen konnte der Schock als nicht erfolgreich beurteilt werden; dieses Ergebnis wurde als „keine Veränderung“ bezeichnet.

Zum anderen konnte die Defibrillation zu einer Terminierung des Kammerflimmerns führen. Hierbei sind wiederum zwei Ergebnisse möglich:

Eine Veränderung zu einem „return of organized rhythm“ (ROOR) oder eine Veränderung des Herzrhythmus zu einer Asystolie.

Die Auswertung des ersten Schocks weist eine überwiegend homogene Verteilung der Herzrhythmen auf. In 23,2% ergab sich keine Änderung, der Defibrillationsimpuls war also nicht erfolgreich. In 36,6% zeigte sich eine erfolgreiche Terminierung des Kammerflimmerns mit einem ROOR als post-Defibrillations-Rhythmus und bei 40,2% eine Veränderung des Herzrhythmus zu einer Asystolie (Tabelle 1). Der erste Schock ist also insgesamt sehr häufig erfolgreich, es zeigt sich aber keine klare Verteilung in Bezug auf den Herzrhythmus nach einem erfolgreichen ersten Schock. In ähnlich vielen Fällen konnte eine Veränderung des Herzrhythmus zu einem ROOR wie auch eine Veränderung zu einer Asystolie erkannt werden. Möglicherweise liegt diese Verteilung daran, dass die Herzzellen zunächst nur auf den Stromimpuls reagieren, aber noch nicht sofort wieder einem geordneten Herzzyklus nachgehen können, da die Herzzellen eine gewisse Phase der Regeneration im Sinne einer Asystolie benötigen. Diese Hypothese muss aber weiteren Studien überantwortet werden.

Im Hinblick auf die Verteilung der Herzrhythmen nach dem zweiten Schock kann man eine klare Verteilung zu Gunsten einer Veränderung zu einem ROOR erkennen. Bei den erfolgreichen Terminierungen des

Kammerflimmerns und den folgenden unterschiedlichen Herzrhythmen nach der zweiten Defibrillation zeigte sich in 61% ein Wechsel des Rhythmus zu einem ROOR und in 15,3% eine Veränderung zu einer Asystolie. In 23,7% der Fälle war eine Persistenz des Kammerflimmerns und somit ein nicht erfolgreicher Schock festzustellen.

Diese klare Aufteilung zu Gunsten des ROORs könnte einen Hinweis darauf geben, dass ein zweiter Defibrillationsversuch bessere Chancen als der erste Defibrillationsimpuls aufweist, einen organisierten Herzrhythmus herbeizuführen.

Eine weitere Hypothese, welche aufgestellt werden kann, ist, dass die Reanimationsmaßnahmen zum Zeitpunkt des zweiten Schocks schon deutlich länger anhalten, folglich der Körper wieder besser perfundiert und auch im besten Falle oxygeniert und deshalb auch die Versorgung des Herzens insgesamt deutlich verbessert wurde.

Ähnlich zu der Verteilung der Herzrhythmen nach dem zweiten Schock, sieht es bei den Herzrhythmen nach dem dritten Schock aus:

Hier ergab sich allerdings eine etwas höhere Anzahl von nicht erfolgreichen Defibrillationen in einer Größenordnung von 34,1%. Eine erfolgreiche Terminierung des Kammerflimmerns und eine Veränderung des Rhythmus zu einem ROOR zeigten sich in 52,3%, eine Veränderung zu einer Asystolie war in 13,6% zu erkennen. Auch hierzu gibt es bislang keine ausreichende Datenlage, weshalb sich weitere Studien mit der Fragestellung anschließen müssen, wie eine solche Verteilung erklärt zu werden vermag.

Insgesamt kann man in 26% keine Änderung des Herzrhythmus und in 26% eine erfolgreiche Defibrillation mit einer Änderung des Herzrhythmus zu einer Asystolie feststellen.

In fast der Hälfte aller Fälle (48,1%) zeigt sich aber eine Terminierung des Kammerflimmerns zu Gunsten eines ROOR. Es scheint also so zu sein, als wäre ein organisierter Rhythmus nach einer Defibrillation ein häufig vorkommender Herzrhythmus, wobei dieser organisierte Rhythmus in der

Vielzahl der Fälle ein frühzeitiges Ende findet, weil sich ein Rezidiv anschließt (Tabelle 1).

Die Auswertung der Zeitpunkte der Rezidive des Kammerflimmerns ergab eine klare Verteilung zu Gunsten der ersten 30 Sekunden nach der Defibrillation (Abb. 17). 18% aller Rezidive zeigten sich in den ersten 5 - 10 Sekunden nach dem Schock. In den folgenden 9 Sekunden (11 – 20 Sekunden nach dem Schock) waren 22,5% der Rezidive und in den weiteren 9 Sekunden (21 – 30 Sekunden nach dem Schock) nochmals 10,8% der Rezidive festzustellen. In den ersten 30 Sekunden nach dem Schock traten also über die Hälfte aller in der Studie festgestellten Rezidive auf (insgesamt 51,4%). Die restlichen 48,6% der Rezidive waren überwiegend homogen auf die Abschnitte 31 - 60 Sekunden (13,5%), 61 - 90 Sekunden (14,4%), 91 - 120 Sekunden (7,2%), 121 – 150 Sekunden (4,5%) und das Zeitintervall von 151 – 240 (9%) aufgeteilt (Abb. 17). Es zeigt sich also eine klare Tendenz, dass ein Rezidiv am ehesten innerhalb der ersten 30 Sekunden nach der Defibrillation auftritt. Dabei macht es offensichtlich keinen Unterschied, welchen der drei ersten Defibrillationsversuche man betrachtet, da sich eine ähnliche Verteilung bei allen drei Schocks nachweisen lässt (Abb. 18).

Welche Rolle hierbei die möglicherweise arrhythmogen wirkenden Komponenten der Reanimation, wie zum Beispiel Thoraxkompressionen haben, lässt sich aus dieser Arbeit nicht ableiten. Es bleibt dennoch zu diskutieren, ob und welcher Einfluss auf die Limitation der Terminierung des Kammerflimmerns wirkt und weshalb sich dies vorwiegend innerhalb der ersten 30 Sekunden ereignet.

Wegen der Vorgaben des Reanimationsalgorithmus ist ein Einfluss auf die Ergebnisse der analysierten Daten, wie Herzrhythmen nach der Defibrillation oder der Häufigkeiten der Defibrillationserfolge beziehungsweise der Rezidivraten, durch eine Gabe von antiarrhythmischen Medikamenten oder durch die Gabe von Adrenalin, nicht zu erwarten. Da sich hieraus ein klinischer Bezug ableitet, soll dieser

Aspekt nach der zunächst folgenden Diskussion im Kontext der bestehenden Literatur (Kapitel 4.2) in Kapitel 4.4 näher ausgeführt werden.

4.2 Diskussion im Kontext der bestehenden Literatur

In der Literatur finden sich zahlreiche Untersuchungen zu verschiedenen Themen im Zusammenhang mit der Defibrillation bei außerklinischem Herz-Kreislauf-Stillstand [37, 45].

Allerdings gibt es derzeit nur wenige vergleichbare Studien, die sowohl die Defibrillationserfolgsrate, die Rate an Rezidiven wie auch den Zeitpunkt der Rezidive und den Herzrhythmus nach erfolgreicher Defibrillation während laufender Thoraxkompressionen bis zur nächsten Rhythmusanalyse untersuchen. Die Ergebnisse der Studie und die vorliegende Arbeit sollen daher einen Beitrag dazu leisten, die Erkenntnisse zu ergänzen.

Im Folgenden möchte ich auf einzelne Aspekte und Ergebnisse der dieser Dissertation zugrunde liegenden Studie eingehen und sie mit Blick auf schon bestehenden Veröffentlichungen diskutieren.

Ein Konsens über eine allgemein akzeptierte Definition eines erfolgreichen Schocks beziehungsweise der Terminierung eines Kammerflimmerns nach erfolgtem Defibrillationsversuch besteht in der medizinischen Literatur nicht. In der dieser Arbeit zugrundeliegenden Studie [68] wurde ein Defibrillationserfolg definiert als eine Herzrhythmuskonversion innerhalb der ersten fünf Sekunden nach dem Defibrillationsimpuls. Im Laufe der Jahre wurden zwar auch andere Varianten der Definition des Defibrillationserfolges erprobt [41, 72]. Es zeigte sich allerdings in der wissenschaftlichen Zusammenschau eine überwiegende Verwendung der Definition einer Rhythmusänderung innerhalb der ersten fünf Sekunden nach dem Defibrillationsversuch, weshalb die Definition des Defibrillationserfolges in dieser Studie ebenfalls so gewählt wurde [32, 51,

59, 69]. Eine Auswertung des Defibrillationserfolges anhand dieser Kriterien lässt somit auch eine höhere Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu.

