

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Medizinische Klinik und Poliklinik C
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. h.c. G. Breithardt -

**Präklinische Reanimation mit Hilfe eines
externen automatischen Defibrillators
mit Feedback-Funktion**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae

der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Oberfeld, Jörg Rudolf
aus Rheine
2007

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen
Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. V. Arolt

1. Berichtstatter: PD Dr. med. R. Gradaus

2. Berichtstatter: Prof. Dr. med. T. Weber

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Dezember 2007

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Medizinische Klinik und Poliklinik C
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. h.c. G. Breithardt
Referent: PD Dr. R. med. Gradaus
Koreferent: Prof. Dr. med. T. Weber

ZUSAMMENFASSUNG

Präklinische Reanimation mit Hilfe eines externen automatischen Defibrillators mit Feedback-Funktion

Oberfeld, Jörg Rudolf

Es wurden 62 präklinische Reanimationen im Rettungsdienst der Stadt Münster von Mai 2007 bis Oktober 2007 durchgeführt unter Verwendung eines automatischen externen Defibrillators (AED) mit akustischer Feedback-Funktion bezüglich Kardiokompressionstiefe, Kardiokompressionsfrequenz und Pausen während der Kardiokompression. Diese Reanimationen wurden hinsichtlich der vorliegenden Rhythmen, der Rhythmen im Verlauf, der Qualität der Rhythmusanalyse des AED sowie des klinischen Verlaufes untersucht.

Kammerflimmern als initialen Rhythmus zeigten 40,3 % der Patienten. Sie hatten eine höhere Wahrscheinlichkeit, bis zur Krankenhaus-Entlassung zu überleben, als Patienten mit einem initialen nicht schockbaren Rhythmus (40,0 % versus 16,2 %, $p = 0,036$).

In der Gesamtgruppe überlebten 56,5 % der Patienten bis zur Krankenhauseinweisung und 25,8 % bis zur Entlassung.

Der AED diagnostizierte Kammerflimmern mit einer Sensitivität von 100 % und einer Spezifität von 98,2 %, die Hälfte der falsch-positiven Rhythmusanalysen war durch Kardiokompressionsartefakte bedingt.

Die Überlebensrate war ungewöhnlich hoch. Mögliche Gründe hierfür liegen am ehesten in der konsequenten Umsetzung der aktuellen Reanimationsleitlinien mit weitestmöglicher Reduktion der Zeiten ohne Herzdruck-Massage sowie in der Optimierung des Reanimationsablaufes und der Reanimationsqualität durch das Feedback-System.

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Dezember 2007

MEINEN ELTERN

MEINER FAMILIE

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	7
1.1. Geschichte der Reanimation.....	7
1.2. Kardiopulmonale Reanimation – epidemiologische Daten	7
1.3. Reanimationsleitlinien	8
1.4. Automatische externe Defibrillation	11
1.5. Biphasische Defibrillation	12
1.6. Prognose bei kardiopulmonaler Reanimation.....	13
1.7. Antiarrhythmische Therapie während der Reanimation und Hypothermie nach Reanimation	15
1.8. Drei-Phasen-Modell des Herz-Kreislauf-Stillstandes	16
2. Patienten und Methodik	17
2.1. Reanimationsalgorithmus	17
2.2. ZOLL AED Pro® System	19
2.3. Datenauswertung und Statistik	20
3. Ergebnisse	24
3.1. Patientendaten	24
3.2. Eintreffzeiten	26
3.3. Analyse der Rhythmusstörungen.....	28
3.4. Verlauf nach Alter.....	30
3.5. Verlauf nach Geschlecht.....	30
3.6. Qualität der AED-Rhythmusanalyse	32
3.7. Dauer der Reanimation	35
3.8. Verlauf bei Patienten mit Kammerflimmern als initialem Rhythmus	36
3.9. Späteres Kammerflimmern bei Patienten mit einem initial nicht schockbaren Rhythmus	38
3.10. Dauer der Hospitalisierung	38
4. Diskussion	39
4.1. Zusammenfassung	43
5. Ausblick	44
6. Literatur	45
7. Lebenslauf	54
8. Danksagung	55
9. Abkürzungen	56

1. Einleitung

1.1. Geschichte der Reanimation

Grundpfeiler der heutigen Reanimationstechniken sind Beatmung, Kardio-kompression und Defibrillation. Die erste Beatmung am geöffneten Thorax wurde 1667 in der Londoner Royal Society demonstriert. Aus dem 17. Jahrhundert ist auch die erstmalige Mund-zu-Mund-Beatmung bei geschlossenem Brustkorb überliefert. Begründer der Kombination aus Beatmung und externer Kardio-kompression bei geschlossenem Brustkorb war Peter Safar (45). Nachdem Zoll 1952 erstmalig die externe elektrische Stimulation und 1956 die Defibrillation mittels Wechselstrom beschrieb, entwickelte Bernhard Lown Anfang der 60er Jahre die Defibrillation durch Gleichstrom (32), (59).

1.2. Kardiopulmonale Reanimation – epidemiologische Daten

Die koronare Herzerkrankung ist die weltweit führende Todesursache, unter anderem in Form des plötzlichen Herztodes, der in Europa für 700.000 Todesfälle pro Jahr verantwortlich ist (30), (44), (46), (57). Der plötzliche Herztod ist definiert als unerwarteter Todesfall aus kardialer Ursache, wobei vom Beginn der Symptomatik bis zum Todeseintritt nicht mehr als eine Stunde (in früheren Definitionen bis zu 24 Stunden) vergeht (40).

Drei Viertel der plötzlichen Herztode werden einer zugrundeliegenden koronaren Herzerkrankung zugeschrieben, ca. 20 % einer links- oder rechtsventrikulären Kardiomyopathie. Bei 5 - 10 % der Patienten ist keine strukturellen Herzveränderungen nachweisbar, hier ist der plötzliche Herztod Erkrankungen wie dem Syndrom der langen oder kurzen QT-Zeit oder einem Brugada-Syndrom zuzurechnen (58). Der plötzliche Herztod kann durch tachykarde ventrikuläre Rhythmusstörungen, aber auch durch bradykarde Herzrhythmusstörungen bedingt sein. Bayés de Luna et al. untersuchten die vorliegenden Rhythmen bei

157 ambulant durchgeführten Langzeit-EKG-Untersuchungen, während derer die Patienten am plötzlichen Herztod verstarben (5). Hier war in 84 % der Fälle eine tachykarde ventrikuläre Rhythmusstörung, nachweisbar, in 16 % eine Bradykardie. Der seitens des Rettungsdienstpersonals im ersten verfügbaren EKG aufgezeichnete Rhythmus muss nicht dem elektrophysiologischen Mechanismus des plötzlichen Herztodes entsprechen. Kammerflimmern kann nach einiger Zeit in eine Asystolie übergehen, Bradykardien können zu Kammerflimmern führen.

Die Häufigkeit von außerklinischen Reanimationen wird mit 50-60 Fällen pro 100.000 Einwohner pro Jahr angegeben (37), (41).

1.3. Reanimationsleitlinien

Um Erkenntnisse der Reanimationsforschung weltweit möglichst flächendeckend umzusetzen und in der oft durch Unruhe gekennzeichneten Reanimationssituation standardisierte Vorgehensweisen aller Beteiligten sicherzustellen, wurde 1992 das International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) gegründet. Zurzeit sind folgende Organisationen ILCOR-Mitglieder:

American Heart Association (AHA)

European Resuscitation Council (ERC)

Heart and Stroke Foundation of Canada (HSFC)

Australian and New Zealand Committee on Resuscitation,

Resuscitation Councils of Southern Africa (RCSA),

Inter American Heart Foundation (IAHF)

Auf der Basis der Beratungen im ILCOR veröffentlichten die o.a. Fachgesellschaften in 2000 sowie in 2005 Leitlinien zur Durchführung der Reanimation. Die aktuell gültigen Leitlinien wurden im Jahr 2005 veröffentlicht. Basis jeder cardiopulmonalen Reanimation (CPR) sind Grundmaßnahmen wie Herzdruckmassage und Beatmung (BLS, Basic Life Support). Die Durchführung eines

effektiven BLS vermindert die Wahrscheinlichkeit des prognostisch ungünstigen Übergangs von Kammerflimmern in eine Asystolie unter Reanimation (53).

Die zuvor gültigen Leitlinien des Jahres 2000 hatten einen Schwerpunkt auf die sehr frühe Defibrillation gelegt und dafür Basismaßnahmen zurückgestellt (2). Begründung hierfür war die Erkenntnis, dass bei Kammerflimmern eine sehr hohe Lebensrate besteht, wenn innerhalb der ersten Minuten des Kammerflimmerns defibrilliert wird (4), (50). Pro Minute, in der Kammerflimmern unbehandelt weiter besteht, sinkt die Überlebenschance um ca. 10 % (49). Wird bestehendes Kammerflimmern früh defibrilliert, so besteht eine höhere Wahrscheinlichkeit, direkt danach einen pulsgenerierenden Rhythmus zu erzeugen. Dieses ist prognostisch günstiger als eine nach Defibrillation bestehende elektromechanische Entkopplung (20).

Die damaligen Leitlinien sahen daher vor, mit einer Serie von bis zu drei Schocks mit eskalierender Energie zu defibrillieren und nach jedem Schock das Vorhandensein eines Spontankreislaufs durch Pulspalpation zu überprüfen.

Als Folge dieser Vorgehensweise war während nahezu 50 % der gesamten Reanimationszeit keine Herzdruck-Massage nachweisbar (56)

Cobb et al. zeigten 1999, dass die Durchführung der Herzdruck-Massage vor dem ersten Schock bei Kammerflimmern die Prognose des Patienten verbesserte, besonders, wenn seit dem beobachteten oder vermuteten Eintritt des Kammerflimmerns mehr als fünf Minuten vergangen waren. Bei diesen Zeitmessungen handelte es sich um Schätzungen, da der Eintritt der Bewusstlosigkeit mit dem Eintritt von Kammerflimmern gleichgesetzt wurde (9).

Auch Wik et al. zeigten, dass in einer Subgruppe von Patienten im Kammerflimmern, bei denen der Rettungsdienst erst nach mehr als 5 Minuten nach Kollaps eintraf, durch die Durchführung einer Herzdruck-Massage von 3 Minuten

vor dem ersten Schock ein Überlebensvorteil eintrat (58 % versus 38 %, $p = 0,04$) (55).

Ähnliche Ergebnisse zeigten sich auch im Tierversuch bei Schweinen, die zudem bei Durchführung der Herzdruck-Massage vor dem ersten Schock von Kammerflimmern post reanimationem eine bessere Herzleistung zeigten (6).

Die aktuellen Reanimationsleitlinien aus dem Jahre 2005 fordern daher in Abänderung früherer Handlungsempfehlungen im Bereich des Advanced Cardiac Life Support (ACLS) die Durchführung einer Kardiokompression vor der ersten Defibrillation bei Kammerflimmern, insbesondere wenn die vermutete Dauer des Kammerflimmerns fünf Minuten übersteigt (11), (19), (35).

Nach den aktuellen Leitlinien erfolgen keine Schockserien von mehreren Schocks mehr. Es wird bei jeder Analyse des Herzrhythmus, die alle drei Minuten erfolgen soll, nur ein Schock abgegeben.

Die Erfassung eines durch Defibrillation hergestellten Spontankreislaufes durch Pulstastung ist nicht zuverlässig. In der initialen Pulstastung nach der Schockabgabe war in einer Studie von Rea et al. nur in 2,5 % der Fälle ein Spontankreislauf nachweisbar, im weiteren Verlauf zeigten jedoch 24,5 % der Patienten einen spontanen Kreislauf (43).

Die aktuellen Leitlinien empfehlen daher, nach erfolgter Schockabgabe bei Kammerflimmern sofort die Reanimation durch Kardiokompression erneut zu beginnen und für eine Pulstastung bis zur erneuten Evaluation nach drei Minuten oder bis zu sicheren klinischen Zeichen eines wiederkehrenden Spontankreislaufes zu warten. Hierbei wird bewusst in Kauf genommen, einen erfolgreich defibrillierten Patienten weiter zu kardiokomprimieren; Befürchtungen, hierdurch erneut Kammerflimmern auszulösen, bestätigten sich bisher nicht (23).

1.4. Automatische externe Defibrillation

Die Bedeutung der frühzeitigen Defibrillation von Kammerflimmern zusammen mit der Erkenntnis, dass nur selten der Rettungsdienst in den allerersten Minuten des Kreislaufstillstandes am Einsatzort eintrifft, führte zur Entwicklung automatischer externer Defibrillatoren (AED), die selbsttätig die Rhythmusanalyse übernehmen und dem Anwender eine Empfehlung zur Schockabgabe geben.

Diese Geräte sind inzwischen flächendeckend in den Rettungsdiensten verbreitet, ebenso in der Hand hierfür ausgebildeter Laien und zum Zugriff durch Jedermann an öffentlichen Orten.

Automatische externe Defibrillatoren zeigen Kammerflimmern mit hoher Spezifität und Sensitivität an. Dickey et al. zeigten bei retrospektiver Analyse von aufgezeichneten EKG-Sequenzen eine Spezifität von 94 % und eine Sensitivität von 81 % (12). Cummins et al. berichteten über eine Sensitivität von 81 % bei einer Spezifität von 100 % (10). Pool et al sahen eine Sensitivität und Spezifität von jeweils 100 % (39). Carlson et al. kontrollierten die Genauigkeit eines AED-Systems während induzierter Rhythmusstörungen im Rahmen einer invasiven elektrophysiologischen Untersuchung (7). Hier zeigte sich eine Spezifität von 100 % für breitkomplexige Tachykardien.

Kramer-Johansen et al. verglichen bei prähospitalen und intrahospitalen Reanimationen die zur Analyse des aktuellen Rhythmus notwendigen Pausenzeiten der Herzdruck-Massage zwischen einem manuellen und einem automatischen Modus (27). Im manuellen Modus waren die notwendigen Pausenzeiten kürzer. Die Zahl inadäquater Schockabgaben bei einem nicht-schockbaren Rhythmus war im manuellen Modus jedoch größer (26 % versus 6 %, OR 5,7, 95 % CI: 3,8 – 8,3). Der Spezifität der AED-Analyse übertraf also die des Rettungsdienstpersonals, in dieser Studie auch die der Ärzte im Krankenhaus.

Zur fehlerfreien Rhythmusanalyse benötigen bisher alle AED-Systeme eine Unterbrechung der Kardiokompression, um ein artefaktfreies EKG zu erhalten. Auf Grund der Beobachtung, dass schon kurze Reanimationspausen einen kompletten Verlust des erreichten Minimalkreislaufes bedeuten, wird versucht, EKG-Analyse-Algorithmen zu entwickeln, die keine Kardiokompressionspause benötigen. Erste Ergebnisse zeigen, dass dies mit einer hohen Sensitivität, jedoch einer noch problematisch verbleibenden Spezifität möglich ist. Weiter entwickelte Systeme werden in kurzer Zeit verfügbar sein (14).

1.5. Biphasische Defibrillation

In vergleichenden Studien konnte gezeigt werden, dass die Defibrillation mit biphasischer Schockabgabe bessere primäre Konversionsraten als eine Defibrillation mit monophasischer Schockabgabe hatte. Van Alem et al. beschrieb eine Konversionsrate von Kammerflimmern im ersten Schock von 69 % bei biphasischer, von 45 % bei monophasischer Schockabgabe ($p = 0,01$) (51). Morrison et al. zeigten, dass maximal drei aufeinander folgende Schocks mit eskalierender Energie Kammerflimmern bei monophasischer Schockabgabe bei 34 % der Patienten terminierten, bei biphasischer Schockabgabe bei 52 % der Patienten ($p = 0,01$) (33). (Abbildung 1: monophasische und biphasische Schockform).

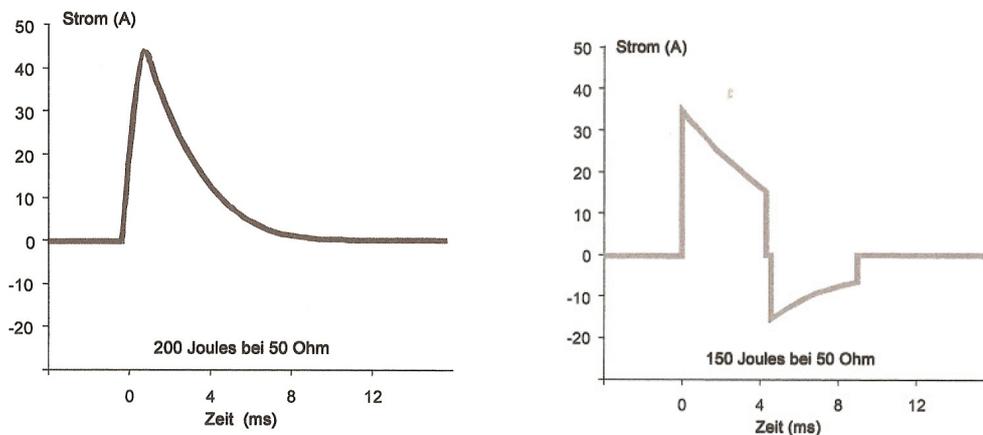


Abbildung 1: Schockformen (links: monophasisch; rechts: biphasisch)

Ob im Rahmen der Reanimation eine Erhöhung der Defibrillationsenergie von Schock zu Schock zu einer Verbesserung des Reanimationsergebnisses führt, ist noch nicht abschließend geklärt. Die Reanimations-Leitlinien geben hierzu keine eindeutige Empfehlung. Stiell et al. fanden eine bessere Konversionsrate von Kammerflimmern, wenn mit eskalierenden Defibrillationsenergien (200-300-360 Joule) defibriert wurde als bei gleich bleibender, niedrigerer Defibrillationsenergie (150-150-150 Joule) (Defibrillationserfolg 82,5 % versus 71,2 %; $p = 0,027$) (47).

1.6. Prognose bei kardiopulmonaler Reanimation

Studien und Register zur präklinischen Reanimation erfassen im Regelfall das primäre Überleben des Patienten bis zur Krankenhauseinlieferung sowie das sekundäre Überleben, das zumeist der Entlassung aus dem Akutkrankenhaus gleichgesetzt wird, gelegentlich auch mit dem 30-Tage-Überleben. In einen Teil der Studien wurden alle prähospital reanimierten Patienten, ohne Berücksichtigung ihres initialen Rhythmus aufgenommen. Andere Studien schlossen nur Patienten ein, die initial Kammerflimmern zeigten, eine Studie nur Patienten, die

initial kein Kammerflimmern zeigten. Tabelle I zeigt eine Zusammenfassung größerer Reanimationsstudien und Register.

Tabelle I: Überleben in Reanimationsstudien/-registern

Autor	Studien- / Register-zeitraum	Patienten-zahl	überlebt bis zum Krankenhaus [%]	überlebt bis zur Entlassung [%]	Bedingungen
Herlitz (22)	1990-2001	9340	17,8	4,9	Beobachteter Kollaps, alle initialen Rhythmen
Estner (15)	1990-2000	412	43,7	11,4	alle initialen Rhythmen
Cobb (8)	1990-2000	739	35,7	15,2	alle initialen Rhythmen
Cobb (9)	1990-1996	1117	n.a.	26,6	nur Patienten mit VF als initialem Rhythmus
Petrie (38)	1991-1997	9899	n.a.	4,3	alle initialen Rhythmen
Lindholm (31)	1992-1994	832	18,4	8,1	alle initialen Rhythmen
Kudenchuk (29)	1994-1997	504	39,1	n.a.	nur Patienten mit VF als initialem Rhythmus, nach dem 3. Schock
Holler (25)	1994-1998	1095	n.a.	8,7	alle initialen Rhythmen
Kramer-Johansen (28)	2002-2004	358	19,3	3,4	alle initialen Rhythmen, Nutzung eines Feedback-Systems zu Kardiokompressionstiefe und Frequenz
Vilke (52)	2003-2004	1141	n.a.	15	nur Patienten mit VF als initialem Rhythmus
Hallstrom (18)	2004-2005	738	n.a.	3,9	nur Patienten mit Asystolie als initialem Rhythmus

Verschiedene Faktoren wurden als vorteilhaft für ein Überleben der Reanimation identifiziert. So hatten Patienten mit Kammerflimmern bessere Chancen, die Reanimation zu überleben als Patienten mit einem initialen nicht-schockbaren Rhythmus (Asystolie, elektromechanische Entkopplung) (44). Reanimationen, die nicht in häuslicher Umgebung sondern in der Öffentlichkeit stattfanden, waren auf Grund der kürzeren Zeit bis zur Entdeckung für den Patienten vorteilhaft. Ebenso war die Durchführung einer Herz-Lungen-Wiederbelebung durch Laien vor Eintreffen des Rettungsdienstes prognostisch günstig. Jüngere Patienten hatten bessere Überlebenschancen (21).

Bei Vorliegen eines initial schockbaren Rhythmus war die Prognose des Patienten verbessert, wenn nach der Durchführung der ersten Schockabgabe ein tastbarer Rhythmus vorlag, als wenn direkt nach dem Schock kein Puls tastbar war (20). In Anwendung der aktuellen Reanimationsleitlinien wird es jedoch aktuell kaum möglich sein, dies zu beurteilen, da keine Pulstastung nach dem ersten Schock erfolgt.

Patienten, die nach der Defibrillation von Kammerflimmern eine Asystolie oder eine elektromechanische Entkopplung entwickelten, hatten eine geringere Chance, lebend das Krankenhaus zu erreichen als Patienten, die schon primär eine Asystolie hatten oder mit einer elektromechanischen Dissoziation aufgefunden wurden (34).

Holler et al. zeigten für Patienten, die eine Reanimation bis zur Krankenhausentlassung überlebten, eine 10-Jahres-Überlebensrate von 45 % (25).

1.7. Antiarrhythmische Therapie während der Reanimation und Hypothermie nach Reanimation

Bei therapierefraktärem Kammerflimmern empfehlen die aktuellen Leitlinien eine intravenöse Behandlung mit Amiodaron, nachdem Kudenchuk et al. nach-

weisen konnten, dass unter dieser Behandlung mehr primäres Überleben, also eine Stabilisierung des Patienten bis zur Krankenhauseinweisung erreicht werden konnte (44 % versus 34 % unter Placebo; $p = 0,03$) (29). Seit dem Jahre 2000 beinhalten die Leitlinien eine Empfehlung zur Durchführung einer milden Hypothermie für 24 Stunden nach einer Reanimation bei Kammerflimmern zur Verbesserung des neurologischen Verlaufes (1).

1.8. Drei-Phasen-Modell des Herz-Kreislauf-Stillstandes

Weisfeldt stellte ein Drei-Phasen-Modell des durch Kammerflimmern ausgelösten Herz-Kreislauf-Stillstandes zur Diskussion, nachdem in den ersten Minuten von Kammerflimmern die optimale Behandlung in der reinen Korrektur des elektrischen Problems durch Defibrillation besteht (54). In der zweiten, als zirkulatorisch bezeichneten Phase (ca. 4 – 10 Minuten nach Kreislaufstillstand) steht die initiale Wiederherstellung eines Minimalkreislaufes durch Kardiokompression im Vordergrund, an die dann die Defibrillation mit verbesserten Chancen im Vergleich zur primären Defibrillation angeschlossen werden sollte. Postuliert wurde eine dritte, metabolische Phase, die für den häufig geringen Reanimationserfolg nach lang andauerndem Kreislaufstillstand verantwortlich ist. Hingewiesen wurde hier zum Beispiel auf die Tatsache, dass T-Zell-defiziente Mäuse nach Reanimation eine geringe Inzidenz eines akuten Nierenversagens zeigen, was als Hinweis auf eine generalisierte Entzündungsaktivierung gewertet wurde.

Gestützt wird ein solches Modell durch die Beobachtung, dass die Durchführung einer Herz-Lungen-Wiederbelebung durch Laien umso mehr zur Verbesserung der Überlebenschancen des Patienten beitrug, je länger es bis zur ersten Schockabgabe dauerte (17). Vilke et al. fanden bei Patienten mit Kammerflimmern innerhalb der ersten vier Minuten durch Laien-CPR keine Überlebensvorteile (52).

2. Patienten und Methodik

Untersucht wurden alle im Rettungsdienst der Berufsfeuerwehr Münster in der Zeit von Mai 2007 bis September 2007 reanimierten Patienten. Die Berufsfeuerwehr Münster ist der einzige Rettungsdienst-Träger in einem städtischen Rettungsdienst-Bezirk, in dem etwa 300.000 Menschen leben. Die Rettungstransportwagen sind auf fünf Standorte über das Stadtgebiet verteilt. Es handelt sich um ein Notarzt-unterstütztes Rettungssystem im Rendezvous-Verfahren mit 2 ständig besetzten Notarzteinsatzfahrzeugen. Alle Rettungswagen sind mit dem hier verwendeten automatischen externen Defibrillator ausgestattet. Zur Standardisierung des Vorgehens ist es vorgesehen, alle Reanimationen, auch die, die primär in Anwesenheit des Notarztes begonnen werden, mit dem hier verwendeten AED-System durchzuführen.