Bei der Untersuchung des Schock-Erfolges stellten Hess et al. Erfolgsraten zwischen 89,7-92,1% an Terminierungen des Kammerflimmerns durch eine Defibrillation vor [32]. Diese Erfolgsraten sind im Vergleich zu den Ergebnissen der dieser Arbeit zugrundeliegenden Studie höher. Verschiedene Faktoren könnten diese Ergebnisse beeinflusst haben. Dies könnte zum Beispiel auf unterschiedliche Notruf-bis-Schock-Zeiten zurückzuführen sein. In der Studie von Hess et al. betrug die Notruf-bis-Schock-Zeit 6,4 Minuten \pm 2,3 Minuten. Im Vergleich dazu zeigt sich in der zugrundeliegenden Studie eine längere Notruf-bis-Schock-Zeit (durchschnittlich 9,8min \pm 2,5min), was die geringeren Erfolgsraten zu erklären vermag.

Laut Nichol et al. sind die Überlebens- und Entlassungsraten erhöht, wenn der erste erkannte Rhythmus schockbar ist und die Defibrillation frühzeitig durchgeführt wird [53]. In der dieser Arbeit zugrundeliegenden Studie wurde keine Auswertung von Überleben, Outcome oder Entlassungsraten angestrebt, weshalb in dieser Hinsicht kein Vergleich vorgenommen werden kann. Eine solche Untersuchung sollte aber noch angeschlossen werden.

In Übereinstimmung mit anderen Studien belegen die Ergebnisse der hier zugrundeliegenden Studie, dass Refibrillationen, unabhängig von der Definition [41], extrem häufig vorkommen [51, 59].

Der Corpuls3-Defibrillator, der in allen Fällen dieser Studie eingesetzt wurde, beendete in vielen Fällen das Kammerflimmern erfolgreich, jedoch kam es im darauffolgenden Intervall der Herz-Druck-Massage zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schocks bemerkenswert oft zu einem Rezidiv. Wie schon beschrieben, konnten Rezidivraten von bis zu 86,7% festgestellt werden. Es zeigte sich also auch in diesen Ergebnissen, dass Refibrillationen nach einer Terminierung des Kammerflimmerns häufig

sind. Die Genese der Rezidive bleibt aber zum aktuellen Zeitpunkt noch völlig unklar.

Nach der vorherrschenden Literaturmeinung ist es entscheidend, die „Hands-off“ Zeit im Peri-Schock-Intervall so kurz wie möglich zu halten [16, 17, 24]. Im Gegensatz dazu zeigten Berdowski et al., dass die sofortige Wiederaufnahme der Thoraxkompressionen nach dem Defibrillationsimpuls ein frühes Rezidiv eines Kammerflimmerns verursachen kann [11]. Einer 2005 von Hess et al. veröffentlichten Studie ist jedoch auch zu entnehmen, dass ein VF-Rezidiv nach einem erfolgreichen Schock nicht durch Thoraxkompressionen provoziert wird, was weitere Fragen zur eigentlichen Ätiologie des VF-Rezidivs aufwirft [33].

Eine kürzlich veröffentlichte Studie zeigt im Hinblick auf das Ergebnis der Reanimation einen höheren Defibrillationserfolg, wenn ein einminütiges Intervall zwischen zwei Rhythmusanalysen verwendet wird [59]. Im Gegensatz dazu steht in einer Studie aus dem Jahr 2015, die die Wichtigkeit von Thoraxkompressionen nach einem erfolgten Schock hervorhebt und angibt, dass die Mehrheit der Patienten für mehr als zwei Minuten pulslos blieben [58].

Affatato et al. zeigten, dass eine kontinuierliche Analyse des Kammerflimmerns eine Optimierung des Defibrillations-Zeitpunkts und des Defibrillationserfolgs ermöglichen kann [4].

Anhand dieser sehr konträren Datenlage kann man die Relevanz dieses Themas auch vor dem Hintergrund erkennen, dass die Daten der vorliegenden Studie möglicherweise für ein kürzeres Defibrillationsintervall sprechen. Allerdings sollte man aufgrund der eher niedrigen Fallzahl aus den Ergebnissen zu diesem Zeitpunkt noch keine allgemein gültigen Schlüsse ziehen.

Um zu beurteilen, welche Rhythmusveränderungen nach Defibrillationsversuchen auftraten, wurden in der zugrundeliegenden Studie die Herzrhythmen nach dem Schock ermittelt. Die dabei

ausgewerteten Ergebnisse weisen Unterschiede zwischen dem ersten Schock im Vergleich zu Schock zwei und drei auf (Tabelle 1). Im Vergleich zu den Ergebnissen von Bhandari et al., die nur die ersten beiden Schocks analysierten, zeigen sich ähnliche Ergebnisse bezüglich der Anzahl erfolgloser Schocks [12]. In Bezug auf Rhythmusänderungen zu ROOR oder Asystolie nach erfolgreicher Terminierung der VF-Wellenform unterscheiden sich die Ergebnisse von Bhandari et al. von den Ergebnissen dieser Analyse [12].

Es bleibt unklar, inwieweit die verschiedenen Defibrillatoren, die in der Studie von Bhandari und in der dieser Arbeit zugrundeliegenden Studie Verwendung fanden, sowie ein unterschiedlich organisiertes Rettungsdienst-System diese Ergebnisse beeinflusst haben.

Da in der dieser Arbeit zugrundeliegenden Analyse keine Daten zum Überleben erhoben wurden, ist es nicht möglich, eine Hypothese über den Einfluss des Post-Schock-Rhythmus auf das Outcome aufzustellen.

Betrachtet man die Ergebnisse der dieser Arbeit zugrundeliegenden Studie, so sind zwei Fakten von äußerster Wichtigkeit: Eine erfolgreiche Defibrillation ist häufig, ein Rezidiv nach dem Defibrillationserfolg allerdings auch.

In den aktuell gültigen europäischen Leitlinien für eine Reanimation ist die Vorgabe, erst nach dem dritten Schock eine Antiarrhythmikatherapie zu initiieren. Deshalb gehen die Autoren der zugrundeliegenden Studie davon aus, dass die Auswertung des Defibrillationserfolges und die Auswertung der Rezidivraten ohne den Einfluss einer medikamentösen Behandlung stattgefunden hat [68]. Allerdings wird die Gabe von antiarrhythmischen Medikamenten immer wieder und auch aktuell diskutiert [27, 44, 49]. Die Vereinigung ILCOR betrachtet ebenfalls den Einsatz von Antiarrhythmika während einer Reanimation sehr genau und rückte dieses Thema 2018 erneut in den Fokus. Gemäß der AHA und dem ERC Update 2018 wird die prophylaktische Gabe von Antiarrhythmika nicht empfohlen [54, 67]. Um ein VF-Rezidiv zu verhindern, sollte eine individuelle Entscheidung getroffen werden [54]. Auch für Europa wurde vom ERC empfohlen, das

Regime der antiarrhythmischen Therapie nicht zu ändern. Die Amiodaron-, Lidocain- und Placebo (ALPS)-Studie des Resuscitation Outcomes Consortium (ROC) zeigte bei einem außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillstand mit schockrefraktärem Kammerflimmern keinen signifikanten Unterschied zwischen der Gabe von Amiodaron und Lidocain hinsichtlich des Überlebens der Patienten beziehungsweise eines verbesserten neurologischen Outcomes [43]. Darüber hinaus beschrieben Salcido et al., dass es keine antiarrhythmische Therapie gebe, die bei Patienten mit einem außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillstand die Rezidiv-Wahrscheinlichkeit verringert [62]. Einige Autoren versuchten, dieses weite Feld der Empfehlungen erneut zusammenzufassen. So kamen Soar et al. zu dem Ergebnis, ein Verabreichen von Amiodaron oder Lidocain sei vorteilhaft, nicht aber die Gabe von Magnesium während der Reanimation. Für weitere Empfehlungen bezüglich der post-Reanimationsphase und zu anderen Medikamenten sind laut Soar et al. bislang noch zu wenig verlässliche Daten vorhanden [66]. In einer weiteren Studie stellen Soar et al. aber auch klar, dass ein Vorteil durch eine antiarrhythmische Therapie im Hinblick auf Überleben und Hospitalisierungsrate vorhanden ist, wenn eine frühzeitige Reanimation eingeleitet wird und eine schnellstmögliche Defibrillation stattfindet [65]. Andere Autoren versuchten auch die Gabe von weiteren Medikamenten, wie zum Beispiel Bicarbonat, während der Reanimation in den Fokus zu rücken [71].

Diese vielfältigen Diskussionen und Erkenntnisse können anhand der hier zugrundeliegenden Studie erneut diskutiert werden.

Die Gabe eines antiarrhythmischen Medikamentes während einer Reanimation kann zum einen vor dem Hintergrund erwogen werden, um eine elektrische Konversion – von einem Kammerflimmern zu einem ROOR – zu verbessern. Ein weiterer Ansatz ist zum anderen aber auch, Antiarrhythmika mit dem Ziel zu verabreichen, ein erneutes Wiederauftreten, also ein Rezidiv nach einer erfolgreichen Defibrillation, zu verhindern.

Auch wenn Daya et al. und andere Autoren keinen Unterschied und zum Teil auch keinen Vorteil zwischen der Gabe von Antiarrhythmika im

Vergleich zu einer Placebogruppe aufzeigten, so bleibt dennoch zu diskutieren, wie die Therapie dieser Patienten, die ein Rezidiv eines Kammerflimmerns erleiden, verbessert werden kann [5, 21].