2.1. Reanimationsalgorithmus

Die aktuellen Reanimationsleitlinien wurden für den Bereich des Rettungsdienstes der Stadt Münster in einem standardisierten Handlungsablauf umgesetzt, der in der Abbildung 2 wiedergegeben ist.

Notfall-Behandlungs-Ablauf -Reanimation- Berufsfeuerwehr Münster

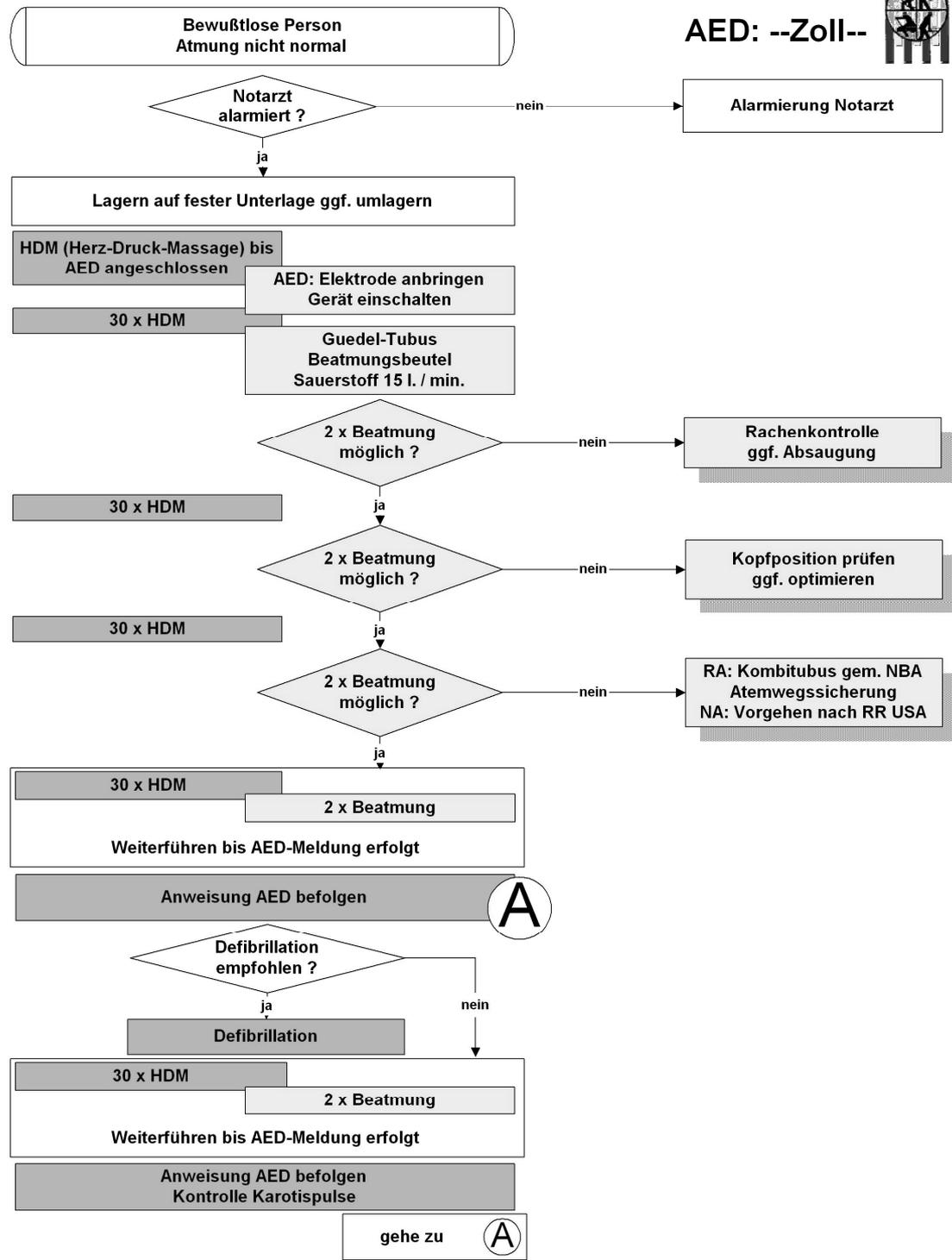


Abbildung 2: Algorithmus der präklinischen Reanimation für die Berufsfeuerwehr Münster

2.2. ZOLL AED Pro® System

Alle analysierten Reanimationen wurden unter Verwendung des AED-Pro-Systems® der Firma ZOLL durchgeführt. Neben den Standardfunktionen eines automatischen externen Defibrillators verfügt das System über die Möglichkeit, jeden einzelnen Stoß der applizierten Herzdruck-Massage über einen prästernal aufgetragenen Akzelerometer-Sensor hinsichtlich der Frequenz und Eindringtiefe zu analysieren. Dieser Sensor ist Teil einer auf den Thorax aufzubringenden Einheit, die auch die für die EKG-Analyse und Schockabgabe notwendigen großflächigen Klebelektroden enthält (Abbildung 3).

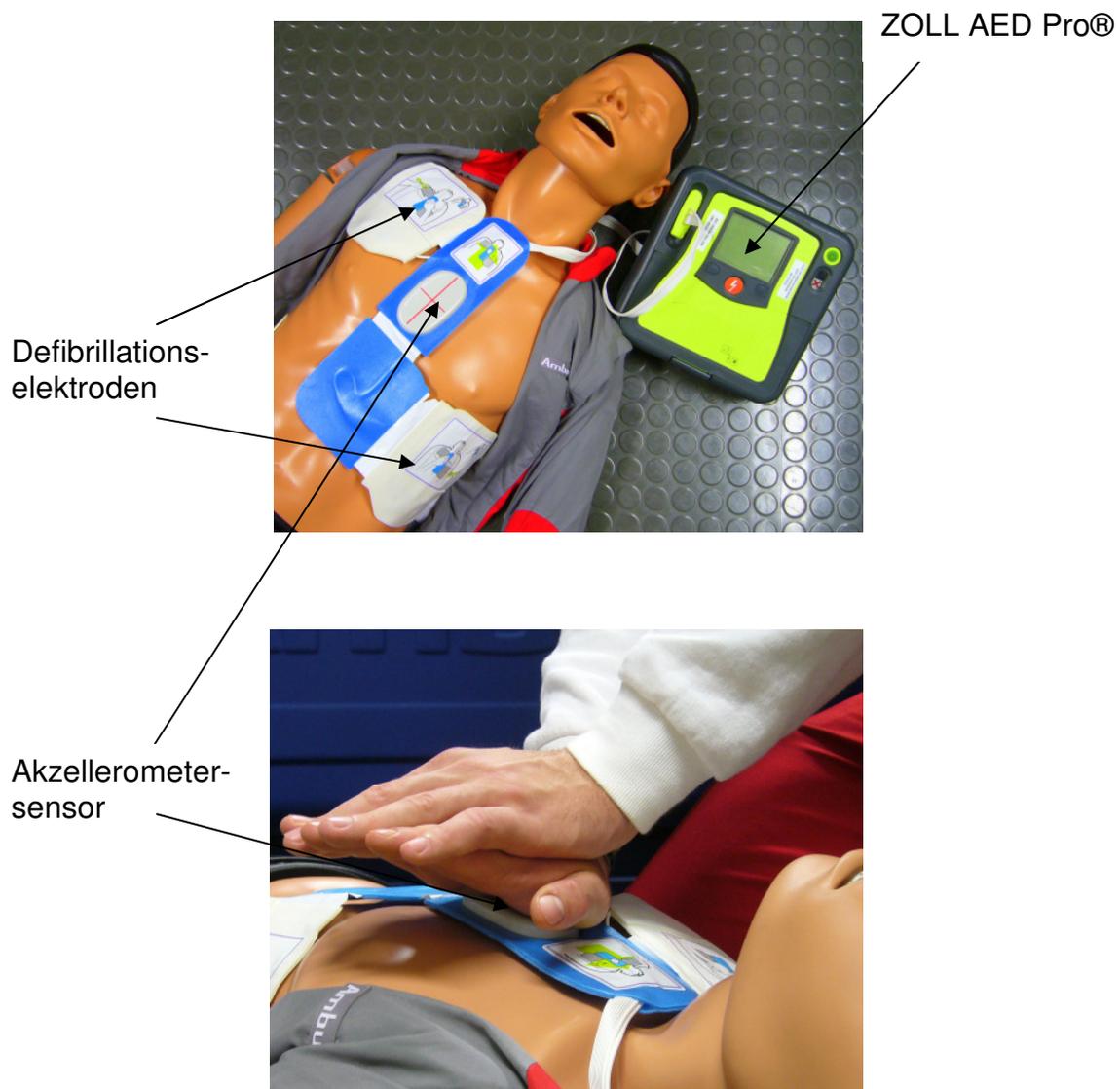


Abbildung 3: ZOLL AED Pro-System® mit Defibrillationselektroden und Akzelerometer-Sensor

Bei zu geringer Eindringtiefe ($< 3,8$ cm) während der Kardiokompression erfolgt ein Sprachkommando mit der Aufforderung, die Eindringtiefe zu erhöhen. Bei zu geringer Kardiokompressionsfrequenz erfolgt ein Sprachkommando mit dem Hinweis, die Kardiokompressionsfrequenz zu erhöhen. Zudem stellt das Gerät einen akustischen Taktgeber mit einer Frequenz von 100 / Minute zur Verfügung. Das System fordert akustisch zum zutreffenden Zeitpunkt auf, die Herzdruck-Massage zu unterbrechen, um die interne Rhythmusanalyse zu ermöglichen. Nach Beendigung der Analyse erfolgt bei Kammerflimmern eine Schockempfehlung. Nach Abgabe des Schocks erfolgt sofort die Aufforderung, die Herzdruck-Massage fortzuführen. Sollte das System einen nicht-schockbaren Rhythmus erkennen, teilt es das Ergebnis akustisch mit und fordert zur unmittelbaren Weiterführung der Herzdruck-Massage auf.

Angelehnt an die Reanimationsleitlinien und den oben angegebenen Handlungsablaufplan erfolgt drei Minuten nach dem Einschalten des Gerätes die erste Aufforderung zur Unterbrechung der Kardiokompression, um eine Rhythmusanalyse möglich zu machen. Hierbei wird das Einschalten des Gerätes mit dem Beginn der Reanimation gleichgesetzt.

Das AED-System speichert während der gesamten Reanimation lückenlos ein 1-Kanal-EKG, jede Kardiokompression wird zeitgenau und in ihrer Drucktiefe vermerkt, das System speichert alle von ihm abgegebenen Sprachkommandos sowie die von der EKG-Analyse-Software getroffenen Entscheidungen bzgl. des analysierten Rhythmus. Alle Daten werden nach der Reanimation aus dem System ausgelesen und stehen zur Interpretation durch den Benutzer zur Verfügung.

2.3. Datenauswertung und Statistik

Die aus dem AED ausgelesenen Daten können mit Hilfe der Software Rescue-Net Code Review™ der Firma ZOLL Data-Systems dargestellt werden.