Betrachtet man nun die Ergebnisse der vorliegenden Studie näher, kann man erkennen, dass ein Rezidiv in über 50 Prozent der Fälle in einem Zeitintervall von 5 – 30 Sekunden nach der erfolgreichen Defibrillation auftritt. Ein möglicher Versuch diese hohe Zahl an Rezidiven zu minimieren, kann eine deutlich frühere Gabe einer antiarrhythmischen Medikation sein. Welcher Zeitpunkt dafür der Beste ist und welches der Antiarrhythmika, wie zum Beispiel Amiodaron oder Lidocain, die sich in vorherigen Studien kaum in ihrer Wirkung unterschieden haben [66], dafür am besten eignet, muss in weiteren Studien im Einzelnen geklärt werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie legen aber die erneute Diskussion zugunsten einer früheren Gabe von antiarrhythmischen Medikamenten nahe.

Weitere Studien müssen die Rolle der Refibrillation und den Umgang mit diesem Rezidiv in der frühen Phase der Reanimation untersuchen. Auch der Zeitpunkt und die Abfolge des Einsatzes von Antiarrhythmika sowie alternative Defibrillationsstrategien müssen neu bewertet werden [18, 46]. Ein weiterer Aspekt ist, dass ein aufgetretenes Rezidiv eines Kammerflimmerns während der Herz-Druck-Massage gegenwärtig nicht sicher erkannt werden kann. Daher sollte der Einsatz einer Filtertechnologie in Betracht gezogen werden, um den Zeitpunkt der Defibrillation zu verbessern und die Zeit bis zum nächsten Schock zu verkürzen oder die Verzögerung bei der Verabreichung antiarrhythmischer Medikamente zu verringern [2, 8].

4.3 Limitationen der Methodik

Es gibt mehrere Limitationen der Studie, die hauptsächlich auf das retrospektive Studiendesign zurückzuführen sind.

Durch die ausschließlich retrospektive Auswertung von anonymisierten EKG-Datensätzen konnten keine Informationen über die Krankengeschichte und die Langzeitmedikation der Patienten, einschließlich der Einnahme von Antiarrhythmika, bei der Studie berücksichtigt werden. Solche Faktoren können aber einen Einfluss auf die Konversionsrate bei einer Defibrillation haben, da strukturelle (Vor-)Erkrankungen, wie beispielsweise ein Vorhofflimmern, keine Berücksichtigung fanden.

In der vorliegenden Studie wurden mehr Männer als Frauen eingeschlossen. Ob dieses unausgewogene Verhältnis von männlichen zu weiblichen Patienten einen Einfluss auf die Ergebnisse hat, müssen weitere Studien klären.

In der Analyse bezüglich des Defibrillationserfolges wurde keine Unterscheidung zwischen persistierendem und rezidivierend auftretendem Kammerflimmern vorgenommen. Insoweit ist zu beachten, dass möglicherweise ein rezidivierendes Kammerflimmern mit einer frühzeitigen „double-sequential-defibrillation“ effektiver behandelt werden kann [18]. Das rettungsdienstliche Fachpersonal verwendete in den Fällen, die dieser Arbeit zugrunde liegen, keine Filtertechnologie, um den realen Herzrhythmus während anhaltender Herz-Druck-Massage herauszufinden. Weitere Einschränkungen bestehen darin, dass keine Informationen über die Qualität der kardio-pulmonalen Reanimation oder der peri-Schock-Pausen angegeben beziehungsweise mit einbezogen wurden. Auch die Schockimpedanz oder die Genauigkeit der Positionierung der Defibrillationselektroden auf dem Brustkorb wurden nicht dokumentiert, könnten aber Einfluss auf die Schock-Qualität und das Ergebnis haben. Des Weiteren zeigten Edelson et al. schon 2006, dass auch die Qualität der Thoraxkompressionen und die Länge der Pausen vor einem Schock das Defibrillationsergebnis beeinflussen können [23]. In der dieser Arbeit zugrundeliegenden Studie wurde keine Auswertung der Qualität der Herz-Druck-Massage in Relation zum Defibrillationsergebnis durchgeführt.

Viele Autoren glauben, dass einer der Hauptprädiktoren für die Beendigung des Kammerflimmerns der Unterschied zwischen VF-Wellenformen ist [9, 70]. In der dieser Arbeit zugrundeliegenden Studie wurde allerdings keine Frequenzanalyse der VF-Wellenformen durchgeführt.

Zudem wurden ausschließlich biphasische, geradlinige Rechteckimpulse verabreicht, weshalb keine vollständige Vergleichbarkeit zu MDS-Defibrillationen besteht.

Überdies wurde auch die Amplitude der Wellenform kurz vor der Defibrillation nicht erfasst, die jedoch laut Balderston et al. ebenfalls Auswirkungen auf den Defibrillationserfolg haben soll [9].

Eine wichtige Beobachtung bezüglich der Länge des anhaltenden Kammerflimmerns und des Musters des Kammerflimmerns ist der Arbeit von Panitchob et al. 2017 zu entnehmen. Diese Arbeitsgruppe fand heraus, dass ein Kammerflimmern durch eine Defibrillation in seinem Muster beeinflussbar ist. Initial zeigte sich ein sehr unkoordiniertes Muster, das sich durch anhaltendes Kammerflimmern im Verlauf verändern konnte und sich zu einem eher rhythmischen Kammerflimmern entwickelte. Auch nach einer nicht erfolgreichen Defibrillation lässt sich in der Studie von Panitchob et al. häufig ein „geordneteres“ und „rhythmischeres“ Kammerflimmern feststellen [55]. Welchen Einfluss das Muster des Kammerflimmerns auf den Defibrillationserfolg und auch die Rezidivrate hat, wurde aber in der dieser Arbeit zugrundeliegenden Studie nicht untersucht.

Mit Blick auf die nur wenigen vergleichbaren Untersuchungen zu dieser Thematik ist positiv zu vermerken, dass die Erkenntnisse dieser Dissertation einen Denkanstoß für die Verbesserung der Therapie einer Vielzahl von Reanimationspatienten geben können.

4.4 Ergebnisse im klinischen Kontext

Die klinische Relevanz dieses Themas folgt aus der großen Zahl an Reanimationspatienten weltweit. In der Mehrheit der Fälle zeigt sich zwar eine Asystolie oder eine pulslose elektrische Aktivität als initialer Herzrhythmus, aber gerade in den Fällen, in denen der Rettungsdienst einen defibrillierbaren initialen Herzrhythmus erkennt, liegen die Chancen auf eine erfolgreiche Reanimation höher [63]. Umso wichtiger ist es, genau diesen Patienten die bestmögliche Reanimationsbehandlung zukommen zu lassen.

Den Ergebnissen, die in der dieser Arbeit zugrundeliegenden Studie veröffentlicht wurden, kann man mehrere unterschiedliche hypothesengenerierende Ansätze entnehmen.

Die Vielzahl an erfolgreichen Defibrillationen unterstreicht, was Studien anderer Autoren zuvor schon zeigen konnten:

Eine Defibrillation ist ein probates und gutes Mittel, um ein Kammerflimmern zu terminieren [10, 68]. Die hohe Anzahl an Rezidiven, die sich in der dieser Dissertation zugrunde liegenden Studie zeigten, lässt aber die Vermutung zu, dass eine einmalige Defibrillation sehr häufig keine endgültige Terminierung des Kammerflimmerns erzeugen konnte. Einer der möglichen Ansätze, diese Rate an erfolgreichen Konversionen ohne darauffolgendes Rezidiv zu vergrößern, kann die Implementierung einer „double-sequential defibrillation“ sein [18, 30]. Weitere Studien müssen sich anschließen, um diese These zu festigen beziehungsweise dann zu verwerfen, sollte sich kein Vorteil zeigen.

Zudem sollten weitere Forschungsbemühungen durchgeführt werden, um die aktuellen Reanimationsstrategien zu erweitern, da ein sehr hoher Anteil an VF-Rezidiven nach einer Defibrillation gezeigt werden konnte. Im Hinblick darauf, dass über die Hälfte der Rezidive innerhalb der ersten 30 Sekunden nach der Defibrillation auftritt, sollten neue Vorgehensweisen getestet werden, die zum Beispiel ein kürzeres Zeitintervall zwischen den Defibrillationen einschließen. Zusätzlich sollte auch die Rolle der antiarrhythmischen Medikation während einer

laufenden Reanimation bezüglich jener Patienten diskutiert werden, die an einem rezidivierend auftretenden Kammerflimmern leiden. Hier kann eine gänzlich andere Herangehensweise im Rahmen der Reanimation mit einer früheren Gabe antiarrhythmisch wirkender Medikamente oder einer „double-sequential defibrillation“ bei Patienten mit rezidivierendem Kammerflimmern ein möglicher Faktor sein, der das Überleben und Outcome des jeweiligen Patienten verbessert.

Auch die Arbeitsgruppe um Patil et al. gibt einige Ansätze in ihrer Veröffentlichung wieder, die zu einer erhöhten Rate an erfolgreichen Reanimationen führen können, wie zum Beispiel eine Wiederherstellung des metabolischen Gleichgewichts und die Prävention eines Reperfusionssyndroms [56].