Das lückenlos geschriebene EKG sowie alle anderen oben angeführten Daten stehen zur Analyse zur Verfügung. (Abbildung 4)

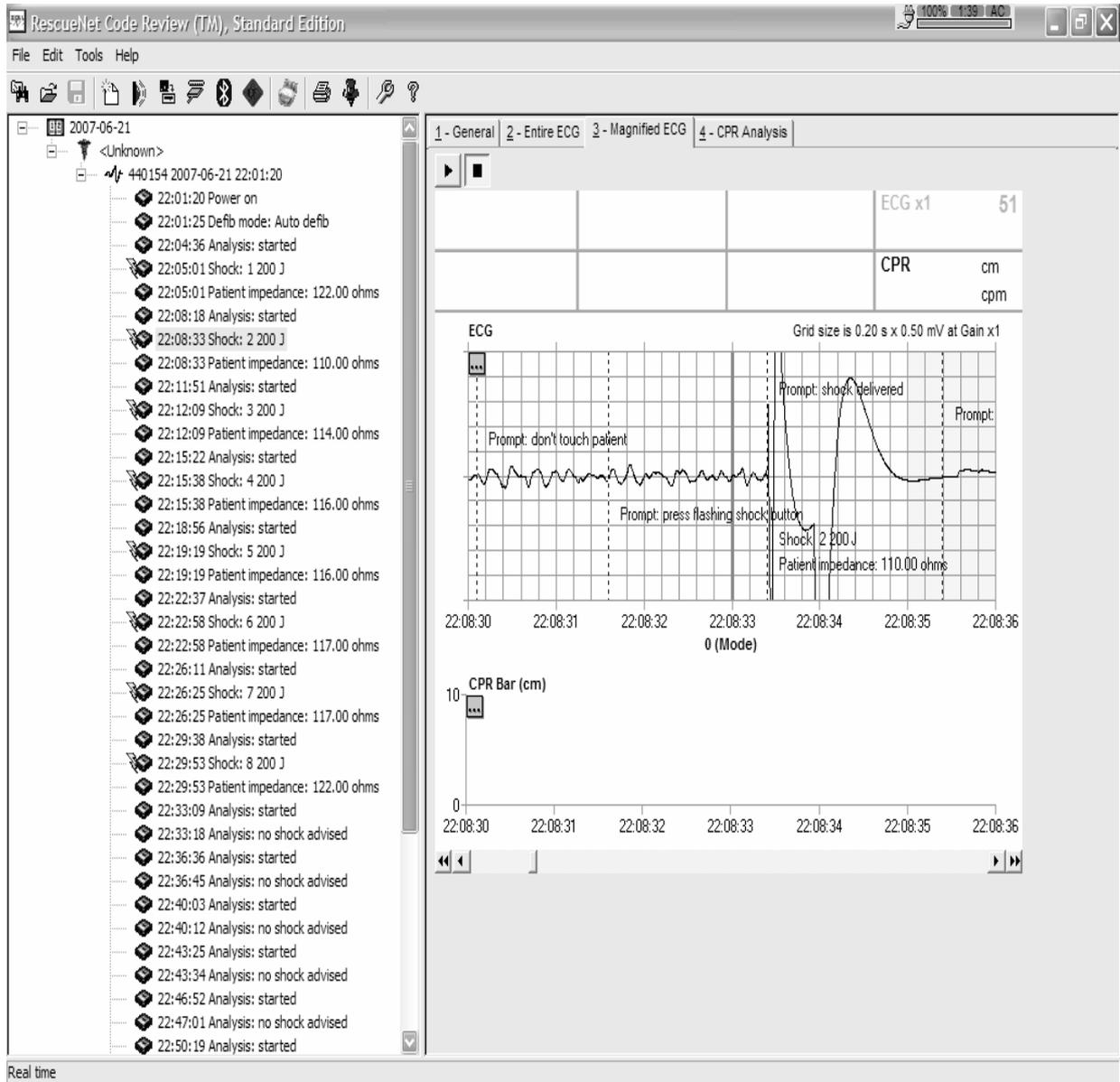


Abbildung 4: Analysesoftware RescueNet Code Review™, dargestellt: EKG-Ansicht einer Defibrillation bei Kammerflimmern

Im Rahmen dieser Analyse wurden alle Analysesegmente der Reanimation von zwei unabhängigen Ärzten hinsichtlich des vorliegenden Rhythmus beurteilt (Abbildung 5).

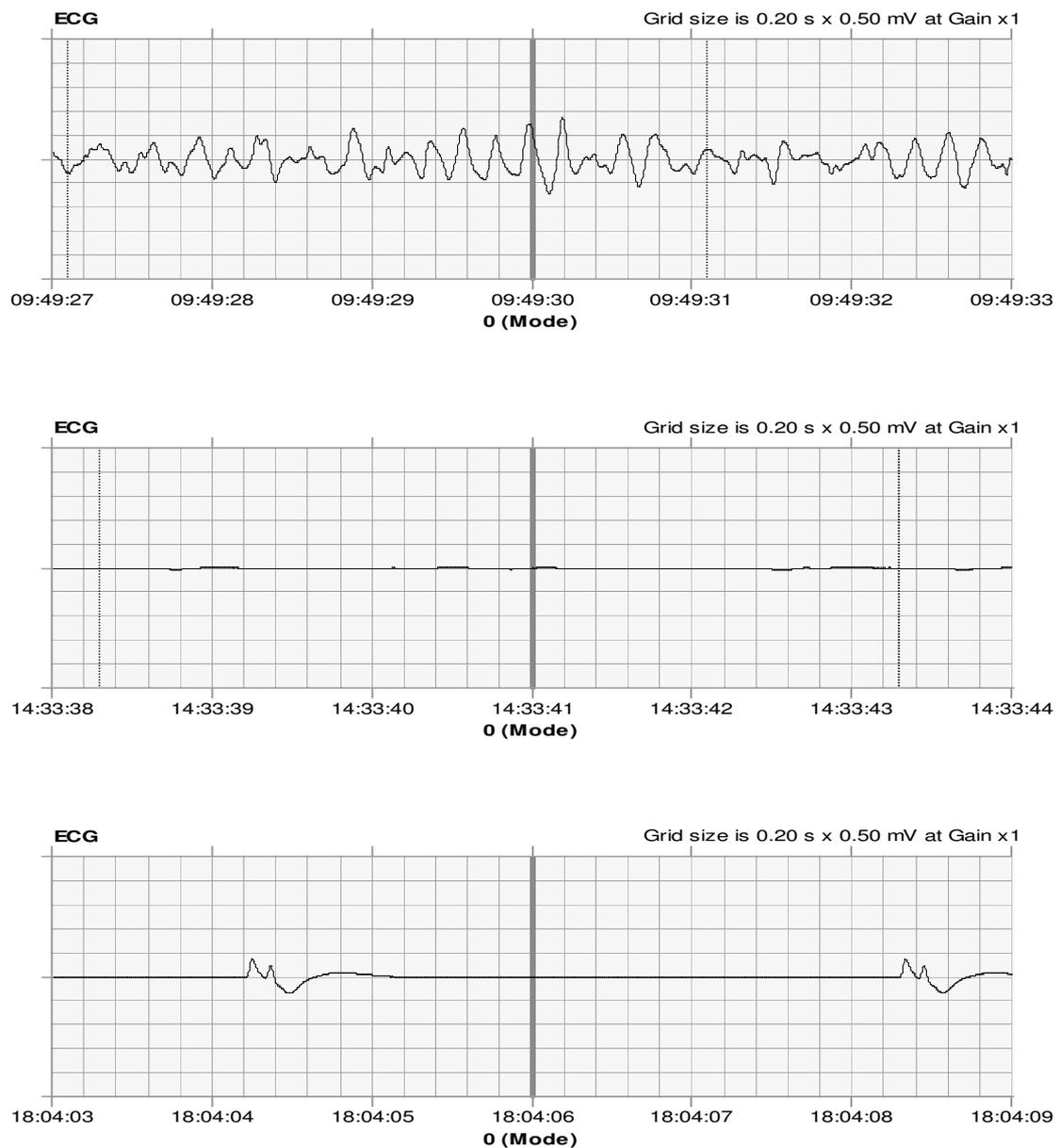


Abbildung 5: EKG-Segmente, dargestellt mit der Analysesoftware RescueNet Code Review™ (oben: Kammerflimmern; Mitte: Asystolie; unten: elektromechanische Entkopplung)

Informationen über Einsatzzeiten und Einsatzablauf wurden den Aufzeichnungen der Rettungsleitstelle der Berufsfeuerwehr Münster sowie den Notarzt-Einsatzprotokollen entnommen. Die Informationen zum innerklinischen Verlauf wurden den Krankenakten bzw. Entlassungsunterlagen der weiterversorgenden Krankenhäuser entnommen.

Für die statistischen Untersuchungen wurden die erhobenen Daten mittels des Softwareprogramms Microsoft Office Excel 2003 erfasst und mit dem Software-Paket SPSS 12.0 analysiert. Dichotome Variablen wurden mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests verglichen. Für den Vergleich von Patientengruppen wurde bei numerischen stetigen Variablen, die normalverteilt waren, ein t-Test verwendet. Bei nicht normalverteilten Variablen wurde der Mann-Whitney U-Test angewendet. Ein p-Wert kleiner 0,05 wurde als statistisch signifikant bewertet.

3. Ergebnisse

3.1. Patientendaten

In diese Untersuchung mit eingeschlossen wurden 67 konsekutive, mit dem ZOLL AED Pro®-System durchgeführte prähospital Reanimationen in der Zeit von Mai 2007 bis Anfang Oktober 2007. Bei fünf Patienten konnte auf Grund diskonnektierter AED-Elektroden oder massiver Artefakte keine Auswertung erfolgen. Auswertbar waren 62 Reanimationen.

Tabelle II: Patientenkollektiv

Alter [Jahre]	65,9 ±15,3 (27-94)
Männliches Geschlecht	49/62 (79 %)

Verlauf und Überleben der Patienten wurden eingeteilt in „verstorben an der Einsatzstelle“, „Transport in ein Krankenhaus mit Tod im Krankenhaus“ und „Überleben bis zur Entlassung aus dem Akut-Krankenhaus“.

Patienten, die unter fortlaufenden Reanimationsmaßnahmen in ein Krankenhaus transportiert wurden, dort jedoch zu keinem Zeitpunkt einen Spontankreislauf entwickelten und daher am Ende der schon prähospital begonnenen Reanimation für tot erklärt wurden, wurden zur Gruppe der Patienten, die schon an der Einsatzstelle verstorben waren, hinzugezählt.

In der Analyse des initial dokumentierten Rhythmus zeigen 25 Patienten Kammerflimmern („VF“, 40,3 %) und 37 Patienten kein Kammerflimmern („non-VF“, 59,7 %) (Abbildung 6).

Patientenzahl

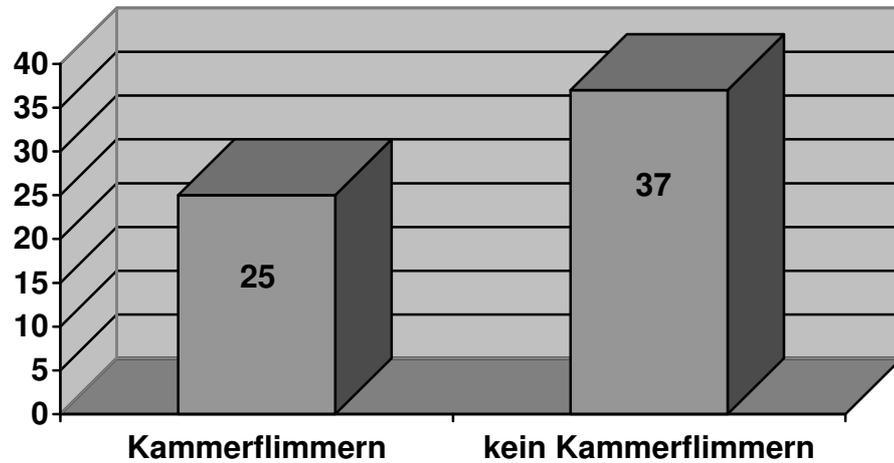


Abbildung 6: Initialer Rhythmus

Bei Analyse des präklinischen und klinischen Verlaufes ergibt sich in der Gesamtgruppe das in Abbildung 7 dargestellte Bild.