Zieht man an dieser Stelle ein Fazit ist festzuhalten, dass trotz der vorhandenen Studien und Forschungsgruppen, die sich mit dem Thema der Reanimation und Defibrillation beschäftigen, das Potenzial, die Behandlung zu verbessern, bei weitem noch nicht ausgeschöpft ist.

4.5 Resümee und Ausblick

Die Auswertung von insgesamt 185 Defibrillationen zeigt die klare Verteilung, dass 74,1% der Defibrillationen erfolgreich waren, davon aber insgesamt 81% der Patienten ein Rezidiv erlitten. Darüber hinaus traten Refibrillationen hauptsächlich innerhalb der ersten 30 Sekunden nach erfolgreichem Schock auf (51,4%). Somit tritt ein erneutes Kammerflimmern sehr häufig und sehr früh auf [68].

Resümierend kann hieraus geschlossen werden, dass die Defibrillation eine erforderliche und adäquate Therapiemöglichkeit eines Kammerflimmerns beziehungsweise einer pulslosen ventrikulären Tachykardie ist. Nach wie vor bleibt aber unklar, wie sich ein Rezidiv nach erfolgreicher Defibrillation vermeiden lässt.

Aktuell scheint es so, dass bisher noch keine adäquate Möglichkeit gefunden wurde, um eine dauerhaft erfolgreiche Defibrillation herbeizuführen.

Weitere Studien müssen den besten Schock-Kompressions-Analyse-Algorithmus herausfinden und das Regime der antiarrhythmischen Therapie in der frühen Phase der Herz-Lungen-Wiederbelebung bei einem außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillstand mit initial schockbarem Rhythmus neu bewerten.

Daher muss die beste **individuelle** Schockstrategie für jeden einzelnen Patienten bei der Diagnose einer Refibrillation gesucht und zugleich die Genese des Rezidivs ermittelt werden.

Dies kann auch bedeuten, dass in der Zukunft nicht jeder Patient nach dem gleichen Reanimations-Algorithmus behandelt wird.

Eines der Hauptprobleme bei der schnellen und sicheren Festlegung eines individuellen Algorithmus vor Ort ist aber das Fehlen einer Technologie, die eine Echtzeit-EKG-Analyse während der laufenden Herz-Druck-Massage ermöglicht.

Deshalb müssen zukünftige Bemühungen forciert werden, die die EKG-Analyse und -Auswertung während der laufenden Herz-Druck-Massage erleichtern, um eine Refibrillation so schnell wie möglich zu erkennen.

Dies könnte zum Beispiel durch die Verwendung von Filtern geschehen.

Da die Ergebnisse der dieser Arbeit zugrundeliegenden Studie Forschungsbemühungen mit ähnlichen Ergebnissen unterstützen, komme ich resümierend zu folgendem Schluss:

Es sollte diskutiert werden, ob es an der Zeit ist, über einen anderen, differenzierteren Defibrillations-Kompressions-Algorithmus bei einem außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillstand mit initialem Kammerflimmern nachzudenken.

5. Zusammenfassung

Hintergrund

Die häufigste Todesursache weltweit ist laut WHO die ischämische Herzerkrankung. Bei einem außerklinischen Herzstillstand (OHCA) mit initialem Kammerflimmern (VF) empfehlen die aktuellen Leitlinien eine frühzeitige Defibrillation, gefolgt von Thoraxkompressionen für zwei Minuten, bevor der Defibrillationserfolg überprüft wird. Zeigt die Rhythmusanalyse ein erneutes Kammerflimmern, ist unklar, ob das Kammerflimmern persistierte oder es zu einem Rezidiv gekommen ist. Die vorliegende Dissertation widmet sich thematisch der präklinischen Defibrillation, die während einer Reanimation durch den Rettungsdienst im Rahmen eines außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillstandes vorgenommen wird. Im Speziellen ist der Defibrillationserfolg und der Zeitpunkt eines möglichen Rezidivs eines defibrillierbaren Herzrhythmus im Zeitintervall direkt nach der Defibrillation bis zur nächsten Herzrhythmusanalyse untersucht worden.

Methoden

In die Analyse wurden alle Fälle von OHCA mit initialem Kammerflimmern (VF) bei Eintreffen des Rettungsdienstes im Landkreis Marburg-Biedenkopf von Januar 2014 bis März 2018 einbezogen und die EKG-Datensätze vom Beginn der kardiopulmonalen Reanimation bis vier Minuten nach dem dritten Schock berücksichtigt. Drei unabhängige Untersucher analysierten die corpuls3-EKG-Aufzeichnungen unter Verwendung von Hochpassfiltern. Eine erfolgreiche Terminierung des Kammerflimmerns wurde als das Fehlen einer VF-Wellenform innerhalb von 5 Sekunden (s) nach Schockabgabe und ein VF-Rezidiv als das Vorhandensein einer VF-Wellenform im Intervall ab 5 s nach der Schockabgabe definiert. Eine formale Bearbeitung durch eine Ethikkommission war nicht erforderlich.

Ergebnisse

185 biphasische Schocks von 82 Patienten wurden eingeschlossen und ausgewertet. In 74,1 % (n = 137) aller Schocks beendete eine

Defibrillation des Kammerflimmerns, aber bei 81 % (n = 111) trat ein Rezidiv auf. Die mediane (IQR) Zeit des VF-Rezidivs betrug 27 s (13,5 s/80,5 s) nach dem Schock. Dabei traten die VF-Rezidive nach dem Schock wie folgt auf: 51,4% (n = 57) im Intervall 5-30 s; 13,5% (n = 15) im Intervall 31-60 s; 21,6% (n = 24) im Intervall 61-120 s; 13,5% (n = 15) im Intervall 121-240 s. Die Herzrhythmen nach den Defibrillationen wurden einzeln ausgewertet und analysiert.

Diskussion und Schlussfolgerung

In der dieser Arbeit zugrundeliegenden Studie wurde die Rate der erfolgreichen Defibrillationen sowie das Auftreten und der genaue Zeitpunkt von Rezidiven des Kammerflimmerns bei Patienten mit außerklinischem Herzstillstand und initial defibrillierbarem Herzrhythmus bei Eintreffen des Rettungsdienstes untersucht.

Obwohl das Kammerflimmern in 74,1 % durch die Defibrillation beendet werden konnte, zeigte sich in 81 % ein Rezidiv. Die Mehrzahl der Rezidive erfolgte in den ersten 30 Sekunden nach dem Schock (51,4 %).

Das bedeutet ein Rezidiv eines Kammerflimmerns ist häufig und tritt früh nach erfolgter Defibrillation auf.

In der Literatur finden sich zahlreiche Untersuchungen zu verschiedenen Themen im Zusammenhang mit der Defibrillation, aber nur wenige vergleichbare Studien, die den Herzrhythmus nach erfolgreicher Defibrillation während laufender Thoraxkompressionen bis zur nächsten Rhythmusanalyse untersuchen. Die Ergebnisse der dieser Arbeit zugrundeliegenden Studie, könnten die Diskussion zugunsten einer früheren antiarrhythmischen Arzneimittelgabe und Rhythmusanalyse zur Verhinderung eines Rezidivs eines Kammerflimmerns unterstützen.

Es bleibt unklar, inwieweit die Thoraxkompressionen das Auftreten eines Rezidivs beeinflussen. Weitere Studien müssen den Algorithmus, den Zeitpunkt der antiarrhythmischen Therapie oder neuartige Defibrillationsstrategien neu bewerten, um die Refibrillationen während eines OHCA zu minimieren.

6. Abstract

Background

According to WHO, the most common cause of death worldwide is ischemic heart disease. For out-of-hospital-cardiac-arrest (OHCA) due to ventricular fibrillation (VF) guidelines recommend early defibrillation followed by chest compressions for two minutes before analyzing shock success. If rhythm analysis reveals VF again, it is obscure whether VF persisted or reoccurred within the two-minutes-cycle of chest compressions after successful defibrillation. This thesis is thematically dedicated to prehospital defibrillation performed during resuscitation by emergency medical services in the context of out-of-hospital cardiac arrest. Specifically, the defibrillation success and the point in time of a possible recurrence of ventricular fibrillation in the time interval immediately after defibrillation until the next cardiac rhythm analysis was part of the investigation.

Methods

The analysis included all cases of OHCA presenting with initial ventricular fibrillation (VF) rhythm at arrival of ALS-ambulance (Marburg-Biedenkopf-County, 246.648 inhabitants) from January 2014 to March 2018. Three independent investigators analyzed corpuls3-ECG-recordings. ECG-data from CPR-beginning until four minutes after the third shock was included. High-pass filters were used for analysis. VF termination was defined as the absence of a VF-waveform within 5 s of shock delivery. VF recurrence was defined as the presence of a VF-waveform in the interval 5 s post shock delivery. Formal processing by an ethics committee was not required.

Results

185 biphasic shocks of 82 patients were included and analyzed. 74.1% (n = 137) of all shocks terminated VF, but VF recurred in 81% (n = 111). The

median (IQR) time of VF-recurrences was 27 s (13.5 s/80.5 s) after shock. 51.4% (n = 57) of VF-recurrence occurred in the interval 5-30 s after shock, 13.5% (n = 15) VF-recurrence occurred 31-60 s after shock, 21.6% (n = 24) of VF-recurrence occurred 61-120 s after shock, 13.5% (n = 15) of VF-recurrence occurred 121-240 s after shock.