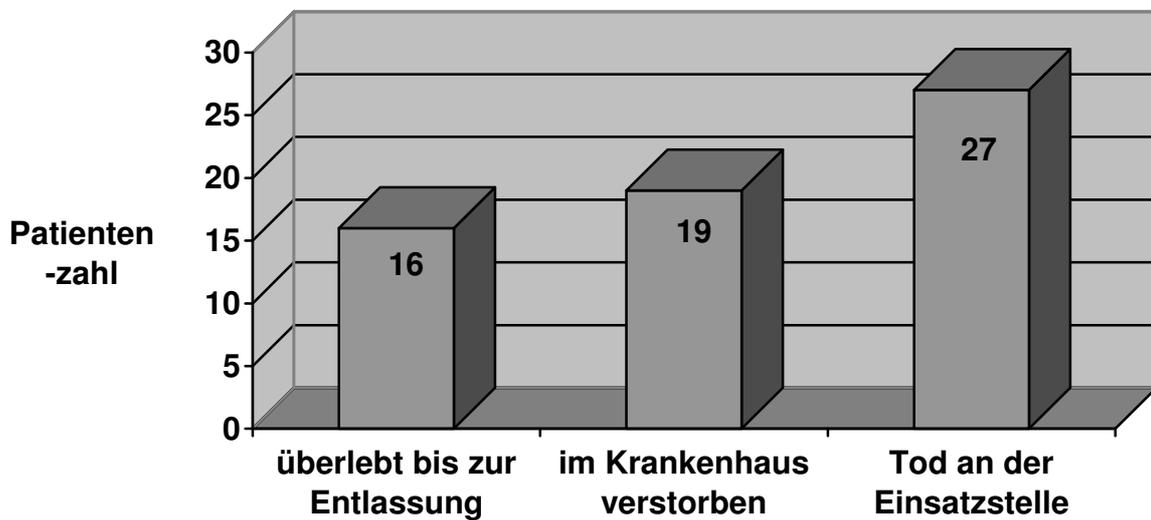


Abbildung 7: Klinischer Verlauf der Patienten (Gesamtkollektiv)

In Abhängigkeit von dem initialen Rhythmus ergibt sich bezüglich des Überlebens das folgende Gesamtbild (Abbildung 8):

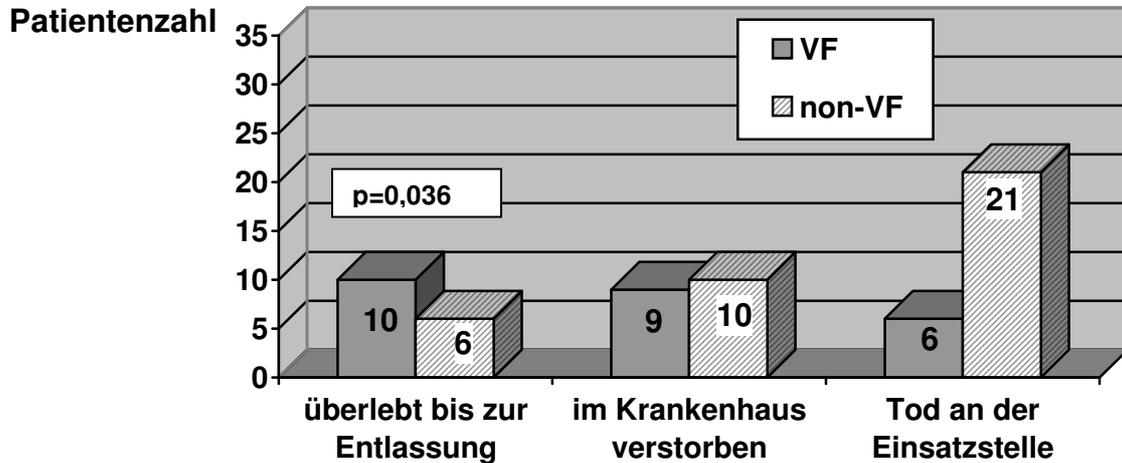


Abbildung 8: Klinischer Verlauf der Patienten, unterschieden nach initialem Rhythmus

Patienten, die initial mit Kammerflimmern aufgefunden wurden, hatten eine signifikant erhöhte Wahrscheinlichkeit, die Reanimation bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus zu überleben (40,0 % versus 16,2 %, $p = 0,036$)

3.2. Eintreffzeiten

Das erste Rettungsmittel erreichte die Patienten im Mittel nach $6,7 \pm 2,3$ Minuten. Für die Zeit bis zum Beginn der Notfall-Therapie muss auf Grund des Weges zum Patienten im Mittel eine Minute hinzugerechnet werden (48). Unterteilt man die Patienten in eine Gruppe mit kürzeren Eintreffzeiten und eine Gruppe mit längeren Eintreffzeiten, so ergeben sich bezüglich des initial dokumentierten Rhythmus bzw. der Zahl der bis zur Entlassung überlebenden Patienten die in Abbildung 9 und Abbildung 10 angegebenen Werte.

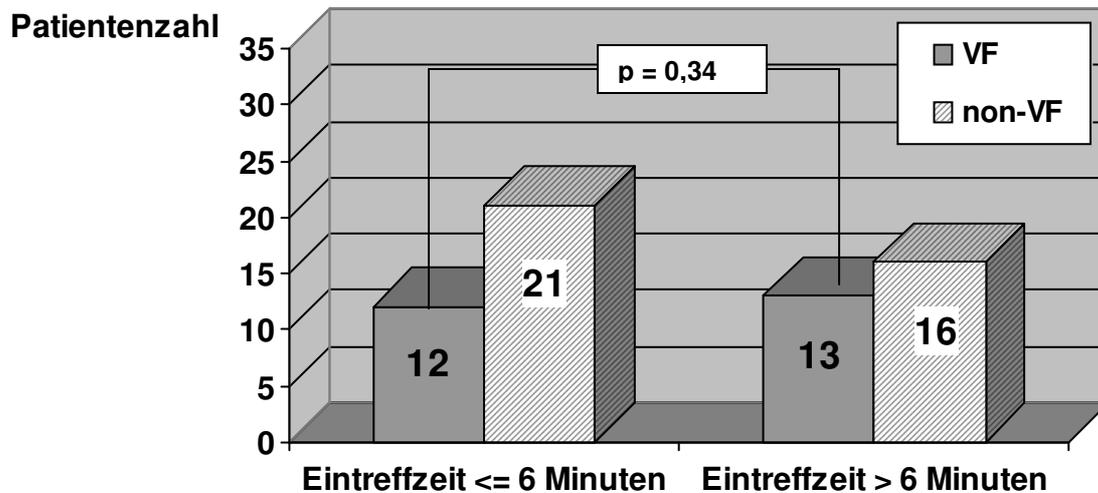


Abbildung 9: Initialer Rhythmus, unterschieden nach Eintreffzeiten

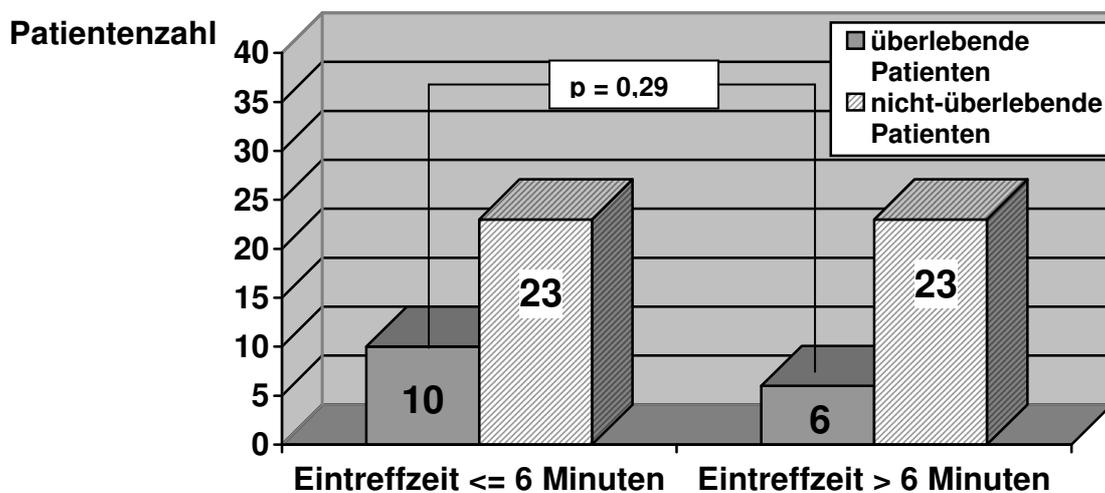


Abbildung 10: Klinischer Verlauf der Patienten, unterschieden nach Eintreffzeiten

Somit konnten wir nicht nachweisen, dass eine kürzere Eintreffzeit in unserer Untersuchungsgruppe zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit zu überleben oder zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit des prognostisch günstigeren Kammerflimmerns als initialem Rhythmus führte.

3.3. Analyse der Rhythmusstörungen

Bei 62 Reanimationen wurde seitens der AED insgesamt zu 399 Zeitpunkten eine Rhythmusanalyse durchgeführt. Hiervon lagen in der retrospektiven Ansicht der EKG-Segmente in 128 Fällen Kammerflimmern vor, in 271 lag kein Kammerflimmern vor (32,1 % bzw. 67,9 %) (Abbildung 11).

Episodenzahl

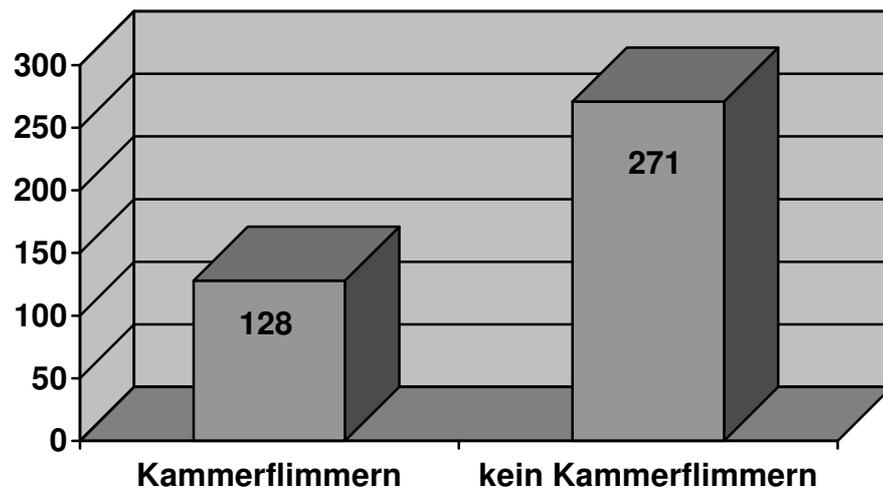


Abbildung 11: Anzahl von analysierten EKG-Segmenten mit Kammerflimmern (VF) und Nicht-Kammerflimmern (non-VF)

Lag Kammerflimmern vor (128 Episoden), so war die Schockabgabe in 98 Fällen primär erfolgreich (76,6 %), in 30 Fällen nicht erfolgreich (23,4 %), wobei Erfolg als nicht nachweisbares Kammerflimmern bis zum Wiedereinsetzen der Herzdruck-Massage mit den durch sie hervorgerufenen EKG-Artefakten definiert wurde (Abbildung 12).

Episodenzahl

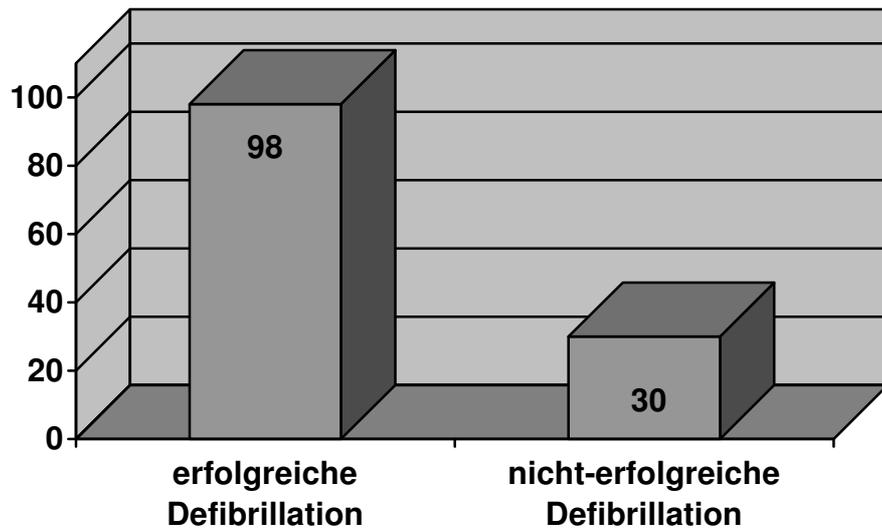


Abbildung 12: Anzahl erfolgreicher/nicht-erfolgreicher Defibrillationen bei Kammerflimmern (alle Kammerflimmer-Episoden)

Die erste Schockabgabe bei Patienten, die im Kammerflimmern aufgefunden wurden, war bei 20 von 25 Patienten erfolgreich (80 %) (Abbildung 13).

Patientenzahl

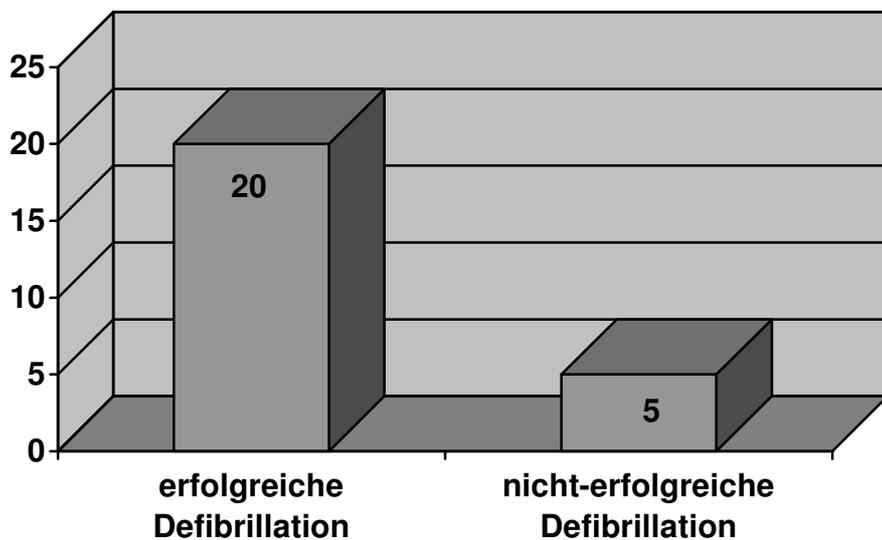


Abbildung 13: Anzahl erfolgreicher/nicht erfolgreicher Schockabgaben im ersten Schock bei Kammerflimmern als initialem Rhythmus

3.4. Verlauf nach Alter

An der Einsatzstelle oder im Krankenhaus verstorbene Patienten waren im Mittel 67,0 Jahre ($\pm 16,7$, 27 – 94) Jahre alt. Patienten, die das Krankenhaus lebend verlassen konnten, waren im Mittel 62,7 (± 8.6 , 47 – 79) Jahre alt. Es ergibt sich ein Trend zu einem besseren Verlauf für jüngere Patienten (Abbildung 14).