Discussion and Conclusion

In the study underlying this thesis, the rate of successful termination of ventricular fibrillation and the occurrence and point in time of recurrences of ventricular fibrillation in patients with out-of-hospital cardiac arrest and initially shockable cardiac rhythm on arrival of the emergency medical services, were investigated.

Although VF was terminated by defibrillation in 74.1%, VF recurred in 81% subsequent to the chest compression interval. The majority of refribrillations occurred in the first 30 seconds after the shock (51.4%).

There are numerous studies in the literature on various topics related to defibrillation, but just a few comparable studies examining cardiac rhythm after successful defibrillation during ongoing chest compressions until the next rhythm analysis. The results of the study underlying this thesis, may support the discussion in favor of earlier antiarrhythmic drug administration and rhythm analysis to prevent recurrence of ventricular fibrillation. Thus, VF reappears frequently and early. It is unclear to which extend chest compressions influence VF-relapse. Further studies need to re-evaluate the algorithm, timing of antiarrhythmic therapy or novel defibrillation strategies to minimize refribrillation during shockable OHCA.

7. Literatur

1. (1966) Cardiopulmonary resuscitation. *Jama* 198:372-379
2. Aase SO, Eftestøl T, Husøy JH et al. (2000) CPR artifact removal from human ECG using optimal multichannel filtering. *IEEE Trans Biomed Eng* 47:1440-1449
3. Adrouny ZA, Stephenson MJ, Straube KR et al. (1963) Serum glutamic oxaloacetic and pyruvic transminases in a case of cardiac arrest resuscitated by external cardiac massage. *Circulation* 27:571-573
4. Affatato R, Li Y, Ristagno G (2016) See through ECG technology during cardiopulmonary resuscitation to analyze rhythm and predict defibrillation outcome. *Curr Opin Crit Care* 22:199-205
5. Ali MU, Fitzpatrick-Lewis D, Kenny M et al. (2018) Effectiveness of antiarrhythmic drugs for shockable cardiac arrest: A systematic review. *Resuscitation* 132:63-72
6. Alzaga AG, Varon J, Baskett P (2005) The resuscitation greats. Charles Kite: The clinical epidemiology of sudden cardiac death and the origin of the early defibrillator. *Resuscitation* 64:7-12
7. Amann A, Klotz A, Niederklapfer T et al. (2010) Reduction of CPR artifacts in the ventricular fibrillation ECG by coherent line removal. *Biomed Eng Online* 9:2
8. Babaeizadeh S, Firoozabadi R, Han C et al. (2014) Analyzing cardiac rhythm in the presence of chest compression artifact for automated shock advisory. *J Electrocardiol* 47:798-803
9. Balderston JR, Gertz ZM, Ellenbogen KA et al. (2018) Association between ventricular fibrillation amplitude immediately prior to defibrillation and defibrillation success in out-of-hospital cardiac arrest. *Am Heart J* 201:72-76

10. Bell SM, Lam DH, Kearney K et al. (2018) Management of Refractory Ventricular Fibrillation (Prehospital and Emergency Department). *Cardiol Clin* 36:395-408
11. Berdowski J, Tijssen JG, Koster RW (2010) Chest compressions cause recurrence of ventricular fibrillation after the first successful conversion by defibrillation in out-of-hospital cardiac arrest. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 3:72-78
12. Bhandari S, Doan J, Blackwood J et al. (2018) Rhythm profiles and survival after out-of-hospital ventricular fibrillation cardiac arrest. *Resuscitation* 125:22-27
13. Bossaert L, Chamberlain D (2013) The European Resuscitation Council: its history and development. *Resuscitation* 84:1291-1294
14. Brazdionyte J, Stanaitiene G, Ablonskyte-Dūdoniene R (2005) [Electrical defibrillation and cardioversion]. *Medicina (Kaunas)* 41:892-899
15. Cakulev I, Efimov IR, Waldo AL (2009) Cardioversion: past, present, and future. *Circulation* 120:1623-1632
16. Cheskes S, Schmicker RH, Christenson J et al. (2011) Perishock pause: an independent predictor of survival from out-of-hospital shockable cardiac arrest. *Circulation* 124:58-66
17. Cheskes S, Schmicker RH, Verbeek PR et al. (2014) The impact of peri-shock pause on survival from out-of-hospital shockable cardiac arrest during the Resuscitation Outcomes Consortium PRIMED trial. *Resuscitation* 85:336-342
18. Cheskes S, Wudwud A, Turner L et al. (2019) The impact of double sequential external defibrillation on termination of refractory ventricular fibrillation during out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 139:275-281

19. Cimponeriu A, Starmer CF, Bezerianos A (2003) Ischemic modulation of vulnerable period and the effects of pharmacological treatment of ischemia-induced arrhythmias: a simulation study. *IEEE Trans Biomed Eng* 50:168-177
20. Darragh KM, Manoharan G, Navarro C et al. (2012) Synchronized defibrillation for ventricular fibrillation. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 1:285-290
21. Daya MR, Leroux BG, Dorian P et al. (2020) Survival After Intravenous Versus Intraosseous Amiodarone, Lidocaine, or Placebo in Out-of-Hospital Shock-Refractory Cardiac Arrest. *Circulation* 141:188-198
22. Deakin CD, Nolan JP, Sunde K et al. (2010) Elektrotherapie: automatisierte externe Defibrillatoren, Defibrillation, Kardioversion und Schrittmachertherapie. *Notfall + Rettungsmedizin* 13:543-558
23. Edelson DP, Abella BS, Kramer-Johansen J et al. (2006) Effects of compression depth and pre-shock pauses predict defibrillation failure during cardiac arrest. *Resuscitation* 71:137-145
24. Eftestol T, Sunde K, Steen PA (2002) Effects of interrupting precordial compressions on the calculated probability of defibrillation success during out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 105:2270-2273
25. Eisenberg MS (2005) History of the Science of Cardiopulmonary Resuscitation. *Cardiopulmonary Resuscitation*. Humana Press Totowa, NJ, pp 1-9
26. Gong Y, Yu T, Chen B et al. (2014) Removal of cardiopulmonary resuscitation artifacts with an enhanced adaptive filtering method: an experimental trial. *Biomed Res Int* 2014:140438
27. Gottlieb M, Dyer S, Peksa GD (2020) Beta-blockade for the treatment of cardiac arrest due to ventricular fibrillation or pulseless

ventricular tachycardia: A systematic review and meta-analysis.
Resuscitation 146:118-125

28. Goyal A, Sciammarella JC, Chhabra L et al. (2020) Synchronized Electrical Cardioversion. StatPearls. StatPearls Publishing
Copyright © 2020, StatPearls Publishing LLC. Treasure Island (FL)
29. Gurvich NL, Yuniev GS (1946) Restoration of regular rhythm in the mammalian fibrillating heart. Am Rev Sov Med 3:236-239
30. Hajjar K, Berbari I, El Tawil C et al. (2018) Dual defibrillation in patients with refractory ventricular fibrillation. Am J Emerg Med 36:1474-1479
31. Hargarten KM, Stueven HA, Waite EM et al. (1990) Prehospital experience with defibrillation of coarse ventricular fibrillation: a ten-year review. Ann Emerg Med 19:157-162
32. Hess EP, Russell JK, Liu PY et al. (2008) A high peak current 150-J fixed-energy defibrillation protocol treats recurrent ventricular fibrillation (VF) as effectively as initial VF. Resuscitation 79:28-33
33. Hess EP, White RD (2005) Ventricular fibrillation is not provoked by chest compression during post-shock organized rhythms in out-of-hospital cardiac arrest. Resuscitation 66:7-11
34. Hooker DR, Kouwenhoven WB, Langworthy OR (1933) THE EFFECT OF ALTERNATING ELECTRICAL CURRENTS ON THE HEART. American Journal of Physiology-Legacy Content 103:444-454
35. HRDG (2019-2026) Verordnung zur Durchführung des Hessischen Rettungsdienstgesetzes. In: Integration HMfSu (ed), vol GVBl. I 2011, 13
36. Hurt R (2005) Modern cardiopulmonary resuscitation--not so new after all. J R Soc Med 98:327-331

37. Jouffroy R, Ravasse P, Saade A et al. (2017) Number of Prehospital Defibrillation Shocks and the Return of Spontaneous Circulation in Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Turk J Anaesthesiol Reanim* 45:340-345
38. KenKnight BH, Eyüboğlu BM, Ideker RE (1995) Impedance to defibrillation countershock: does an optimal impedance exist? *Pacing Clin Electrophysiol* 18:2068-2087
39. Kesper K, Canisius S, Penzel T et al. (2012) ECG signal analysis for the assessment of sleep-disordered breathing and sleep pattern. *Med Biol Eng Comput* 50:135-144
40. Koster RW, Walker RG, Chapman FW (2008) Recurrent ventricular fibrillation during advanced life support care of patients with prehospital cardiac arrest. *Resuscitation* 78:252-257
41. Koster RW, Walker RG, van Alem AP (2006) Definition of successful defibrillation. *Crit Care Med* 34:S423-426
42. Kouwenhoven WB, Jude JR, Knickerbocker GG (1960) Closed-chest cardiac massage. *Jama* 173:1064-1067
43. Kudenchuk PJ, Brown SP, Daya M et al. (2016) Amiodarone, Lidocaine, or Placebo in Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *N Engl J Med* 374:1711-1722
44. Lam V, Hsu CH (2020) Updates in Cardiac Arrest Resuscitation. *Emerg Med Clin North Am* 38:755-769
45. Lee SGW, Park JH, Ro YS et al. (2020) Time to first defibrillation and survival outcomes of out-of-hospital cardiac arrest with refractory ventricular fibrillation. *Am J Emerg Med* 40:96-102
46. Mapp JG, Hans AJ, Darrington AM et al. (2019) Prehospital Double Sequential Defibrillation: A Matched Case-Control Study. *Acad Emerg Med* 26:994-1001

47. McNally B, Robb R, Mehta M et al. (2011) Out-of-hospital cardiac arrest surveillance --- Cardiac Arrest Registry to Enhance Survival (CARES), United States, October 1, 2005--December 31, 2010. *MMWR Surveill Summ* 60:1-19
48. McWilliam JA (1889) Cardiac Failure and Sudden Death. *Br Med J* 1:6-8
49. Miraglia D, Miguel LA, Alonso W (2020) The Evolving Role of Esmolol in Management of Pre-Hospital Refractory Ventricular Fibrillation; a Scoping Review. *Arch Acad Emerg Med* 8:e15
50. Monsieurs K, Nolan J, Bossaert L et al. (2015) ERC Guidelines. *Notfall Rettungsmed* 18:655-747
51. Morrison LJ, Dorian P, Long J et al. (2005) Out-of-hospital cardiac arrest rectilinear biphasic to monophasic damped sine defibrillation waveforms with advanced life support intervention trial (ORBIT). *Resuscitation* 66:149-157
52. Morrison LJ, Henry RM, Ku V et al. (2013) Single-shock defibrillation success in adult cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 84:1480-1486
53. Nichol G, Sayre MR, Guerra F et al. (2017) Defibrillation for Ventricular Fibrillation: A Shocking Update. *J Am Coll Cardiol* 70:1496-1509
54. Panchal AR, Berg KM, Kudenchuk PJ et al. (2018) 2018 American Heart Association Focused Update on Advanced Cardiovascular Life Support Use of Antiarrhythmic Drugs During and Immediately After Cardiac Arrest: An Update to the American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 138:e740-e749

55. Panitchob N, Li L, Huang J et al. (2017) Endocardial Activation Drives Activation Patterns During Long-Duration Ventricular Fibrillation and Defibrillation. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 10
56. Patil KD, Halperin HR, Becker LB (2015) Cardiac arrest: resuscitation and reperfusion. *Circ Res* 116:2041-2049
57. Perkins GD, Handley AJ, Koster RW et al. (2015) European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 2. Adult basic life support and automated external defibrillation. *Resuscitation* 95:81-99
58. Pierce AE, Roppolo LP, Owens PC et al. (2015) The need to resume chest compressions immediately after defibrillation attempts: an analysis of post-shock rhythms and duration of pulselessness following out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 89:162-168
59. Roh YI, Jung WJ, Hwang SO et al. (2019) Shorter defibrillation interval promotes successful defibrillation and resuscitation outcomes. *Resuscitation* 143:100-105
60. Ruiz de Gauna S, Irusta U, Ruiz J et al. (2014) Rhythm analysis during cardiopulmonary resuscitation: past, present, and future. *Biomed Res Int* 2014:386010
61. Rupp D, Plöger B, Jerrentrup A et al. (2018) When seconds count: The influence of early defibrillation by EMS on favorable outcome. vol 130, Supplement 1 *Resuscitation*, pp e6-e7
62. Salcido DD, Schmicker RH, Kime N et al. (2018) Effects of intra-resuscitation antiarrhythmic administration on rearrest occurrence and intra-resuscitation ECG characteristics in the ROC ALPS trial. *Resuscitation* 129:6-12

63. Sandroni C, Nolan J, Cavallaro F et al. (2007) In-hospital cardiac arrest: incidence, prognosis and possible measures to improve survival. *Intensive Care Med* 33:237-245
64. Scholz KH, Andresen D, Böttiger BW et al. Qualitätsindikatoren und strukturelle Voraussetzungen für Cardiac-Arrest-Zentren – Deutscher Rat für Wiederbelebung/German Resuscitation Council (GRC).
65. Soar J (2018) Antiarrhythmic drug therapy during cardiopulmonary resuscitation: should we use it? *Curr Opin Crit Care* 24:138-142
66. Soar J, Donnino MW, Maconochie I et al. (2018) 2018 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations Summary. *Circulation* 138:e714-e730
67. Soar J, Perkins GD, Maconochie I et al. (2019) European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation: 2018 Update - Antiarrhythmic drugs for cardiac arrest. *Resuscitation* 134:99-103
68. Spies DM, Kiekenap J, Rupp D et al. (2020) Time to change the times? Time of recurrence of ventricular fibrillation during OHCA. *Resuscitation* 157:219-224
69. Stothert JC, Hatcher TS, Gupton CL et al. (2004) Rectilinear biphasic waveform defibrillation of out-of-hospital cardiac arrest. *Prehosp Emerg Care* 8:388-392
70. Strommenger HU (2008) Predicting defibrillation success. *Curr Opin Crit Care* 14:311-316
71. Vallentin MF, Granfeldt A, Holmberg MJ et al. (2020) Drugs during cardiopulmonary resuscitation. *Curr Opin Crit Care* 26:242-250
72. van Alem AP, Chapman FW, Lank P et al. (2003) A prospective, randomised and blinded comparison of first shock success of

monophasic and biphasic waveforms in out-of-hospital cardiac arrest. Resuscitation 58:17-24

73. WorldHealthOrganization (2020) The top 10 causes of death. World Health Organization
74. Zoll PM, Linenthal AJ, Gibson W et al. (1956) Termination of ventricular fibrillation in man by externally applied electric countershock. N Engl J Med 254:727-732

8. Anhang

I. Tabellendarstellung für die Auswertung

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
		Einsatznummer	pVT = 0 / VF = 1	1. Schock hh:mm:ss	1. Schock erfolgreich nein = 0 / ja = 1	Rhythmus nach 1. Schock VT = 0, VF = 1, ROOR = 2, Asystolie = 3	Rezidiv nein = 0 / ja = 1	Rezidiv um hh:mm:ss	Uhrzeitdifferenz	Zeit bis zum Rezidiv in sec nach Schock 1
1										
2	1								00:00:00	0
3	2								00:00:00	0
4	3								00:00:00	0
5	4								00:00:00	0
6	5								00:00:00	0
7	6								00:00:00	0
8	7								00:00:00	0
9	8								00:00:00	0
10	9								00:00:00	0
11	10								00:00:00	0
12	11								00:00:00	0
13	12								00:00:00	0
14	13								00:00:00	0
15	14								00:00:00	0
16	15								00:00:00	0
17	16								00:00:00	0
18	17								00:00:00	0
19	18								00:00:00	0
20	19								00:00:00	0
21	20								00:00:00	0
22	21								00:00:00	0
23	22								00:00:00	0
24	23								00:00:00	0
25	24								00:00:00	0
26	25								00:00:00	0
27	26								00:00:00	0
28	27								00:00:00	0
29	28								00:00:00	0
30	29								00:00:00	0
31	30								00:00:00	0

II. Feedback-Bogen im Rahmen eines Reanimationseinsatzes

Formular „Feedback nach Reanimation“ - Erläuterungen

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

ihr erhaltet dieses Formular, weil ihr innerhalb der letzten 48 Stunden an einer Reanimation beteiligt gewesen seid. An dieser Stelle schon mal ein Dankeschön für euren Einsatz!

Dieses Formular dient ausschließlich der persönlichen Information. Anhand des Formulars können die Vorgaben der aktuell gültigen ERC-Guidelines zur Reanimation mit den eigenen, im Einsatz tatsächlich erreichten und auch dokumentierten Ergebnissen durch euch verglichen werden. Ziel des Projektes ist eine zeitnahe Rückmeldung zum Ablauf der Reanimation und hier besonders mit Blick auf die zeitlichen Abläufe.

HINWEIS: Unabhängig vom eigenen Ergebnis, welches dieses Formular widerspiegelt, hat dies keine weiteren Maßnahmen oder Aktivitäten zur Folge. Eine innerbetriebliche Weitergabe der erhobenen Daten und Ergebnisse erfolgt ausdrücklich nicht.