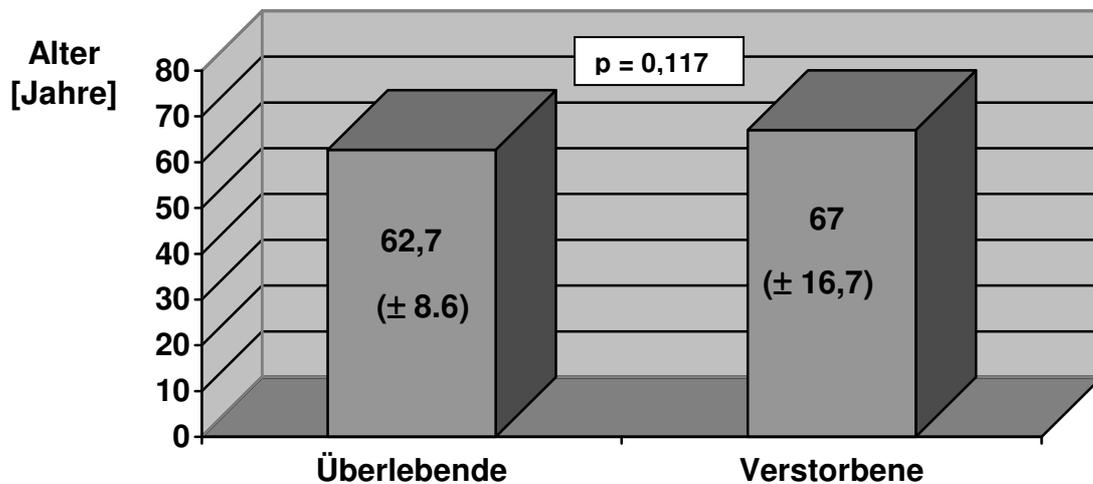


Abbildung 14: Alter der überlebenden / verstorbenen Patienten

3.5. Verlauf nach Geschlecht

Der Verlauf der untersuchten Patienten nach Geschlecht ist in Abbildung 15 dargestellt. Es ergibt sich ein Trend zu einem besseren Verlauf männlicher Patienten.

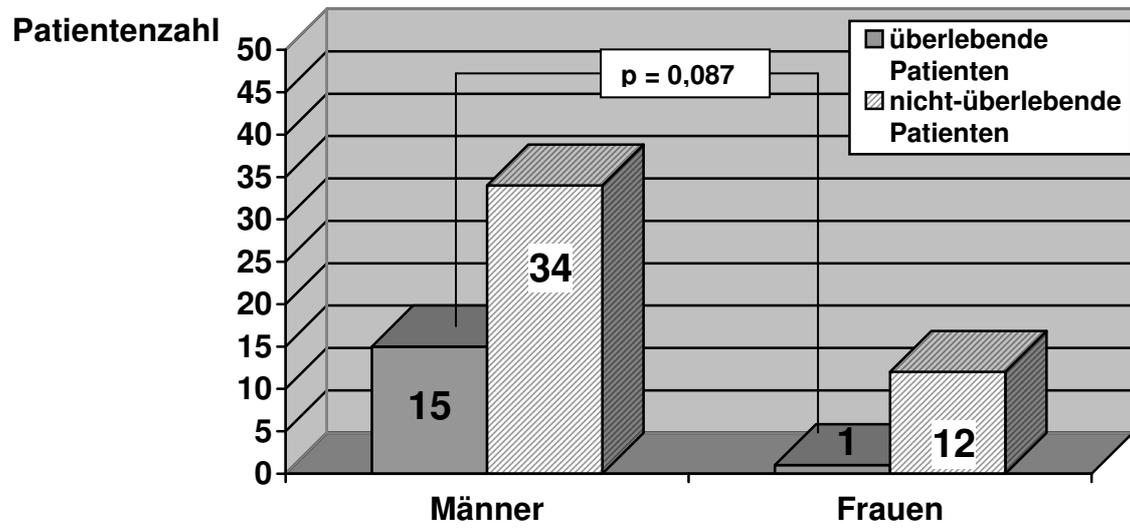


Abbildung 15: Überlebende/nicht überlebende Patienten, unterschieden nach Geschlecht

3.6. Qualität der AED-Rhythmusanalyse

Bei retrospektiver Betrachtung der 399 seitens des AED analysierten Rhythmusepisoden werden vier Episoden seitens der Untersucher anders beurteilt als durch den AED. In allen vier Fällen hatte der AED eine Schockempfehlung bei Kammerflimmern ausgesprochen, der Rhythmus wurde seitens der Untersucher jedoch nicht als Kammerflimmern beurteilt.

In zwei Fällen handelte es sich um eine Fehlanalyse des AED auf Grund von Artefakten, die durch Kardiokompression bedingt waren. Dies ist dadurch belegt, dass zum einen der Akzelerometer-Sensor die Kardiokompressionen während der Analysephase mit aufgezeichnete. Zum anderen war unmittelbar vor der Schockabgabe und nach Beendigung der Kardiokompressionen ein nicht schockbarer Rhythmus dokumentiert (Abbildung 16).

In zwei weiteren Fällen war bei regulär unterbrochener Herzdruck-Massage ein artefaktreiches Bild nachweisbar, in dem jedoch ein durchlaufender, nicht Kammerflimmern entsprechender Rhythmus abgrenzbar war, insbesondere beim Vergleich mit artefaktfreien Phasen (Abbildung 17).

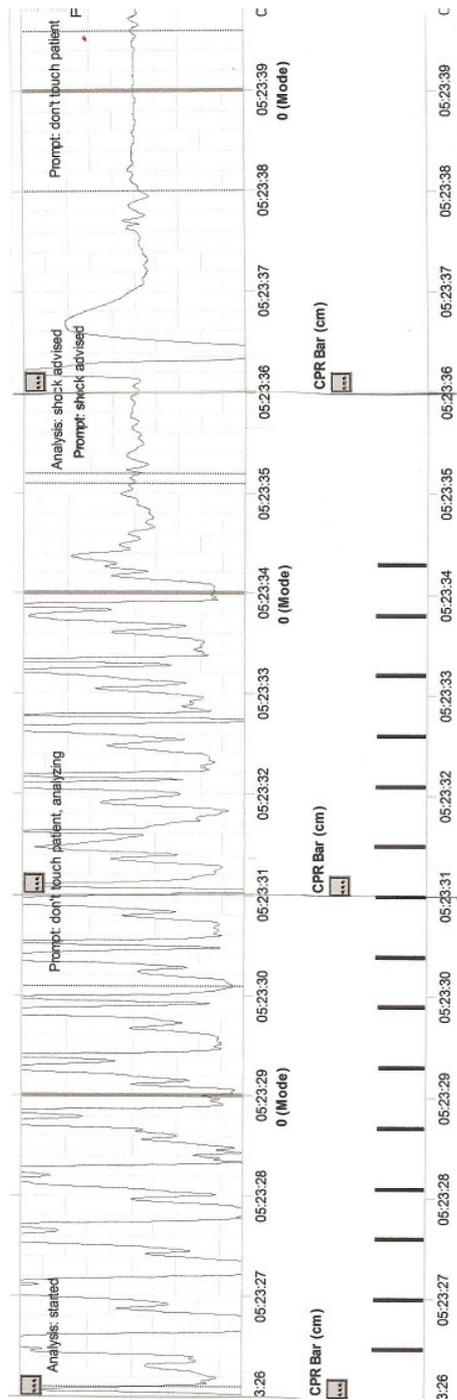


Abbildung 16: Kardiokompressionsartefakte während der Rhythmusanalyse, die zur Schockempfehlung führen. Die einzelnen Kardiokompressionen sind als Balken unter „CPR Bar“ zu erkennen. Ohne Artefakte ist der tatsächliche Rhythmus erkennbar. Die Schockabgabe ist später erfolgt und hier nicht dargestellt.

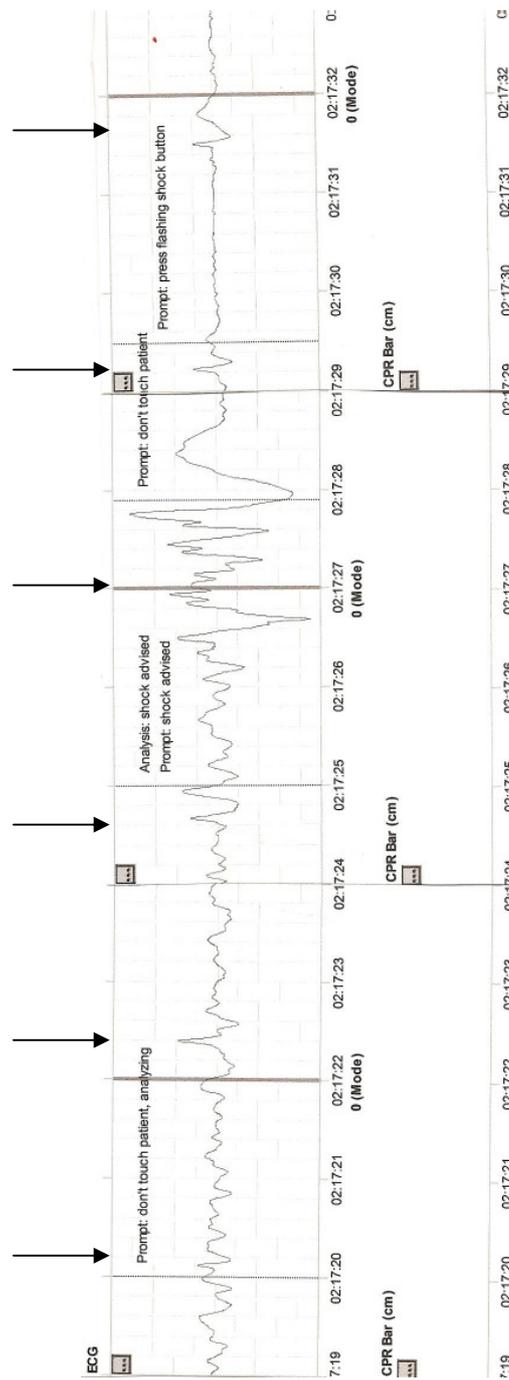


Abbildung 17: Artefakte ohne Kardiokompression, im Hintergrund ist ein nicht schockbarer Rhythmus nachweisbar (durch Pfeile markiert)

In keinem Fall war bei der retrospektiven Analyse der EKG-Episoden Kammerflimmern nachweisbar, das der AED nicht erkannt hatte (Tabelle III).

Tabelle III: Beurteilung der EKG-Episoden durch AED / Untersucher

	EKG-Ansicht: VF	EKG-Ansicht: kein VF
AED-Diagnose: VF	128 Episoden „richtig positiv“	4 Episoden „falsch positiv“
AED-Diagnose: kein VF	0 Episoden „falsch negativ“	267 Episoden „richtig negativ“

Die Diagnose von Kammerflimmern erfolgte durch den AED mit einer Sensitivität von 100 % und einer Spezifität von 98,2 %.