Die Auswertung der Ergebnisse - auf dem Formular als „Datenbasis“ bezeichnet - erfolgt auf Basis folgender, regelhaft zur Verfügung stehender Dokumente und Daten:

- **Protokoll:** Ist „Protokoll“ als Datenbasis angegeben, erfolgt zur Erhebung des jeweiligen Parameters eine Auswertung des elektronisch erfassten Einsatzprotokolls (NIDA). Ist ein Feld beim eigenen Ergebnis leer, liegt dies darin begründet, dass der entsprechende Punkt im Einsatzprotokoll nicht vermerkt wurde. Es wird ausdrücklich nicht unterstellt, dass die Maßnahme am Patienten unterlassen wurde. Dies lässt sich anhand der Dokumentation nicht nachvollziehen und bleibt ausschließlich der beteiligten Besatzung bekannt.
- **C3:** Alle Parameter mit Datenbasis „C3“ werden anhand der regelhaft auf der Speicherkarte des C3 zur Verfügung stehenden Daten ausgewertet. Auf der Speicherkarte werden alle vom Monitor ermittelten Werte sowie das EKG-Bild des Patienten von Einschalten bis zum Ausschalten des Gerätes abgelegt und können mit der Software CorView betrachtet werden.

Nachfolgend noch Anmerkungen zu einzelnen Parametern und dem Zustandekommen des Ergebnisses:

- **Gesamtdauer Reanimation:** Die Gesamtdauer der Reanimation wird anhand der C3-Daten ermittelt. Es gilt jedoch nur die erste zusammenhängende Dauer der Reanimation bis zum ersten Auftreten von ROSC. Bei einem Wechsel zwischen Phasen von CPR und ROSC werden die CPR-Phasen nicht addiert. Entsprechend kann es hier zu Abweichungen zwischen tatsächlicher Reanimationsdauer und der angegebenen Dauer auf dem Formular kommen.
- **Relative Hands-off-Zeit in %:** Hier werden Unterbrechungen der Thoraxkompressionen ins Verhältnis zur Gesamtdauer der Reanimation gesetzt. Alle Unterbrechungen der Thoraxkompressionen werden hierfür vor der Berechnung addiert. Die Pausen der Thoraxkompressionen können anhand von fehlenden Artefakten im EKG-Bild erkannt werden.
- **Längste Pause 1. Rettungsmittel:** Längste Unterbrechung der Thoraxkompressionen, solange ein Rettungsmittel allein vor Ort ist.
- **Längste Pause beide Rettungsmittel:** Längste Unterbrechung der Thoraxkompressionen während beide Rettungsmittel vor Ort sind.
- **Defibrillationen:** Hier wird die Gesamtzahl der durchgeführten Defibrillationen angegeben sowie als Standard die Aussagen der ERC-Guidelines übernommen. Beim eigenen Ergebnis wird das jeweilige tatsächliche Zeitintervall angegeben.
- **Atemweg:** Mit Aufnahme der Punkte „Atemwegssicherung 1“ und „Atemwegssicherung 2“ wird die Situation berücksichtigt, dass unter Umständen Larynxmaske und Tubus beim gleichen Patienten zum Einsatz kommen.
- **Medikamente:** Bei sämtlichen Medikamenten wird die im Einsatzprotokoll vermerkte Gesamtdosis aufgeführt. Ohne genaue Betrachtung der Zeitpunkte der Gabe wird für Adrenalin die mittlere Dosis je 5 Min. errechnet und angegeben. Der Standard nach laut Guidelines ist der entsprechenden Spalte zu entnehmen.
- **Post ROSC und Übergabe:** Diese Abschnitte werden nur mit den auf dem Protokoll vermerkten Werten versehen, wenn der Patient mit Spontankreislauf in die Klinik verbracht wurde. Anderenfalls bleiben diese Felder leer und unberücksichtigt.

Bei Fragen zum Formular selbst oder der Erhebung einzelner Daten, wendet euch per E-Mail an reafeedback@rdmh.de.

ORGANISATORISCHES

Reanimation ID:	<input type="text" value="1767"/>	Einsatznr. NA-System:	<input type="text"/>	Rufname NA-System:	<input type="text"/>
Datum:	<input type="text"/>	Einsatznummer RTW:	<input type="text"/>	Rufname RTW:	<input type="text"/>
RetAss NA-System:	<input type="text"/>	Pos. 1 RTW:	<input type="text"/>		
Notarzt:	<input type="text"/>	Pos. 2 RTW:	<input type="text"/>		

ERSTBEFUND

	Standard laut Guidelines	Eigenes Ergebnis	Datenbasis
Dokumentation initialer EKG-Rhythmus bei CPR-Beginn:	Dokumentation	<input type="text"/>	Protokoll
BZ-Dokumentation:	Dokumentation	<input type="text" value="keine Angabe"/>	Protokoll

THORAXKOMPRESSIONEN

	Standard laut Guidelines	Eigenes Ergebnis	Datenbasis
Gesamtdauer Reanimation:		<input type="text"/>	C3
Relative Hands-off-Zeit in %:	< 20 Prozent	<input type="text"/>	C3
Längste Pause erstes Rettungsmittel:	< 5 Sekunden	<input type="text"/>	C3
	Ab (Uhrzeit):	<input type="text"/>	
Längste Pause beide Rettungsmittel:	< 5 Sekunden	<input type="text"/>	C3
	Ab (Uhrzeit):	<input type="text"/>	
corPatch eingesetzt?	Eingesetzt	<input type="text" value="Nein"/>	C3
Anteil Thoraxkompressionen Tiefe zu flach in %:		<input type="text"/>	C3
Anteil Thoraxkompressionen Tiefe im Zielbereich in %:		<input type="text"/>	C3
Anteil Thoraxkompressionen Tiefe zu tief in %:		<input type="text"/>	C3
Anteil Thoraxkompressionen Frequenz zu langsam in %:		<input type="text"/>	C3
Anteil Thoraxkompressionen Frequenz im Zielbereich in %:		<input type="text"/>	C3
Anteil Thoraxkompressionen Frequenz zu schnell in %:		<input type="text"/>	C3

DEFIBRILLATION

	Standard laut Guidelines	Eigenes Ergebnis	Datenbasis
Gesamtzahl der Defibrillationen:		<input type="text"/>	C3
Zeitpunkt 1. Defibrillation:	max. 2-3 Minuten nach Beginn VF/VT	<input type="text"/>	C3
Zeitpunkt 2. Defibrillation:	2 Minuten nach 1. Defibrillation	<input type="text"/>	C3
Zeitpunkt 3. Defibrillation:	2 Minuten nach 2. Defibrillation	<input type="text"/>	C3
Zeitpunkt 4. Defibrillation:	2 Minuten nach 3. Defibrillation	<input type="text"/>	C3
Zeitpunkt 5. Defibrillation:	2 Minuten nach 4. Defibrillation	<input type="text"/>	C3
Zeitpunkt 6. Defibrillation:	2 Minuten nach 5. Defibrillation	<input type="text"/>	C3
Zeitpunkt 7. Defibrillation:	2 Minuten nach 6. Defibrillation	<input type="text"/>	C3
Zeitpunkt 8. Defibrillation:	2 Minuten nach 7. Defibrillation	<input type="text"/>	C3

ATEMWEG

	Standard laut Guidelines	Eigenes Ergebnis	Datenbasis
Atemwegssicherung 1:	Dokumentation	<input type="text"/>	Protokoll
Atemwegssicherung 2:	Dokumentation, sofern eingesetzt	<input type="text"/>	Protokoll
Kapnometrieinsatz ab Atemwegssicherung 1:	Dokumentation	<input type="text" value="kein Wert"/>	Protokoll / C 3

ZUGANG

	Standard laut Guidelines	Eigenes Ergebnis	Datenbasis
Zugang 1 - Typ:	Dokumentation	<input type="text"/>	Protokoll

MEDIKAMENTE

	Standard laut Guidelines	Eigenes Ergebnis	Datenbasis
Dosis Adrenalin pro 5 Minuten:	Bei ASY/PEA mind. alle 5 Minuten 1 mg; Bei VF/VT nach 3. Defib., dann mind. alle 5 Minuten	<input type="text"/> mg/5 Min.	Protokoll
Gesamtdosis Cordarex:	Bei VF/VT 300-450 mg nach 3. Defib.	<input type="text"/>	Protokoll
Gesamtdosis Vasopressin:	Dokumentation, sofern eingesetzt	<input type="text"/>	Protokoll

----- Nachfolgende Felder / Seite nur bei Patienten mit ROSC relevant -----

POST ROSC

	Standard laut Guidelines	Eigenes Ergebnis	Datenbasis
12-Kanal-EKG:	Dokumentierte Durchführung	<input type="text" value="Nein"/>	Protokoll
Hypothermie:	Dokumentierte Durchführung	<input type="text"/>	Protokoll
Beatmungsmodus:	Dokumentation	<input type="checkbox"/>	Protokoll
FiO2:	< 1,0 wenn SpO2 > 98 %	<input type="text"/>	Protokoll
Atemfrequenz:	Dokumentation	<input type="text"/>	Protokoll
Atemminutenvolumen oder Tidalvolumen:	Dokumentation	<input type="text"/>	Protokoll

ÜBERGABE

	Standard laut Guidelines	Eigenes Ergebnis	Datenbasis
SpO2 bei Übergabe:	Dokumentation	<input type="text"/>	Protokoll
EtCO2 bei Übergabe:	Dokumentation	<input type="text"/>	Protokoll
EKG bei Übergabe:	Dokumentation	<input type="text"/>	Protokoll
HF bei Übergabe:	Dokumentation	<input type="text"/>	Protokoll
RR bei Übergabe:	Dokumentation	<input type="text"/>	Protokoll
Temperatur bei Übergabe:	Dokumentation	<input type="text"/>	Protokoll
ZEK-Dokumentation:	<input type="text" value="Keine Zwischenfälle oder besonderen Ereignisse dokumentiert."/>		Protokoll

III. Appendix

(1) Tabellarischer Lebenslauf:

Seite 75 enthält persönliche Daten. Sie ist deshalb nicht Bestandteil der Veröffentlichung.