3.7. Dauer der Reanimation

Die Dauer der durchgeführten Herzdruck-Massage war durch die Aufzeichnung des AED nachweisbar. Die Reanimation dauerte in der Gesamtgruppe im Mittel 21,5 Minuten (\pm 14,8 Minuten, 1 – 75 Minuten). Patienten, die entweder an der Einsatzstelle oder im Krankenhaus verstarben, wurden im Mittel 23,6 Minuten reanimiert (\pm 15,3 Minuten, 1 – 75 Minuten). Patienten, die bis zur Entlassung überlebten, wurden im Mittel 15,5 Minuten reanimiert (\pm 11,4 Minuten, 5 – 42 Minuten). Überlebende Patienten wurden signifikant kürzer reanimiert als Patienten, die verstarben ($p = 0,022$) (Abbildung 18)

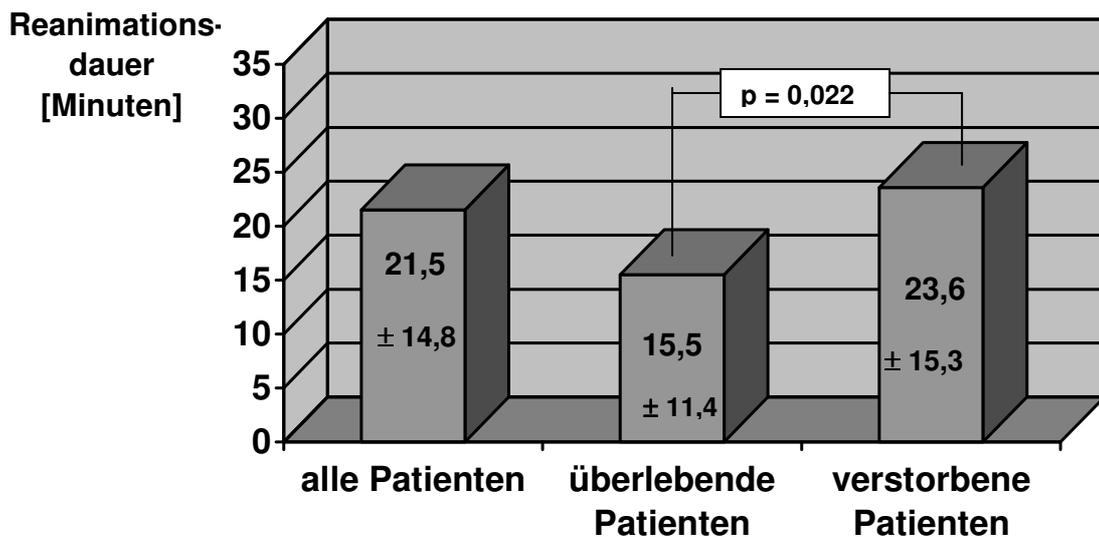


Abbildung 18: Dauer der Reanimation nach klinischem Verlauf

3.8. Verlauf bei Patienten mit Kammerflimmern als initialem Rhythmus

Wurde ein Patient initial mit Kammerflimmern aufgefunden, so wurden im Mittel $3,9 (\pm 3,4, 1 - 17)$ Defibrillationen zur rhythmologischen Stabilisierung benötigt. Hierbei handelte es sich, wie oben angegeben, im Regelfall um primär erfolgreiche Defibrillationen mit einem Rezidiv schon vor der nächsten Rhythmusanalyse. Die Zahl der notwendigen Defibrillationen bei Patienten mit initialem Kammerflimmern ist in [Abbildung 19](#) angegeben.

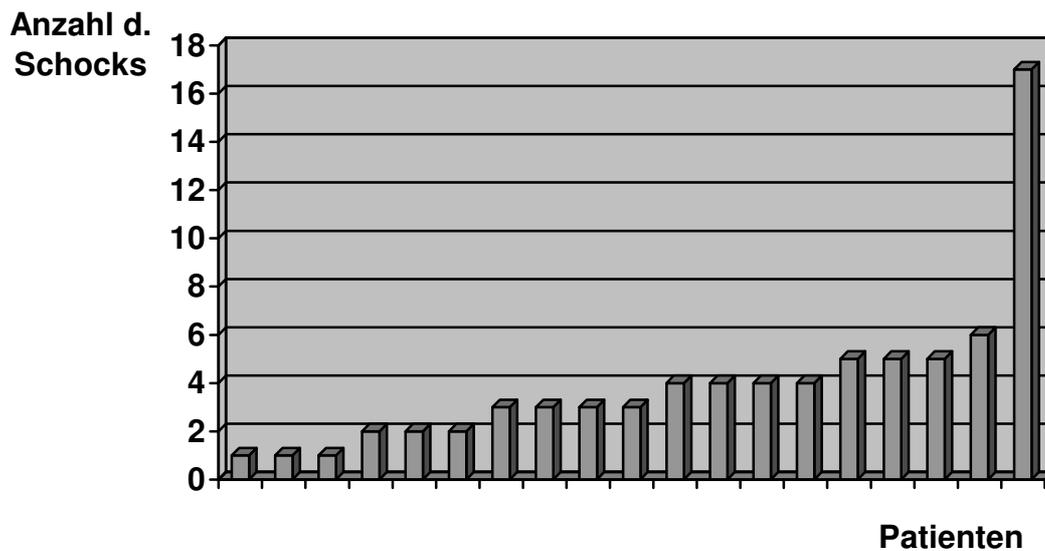


Abbildung 19: Anzahl der Defibrillationen bis zur rhythmologischen Stabilisierung bei Patienten mit initialem Kammerflimmern, die das Reanimationsereignis überleben

Die Beendigung der Herzdruck-Massage erfolgte bei diesen Patienten im Mittel nach 24,7 Minuten ($\pm 19,1$ Minuten, 6 – 75 Minuten). Bei der Interpretation dieser Zahlen muss bedacht werden, dass auf Grund des Reanimationsalgorithmus auch eine erfolgreiche Defibrillation von Kammerflimmern, die sofort einen pulsgenerierenden Rhythmus erzeugt, zunächst eine Reanimationsdauer von mindestens weiteren drei Minuten nach sich zog, da nach der Schockabgabe keine Pulstastung durchgeführt wurde und daher dieser pulsgenerierende Rhythmus nicht erkannt wurde.

3.9. Späteres Kammerflimmern bei Patienten mit einem initial nicht schockbaren Rhythmus

Von 37 Patienten, die initial kein Kammerflimmern zeigten, trat im weiteren Verlauf der Reanimation bei fünf Patienten (13,5 %) Kammerflimmern auf. Von diesen Patienten verstarben zwei noch an der Einsatzstelle, die drei weiteren innerhalb des Krankenhauses. Keiner dieser Patienten konnte lebend entlassen werden.

3.10. Dauer der Hospitalisierung

Patienten, die das Krankenhaus erreichten, dort jedoch verstarben, lebten im Mittel noch 6,5 Tage (\pm 5,8 Tage, 0 – 20 Tage). Patienten, die überlebten, verbrachten im Mittel 26,4 (\pm 11,2 Tage, 11 – 52 Tage) Tage nach der Reanimation im Krankenhaus.

4. Diskussion

Die von uns gefundene Anzahl von Reanimationen (67 in 5 Monaten) entsprachen bei einem Einzugsbereich von etwas 300.000 Einwohnern der zu erwartenden Häufigkeit von 50-60 Reanimationen pro Jahr pro 100.000 Einwohner (37), (41).

Kammerflimmern als initial dokumentierter Rhythmus zeigte sich in Übereinstimmung mit der bisherigen Datenlage als prognostisch günstiger Faktor (44).

Patienten, die die Reanimation bis zur Entlassung überlebten, mussten signifikant kürzer reanimiert werden als Patienten, die an der Einsatzstelle oder im Krankenhaus verstarben. Hierzu finden sich in den bisherigen Reanimationsstudien keine Auswertungen.

In der Literatur wurden junges Alter des Patienten und männliches Geschlecht als prognostisch günstige Faktoren angegeben (9), (38), (44). Unsere Untersuchung zeigte in beiden Fällen zumindest einen Trend zu einem prognostischen Vorteil.

Verglichen mit den meisten Registern und Studien zur präklinischen Reanimation zeigten unsere Daten ein ungewöhnlich hohes primäres Überleben an der Einsatzstelle und einen ungewöhnlich hohen Anteil von Patienten, die lebend das Krankenhaus verlassen konnten (Tabelle I).

Es stellt sich die Frage, ob die vorliegende Literatur dieses ungewöhnlich gute Reanimationsergebnis erklären kann.

Fischer et al. untersuchten vergleichend einen englischen, nicht notarzt-besetzten Rettungsdienst mit einem deutschen, notarzt-besetzten Rettungsdienst. Bei in Großbritannien eingeschlossenen 3380 reanimierten Patienten und 918 Patienten in Deutschland zeigten sich Unterschiede in der Zahl der

Patienten, die lebend das Krankenhaus erreichten (10,7 % gegen 40,4 %, $p < 0,01$). Ebenso war die Zahl der Patienten, die lebend das Krankenhaus verlassen konnten, im notarzt-besetzten Rettungsdienst höher (14,7 % gegen 3,99 %, $p < 0,01$) (16).

Hollenberg et al. untersuchten die Unterschiede in den Reanimationsergebnissen zwischen den beiden schwedischen Städten Stockholm und Göteborg (24). Eingeschlossen wurden 969 Patienten in Stockholm und 398 Patienten in Göteborg. Hier zeigten sich Unterschiede im Überleben bis zur Aufnahme in das Krankenhaus von 16 % (Stockholm) zu 30 % (Göteborg) und Unterschiede im 30-Tage-Überleben von 2,5 % (Stockholm) zu 6,8 % (Göteborg) ($p = 0,0008$). Als Erklärung hierfür wurde der höhere Anteil an Patienten in Göteborg mit Kammerflimmern als initialem Rhythmus (18 % versus 31 %, $p < 0,001$) sowie die kürzeren Eintreffzeiten in Göteborg diskutiert (Median 7 Minuten versus 5 Minuten, $p < 0,0001$).

In unserer Untersuchung lag der Anteil von Patienten mit Kammerflimmern als initialem Rhythmus bei 40,3 %. Dieser Anteil entsprach dem in den meisten Reanimationsstudien und -registern. So berichteten Lindholm et al. über 51,6 % von 832 Patienten mit initialem Kammerflimmern (31). Herlitz et al. beschrieben 37 % von 19514 Patienten mit initialem Kammerflimmern (21). Petrie et al. beschrieben 38 % initiales Kammerflimmern bei 9529 Patienten (38). Der Anteil der überlebenden Patienten in der Gesamtgruppe in diesen Untersuchungen betrug 4,3 – 8,1 % und war damit deutlich geringer als in unserer Untersuchung.

Insgesamt stellt somit Anteil der in unserer Untersuchung mit initialem Kammerflimmern aufgefundenen Patienten keine Erklärung für den besseren Verlauf unserer Patienten dar.

Herlitz et al. analysierten das prähospitalen Zeitintervall bei 9340 Reanimationspatienten des Schwedischen Reanimationsregisters mit beobachtetem Kollaps

und fand ein Intervall vom Notruf bis zum Eintreffen beim Patienten von $7,8 \pm 20,5$ Minuten für Patienten mit einem Abstand von ≤ 4 Minuten zwischen Kollaps und Notruf (22). Das Intervall vom Notruf bis zum Eintreffen beim Patienten betrug $9,2 \pm 31,3$ Minuten für Patienten mit einem Abstand von > 4 Minuten zwischen Kollaps und Notruf. In der ersten Gruppe verließen 6,9 % der Patienten das Krankenhaus lebend, in der zweiten Gruppe 2,8 %. In unserer Untersuchung betrug das Intervall von Notruf bis zum Eintreffen am Einsatzort $6,7 \pm 2,3$ Minuten, hinzuzurechnen ist ca. eine Minute für den Weg zum Patienten (48). Somit zeigte sich in unserer Untersuchung eine weit höhere Überlebenschance als in der schwedischen Gruppe mit kürzerer Eintreffzeit, obwohl dort der beobachtete Kollaps sogar als ein prognostisch günstiger Faktor gewertet werden muss.

Alle von uns untersuchten Reanimationen fanden zu einem Zeitpunkt statt, als die in den Reanimationsleitlinien von 2005 getroffenen Empfehlungen im Rettungsdienstbereich komplett umgesetzt waren. Hierzu gehörten insbesondere die Durchführung einer Kardiokompression bei nicht beobachtetem Kammerflimmern vor dem ersten Schock und die weitestmögliche Reduktion von Zeiten ohne Kardiokompression. Dieses wurde zum einen durch den Verzicht auf eine Pulstastung direkt nach der Schockabgabe erreicht, zum anderen wurde die serielle Schockabgabe zugunsten einer einmaligen Schockabgabe und des erneuten Wiederbeginns der Kardiokompression verlassen.