(2) Verzeichnis der akademischen Lehrer und Lehrerinnen:

Meine akademischen Lehrer waren folgende Damen und Herren des
Universitätsklinikums Marburg:

Ahrens	Grgic	Pavlovic
Aigner	Groß	Plöge
Arndt	Haas	Pöttgen
Bartsch	Hack	Rischer
Bäumlein	Henning	Ruchholtz
Bäumlein	Hoefl	Rüsch
Becker	Holland	Sassen
Berndt	Holzer	Schäfer
Best	Holzinger	Schäfer
Best	Hörth	Schieffer
Betz	Hoyer	Schmitt
Beutel	Jerrentrup	Schneider
Bien	Jochens	Schubert
Bleyl	Kann	Schüttler
Bliemel	Kanngießer	Schwarz
Bölkow	Kaufmann	Spies
Böselt	Kill	Swaid
Bösl	Kirschbaum	Trenker
Bössner	Klemmer	Vogelmeier
Burchert	Krönig	Vojnar
Dielmann	Kwee	Wächter
Dietz	Lang	Wächtershäuser
Dietz	Lohoff	Wallot
Dinges, G	Mahnken	Wege-Rost
Dinges, HC	Maier	Wiesmann
Eberhart	Manoharan	Wissniowski
Eschbach	Maurer	Wohlmann
Feldmann	Metzelder	Wollmer
Frink	Moll	Wulf
Fülber	Müller	Zentgraf
Geks	Neubauer	
Görg	Neumüller	
Gress	Oberkircher	

Meine akademischen Lehrer waren folgende Damen und Herren der
Universitätsmedizin Göttingen:

Ammon	Hoerauf	Scheithauer
Bähr	Hummers	Schliphake
Beißbart	Huppke	Schön
Besse	Jung	Schoor
Beutner	Katschinski	Schünemann
Bickeböller	Kauffmann	Schwappach
Binder	Knobelsdorf	Smorodin
Bösherz	Koziolk	Stadelmann-Nessler
Bremer	Krefting	Staiger
Brockmöller	Kutschka	Stein
Bucerius	Larsen	Steinbüchel
Burckhardt	Laskawi	Steinem
Chao	Lehmann	Ströbel
Čović	Lotz	Stumpner
Cunitz	Lutz	Tiburcy
Djukic	Meissner	Trojan
Dobbelstein	Mettin	Trümper
Ellenrieder	Mey	Urban
Friede	Müller	Viebahn
Frosch	Nauck	von Arnim
Gallwas	Paul	Wiegand
Gärtner	Paulus	Wienands
Ghadimi	Poustka	Wiesemann
Grellner	Rehling	Wilke
Groß	Reuss	Wiltfang
Groß	Rickmann	Wiling
Hakroush	Rieken	Witte
Hallier	Rizzoli	Wollnik
Hasenfuß	Rohde	Zeisberg
Haus	Rosenberger	Zerr
Hawellek	Rosenbusch	Zimmermann
Herrmann-Lingen	Sax	
Hochheim	Schanz	

(3) Danksagung

Zuerst möchte ich meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Clemens Kill, der inzwischen das Zentrum für Notfallmedizin in Essen leitet, meinen herzlichen Dank aussprechen. Er gab mir die Möglichkeit, im umfänglichen Gebiet der Notfallmedizin einen Einblick in das wissenschaftliche Arbeiten zu erhalten und hat mich bei meiner Arbeit fortlaufend unterstützt. Ich bin ihm daher sehr dankbar, dass ich ein spannendes und ansprechendes Thema wählen durfte und er mich zudem auch im Bereich der medizinischen Kongresse Erfahrungen hat sammeln lassen.

Weiterhin möchte ich meinen wissenschaftlichen Betreuer Dr. med. Martin C. Sassen meinen ausdrücklichen Dank unterbreiten. Er hat sich in allen Abschnitten meiner Dissertation sehr engagiert und mich dadurch exzellent unterstützt. Er war mir schon von Beginn an ein großes Vorbild und ich schätze mich glücklich, ihn als Ansprechpartner vor Ort gehabt zu haben.

Ein weiterer Dank gilt auch dem Zentrum für Notfallmedizin sowie der Uniklinik Marburg für die Bereitstellung der Arbeitsmaterialien. Im Besonderen möchte ich auch Herrn Karl Kesper danken, der uns sein Programm „edfTrace.exe“ zur Verfügung gestellt hat und damit die Auswertung überhaupt erst ermöglichte.

In diesem Zusammenhang darf ich mich auch bei dem geschätzten DRK Rettungsdienst Mittelhessen für die angenehme Zusammenarbeit und die Möglichkeit, die EKG-Datensätze zu verwenden, bedanken. Hierbei gilt mein besonderer Dank Herrn Dennis Rupp, der mir die Übermittlung der Daten auch zu „Unzeiten“ ermöglichte, meine Fragen immer beantworten konnte und mir in jeglicher Hinsicht eine Hilfe war. Während der Zeit meiner Dissertation begleitete mich meine wunderbare Freundin Anna-Lena, die mich in meinem Vorhaben immer bestärkt hat, vielen Dank!

Zu guter Letzt bedanke ich mich von ganzem Herzen bei meinen Eltern, die mich in jedem meiner Schritte sehr unterstützt und gefördert haben. Ihr habt mir bedeutend bei den vielen Abschnitten der Dissertation zur Seite gestanden und mir viele wertvolle Hinweise gegeben.

Ohne euren Zuspruch und die fortwährende Liebe und Fürsorge, aber auch finanzielle Unterstützung wäre ich heute nicht da, wo ich jetzt bin!
Danke, liebste Mama und danke liebster Papa!

(4) Urheberrechtserklärung

Nach ausdrücklicher Genehmigung der Verwendung des ALS-Algorithmus für meine Dissertation durch die Fachzeitschrift „Rettungs+Notfallmedizin“ gebe ich hier das vollständige Copyright an:

© German Resuscitation Council (GRC) und Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021

Hierfür bedanke ich mich herzlich.

Alle weiteren Abbildungen wurden von mir selbst erstellt.

Es liegt also ausdrücklich keine Verletzung von Urheberrechten vor.

(5) Ehrenwörtliche Erklärung

„Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel „Defibrillation bei einem präklinischen Herz-Kreislauf-Stillstand: Konversionsraten und Rezidivhäufigkeiten in der Frühphase der Reanimation durch den Rettungsdienst“ in der Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie unter Leitung von Herrn Prof. Dr. Wulf mit Unterstützung durch Herrn Prof. Dr. Kill ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Ich versichere, dass ich sämtliche wörtlichen oder sinngemäßen Übernahmen und Zitate kenntlich gemacht habe.

Die vorliegende Arbeit wurde in folgenden Publikationsorganen veröffentlicht:

Originalarbeit:

D.M. Spies, J. Kiekenap, D. Rupp, S. Betz, C. Kill, M.C. Sassen:
Time to change the times? Time of recurrence of ventricular fibrillation during OHCA, Resuscitation (2020)

Abstracts:

M.C. Sassen, D.M. Spies, J. Kiekenap, S. Betz, C. Kill: Defibrillation success in out-of-hospital cardiac arrest: Point in time of ventricular fibrillation recurrence after successful shock during early phase of cardiopulmonary resuscitation. Resuscitation (2019)

M.C. Sassen, D.M. Spies, B. Plöger, S. Betz, C. Kill: Defibrillation success in out-of-hospital cardiac arrest: How important is recurrence of ventricular fibrillation after successful shock?, Resuscitation (2016)

Poster:

M.C. Sassen, D.M. Spies, B. Plöger, S. Betz, C. Kill: Defibrillation success in out-of-hospital cardiac arrest: How important is recurrence of ventricular fibrillation after successful shock? EUSEM Poster #8117 (2016)

Vortrag:

D.M. Spies, M.C. Sassen, B. Plöger, S. Betz, C. Kill: Defibrillationserfolg bei außerklinischem Herz-Kreislauf- Stillstand: Stellenwert von Konversionsrate und Wiederkehr von Kammerflimmern in der frühen Reanimationsphase – bei der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin auf den Wissenschaftliche Arbeitstagen Notfallmedizin (2017)

Wissenschaftliche Auszeichnungen:

Verleihung des „Deutschen Reanimationspreises“ 2021, verliehen durch die Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie & Intensivmedizin e.V. (DGAI)

Editorial:

Sheldon Cheskes, Ian R. Drennen: Refribillation after defibrillation: The shocking truth, Resuscitation (2020)

Ort, Datum, Unterschrift Doktorandin

Marburg, 21.06.2021

Dana Maresa Spies

Die Hinweise zur Erkennung von Plagiaten habe ich zur Kenntnis genommen.

Ort, Datum, Unterschrift Referentin/Referent

Essen, den 17.07.2021

Clemens Kill