Olasveengen et al. verglichen 112 Reanimationen in Ihrem Rettungsdienstbezirk, die vor der Umsetzung der Reanimationsleitlinien von 2005 durchgeführt wurden, mit denen nach der Umsetzung und sahen kürzere Intervalle ohne Kardiokompression ($18 \% \pm 11 \%$ der Zeit versus $10 \% \pm 6 \%$ der Zeit, $p = 0,027$) (36). Die Kompressionsrate entsprach genauer den Vorgaben der Leitlinien ($122 / \text{Minute} \pm 12$ versus $111 / \text{Minute} \pm 10 \%$, $p < 0,0001$).

Kellum et al. berichteten über eine Veränderung ihres Reanimationsalgorithmus im Jahre 2004, der wesentlich die Züge der in 2005 gegebenen Empfehlungen

vorausnahm (200 Kardiokompressionen vor jedem, auch dem ersten Schock, keine Pulstastung nach Schockabgabe, jeweils nur einmalige Schockabgabe pro Reanimationszyklus). Berücksichtigt wurden 92 Patienten mit beobachtetem Kollaps und einem initial schockbaren Rhythmus. Nachgewiesen werden konnte eine Verbesserung des Überlebens von 20 % auf 57 % ($p < 0,001$). Das neurologisch intakten Überleben stieg von 15 % auf 48 % (jeweils $p < 0,001$) (26).

Rea et al. verglichen die Reanimationsergebnisse von Patienten mit beobachtetem Kreislaufstillstand und Kammerflimmern als initialem Rhythmus in einem Zeitintervall vor Umsetzung der neuen Reanimationsleitlinien (Januar 2002-Dezember 2004, 374 Patienten) mit einem Zeitintervall danach (Januar 2005 – Januar 2006, 134 Patienten). Es zeigte sich ein Überlebensvorteil bis zur Entlassung nach Umsetzung der neuen Leitlinien (46 % versus 33 %, $p = 0,008$) (42).

Unter Berücksichtigung dieser Daten kann das insgesamt gute Ergebnis der Reanimationsdaten in Münster durch die konsequente Umsetzung der Reanimationsleitlinien mit begründet sein.

Die in Münster durchgeführten Reanimationen fanden unter Verwendung eines Feedback-Systems mit akustischer Vorgabe der Herzdruckfrequenz, verbaler Korrektur der Herzdruckfrequenz sowie verbaler Korrektur einer zu geringen Eindringtiefe statt. Zudem erfolgte eine Aufforderung zur Herzdruck-Massage bei auftretenden Pausen.

Kramer-Johansen et al. berichteten über einen Vergleich der Reanimationsqualität und des Reanimationsergebnisses mit und ohne Verwendung eines ähnlichen Feedback-Systems (28). Eingeschlossen waren hier 284 Patienten ohne Berücksichtigung ihres initialen Rhythmus. Der Anteil von Kardiokompressionen mit adäquater Tiefe (38 – 51 mm) stieg von 24 % auf 53 % ($p < 0,001$). Eine gesteigerte Kardiokompressionstiefe war mit einem erhöhten Kurzzeitüberleben assoziiert (OR 1,05 pro 1 mm Steigerung der Kardiokompressionstiefe).

Edelson et al. zeigten in einer Untersuchung 60 prähospitaler und intrahospitaler Reanimationen bei Kammerflimmern mit einem Kardiokompressionstiefensensor, dass erfolgreichen Schockabgaben tiefere Kardiokompressionen vorausgingen (39 ± 11 mm versus 29 ± 10 mm, $p = 0,004$) (13).

Die AED konnten Kammerflimmern mit hoher Sensitivität und Spezifität erkennen. Die Spezifität wurde durch Reanimationsartefakte gemindert. Diese entsprachen einem nicht adäquaten Gebrauch des Gerätes, da die Aufforderung zur Unterbrechung der Reanimation für die Rhythmusanalyse ignoriert wurde. Diese Ergebnisse entsprechen der bisherigen Literatur (10), (12), (39).

Es waren 76.6 % der abgegebenen AED-Schocks bei allen Patienten bzw. 80 % der ersten AED-Schocks bei initialem Kammerflimmern erfolgreich in Bezug auf die Terminierung von Kammerflimmern. Somit stellt die Anwendung des AED eine sichere und effektive Maßnahme im Rahmen der Reanimation dar (58).

4.1. Zusammenfassung

In dieser Untersuchung fand sich ein ungewöhnlich guter präklinischer und klinischer Verlauf der reanimierten Patienten, gemessen am Überleben. Der Grund hierfür ist am ehesten in dem notarzt-besetzten Rettungssystem, dem städtischen Einsatzbezirk mit kurzen Eintreffzeiten, der konsequenten Umsetzung aktueller Reanimationsleitlinien sowie der Verwendung eines Feedback-Systems zur Optimierung der Herzdruck-Massage zu sehen.

Dabei konnte der AED das Vorliegen von Kammerflimmern mit hoher Sensitivität und Spezifität diagnostizieren.

5. Ausblick

Das Primat einer konsequenten Herzdruck-Massage mit möglichst geringen Pausen könnte am besten verwirklicht werden, wenn eine EKG-Analyse auch unter Herzdruck-Massage möglich wäre. Entsprechende Systeme stehen in Kürze zur Verfügung (3). Es wird zu untersuchen sein, ob sich die Reanimatonsresultate mit diesem System weiter verbessern lassen.

6. Literatur

1. (2002) Mild therapeutic hypothermia to improve the neurologic outcome after cardiac arrest. *N Engl J Med* 346: 549-56
2. (2000) Part 6: advanced cardiovascular life support. Section 2: defibrillation. European Resuscitation Council. *Resuscitation* 46: 109-13
3. Aramendi E, de Gauna SR, Irusta U, Ruiz J, Arcocha MF and Ormaetxe JM (2007) Detection of ventricular fibrillation in the presence of cardiopulmonary resuscitation artefacts. *Resuscitation* 72: 115-23
4. Auble TE, Menegazzi JJ and Paris PM (1995) Effect of out-of-hospital defibrillation by basic life support providers on cardiac arrest mortality: a metaanalysis. *Ann Emerg Med* 25: 642-8
5. Bayes de Luna A, Coumel P and Leclercq JF (1989) Ambulatory sudden cardiac death: mechanisms of production of fatal arrhythmia on the basis of data from 157 cases. *Am Heart J* 117: 151-9
6. Berg RA, Hilwig RW, Kern KB and Ewy GA (2002) Precountershock cardiopulmonary resuscitation improves ventricular fibrillation median frequency and myocardial readiness for successful defibrillation from prolonged ventricular fibrillation: a randomized, controlled swine study. *Ann Emerg Med* 40: 563-70
7. Carlson MD, Freeman CS, Garan H and Ruskin JN (1988) Sensitivity of an automatic external defibrillator for ventricular tachyarrhythmias in patients undergoing electrophysiologic studies. *Am J Cardiol* 61: 787-90
8. Cobb LA, Fahrenbruch CE, Olsufka M and Copass MK (2002) Changing incidence of out-of-hospital ventricular fibrillation, 1980-2000. *JAMA* 288: 3008-13

9. Cobb LA, Fahrenbruch CE, Walsh TR, Copass MK, Olsufka M, Breskin M and Hallstrom AP (1999) Influence of cardiopulmonary resuscitation prior to defibrillation in patients with out-of-hospital ventricular fibrillation. *Jama* 281: 1182-8
10. Cummins RO, Eisenberg M, Bergner L and Murray JA (1984) Sensitivity, accuracy, and safety of an automatic external defibrillator. *Lancet* 2: 318-20
11. Deakin CD and Nolan JP (2005) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 3. Electrical therapies: automated external defibrillators, defibrillation, cardioversion and pacing. *Resuscitation* 67 Suppl 1: S25-37
12. Dickey W, Dalzell GW, Anderson JM and Adgey AA (1992) The accuracy of decision-making of a semi-automatic defibrillator during cardiac arrest. *Eur Heart J* 13: 608-15
13. Edelson DP, Abella BS, Kramer-Johansen J, Wik L, Myklebust H, Barry AM, Merchant RM, Hoek TL, Steen PA and Becker LB (2006) Effects of compression depth and pre-shock pauses predict defibrillation failure during cardiac arrest. *Resuscitation* 71: 137-45
14. Eilevstjonn J, Eftestol T, Aase SO, Myklebust H, Husoy JH and Steen PA (2004) Feasibility of shock advice analysis during CPR through removal of CPR artefacts from the human ECG. *Resuscitation* 61: 131-41
15. Estner HL, Gunzel C, Ndrepepa G, William F, Blaumeiser D, Rupprecht B, Hessling G, Deisenhofer I, Weber MA, Wilhelm K, Schmitt C and Schomig A (2007) Outcome after out-of-hospital cardiac arrest in a physician-staffed emergency medical system according to the Utstein style. *Am Heart J* 153: 792-9

16. Fischer M, Krep H, Wierich D, Heister U, Hoeft A, Edwards S, Castrillo-Riesgo LG and Krafft T (2003) [Comparison of the emergency medical services systems of Birmingham and Bonn: process efficacy and cost effectiveness]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 38: 630-42
17. Gilmore CM, Rea TD, Becker LJ and Eisenberg MS (2006) Three-phase model of cardiac arrest: time-dependent benefit of bystander cardiopulmonary resuscitation. *Am J Cardiol* 98: 497-9
18. Hallstrom A, Rea TD, Mosesso VN, Jr., Cobb LA, Anton AR, Van Ottingham L, Sayre MR and Christenson J (2007) The relationship between shocks and survival in out-of-hospital cardiac arrest patients initially found in PEA or asystole. *Resuscitation* 74: 418-26
19. Handley AJ, Koster R, Monsieurs K, Perkins GD, Davies S and Bossaert L (2005) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 2. Adult basic life support and use of automated external defibrillators. *Resuscitation* 67 Suppl 1: S7-23
20. Herlitz J, Bang A, Holmberg M, Axelsson A, Lindkvist J and Holmberg S (1997) Rhythm changes during resuscitation from ventricular fibrillation in relation to delay until defibrillation, number of shocks delivered and survival. *Resuscitation* 34: 17-22
21. Herlitz J, Engdahl J, Svensson L, Angquist KA, Young M and Holmberg S (2005) Factors associated with an increased chance of survival among patients suffering from an out-of-hospital cardiac arrest in a national perspective in Sweden. *Am Heart J* 149: 61-6
22. Herlitz J, Engdahl J, Svensson L, Young M, Angquist KA and Holmberg S (2003) A short delay from out of hospital cardiac arrest to call for ambulance increases survival. *Eur Heart J* 24: 1750-5

23. Hess EP and 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
24. Hollenberg J, Bang A, Lindqvist J, Herlitz J, Nordlander R, Svensson L and Rosenqvist M (2005) Difference in survival after out-of-hospital cardiac arrest between the two largest cities in Sweden: a matter of time? *J Intern Med* 257: 247-54
25. Holler NG, Mantoni T, Nielsen SL, Lippert F and Rasmussen LS (2007) Long-term survival after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 75: 23-8
26. Kellum MJ, Kennedy KW and Ewy GA (2006) Cardiocerebral resuscitation improves survival of patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Am J Med* 119: 335-40
27. Kramer-Johansen J, Edelson DP, Abella BS, Becker LB, Wik L and Steen PA (2007) Pauses in chest compression and inappropriate shocks: a comparison of manual and semi-automatic defibrillation attempts. *Resuscitation* 73: 212-20
28. Kramer-Johansen J, Myklebust H, Wik L, Fellows B, Svensson L, Sorebo H and Steen PA (2006) Quality of out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation with real time automated feedback: a prospective interventional study. *Resuscitation* 71: 283-92
29. Kudenchuk PJ, Cobb LA, Copass MK, Cummins RO, Doherty AM, Fahrenbruch CE, Hallstrom AP, Murray WA, Olsufka M and Walsh T (1999) Amiodarone for resuscitation after out-of-hospital cardiac arrest due to ventricular fibrillation. *N Engl J Med* 341: 871-8

30. Levi F, Lucchini F, Negri E and La Vecchia C (2002) Trends in mortality from cardiovascular and cerebrovascular diseases in Europe and other areas of the world. *Heart* 88: 119-24
31. Lindholm DJ and Campbell JP (1998) Predicting survival from out-of-hospital cardiac arrest. *Prehosp Disaster Med* 13: 51-4
32. Lown B, Amarasingham R and Neuman J (1962) New method for terminating cardiac arrhythmias. Use of synchronized capacitor discharge. *Jama* 182: 548-55
33. Morrison LJ, Dorian P, Long J, Vermeulen M, Schwartz B, Sawadsky B, Frank J, Cameron B, Burgess R, Shield J, Bagley P, Mausz V, Brewer JE and Lerman BB (2005) Out-of-hospital cardiac arrest rectilinear biphasic to monophasic damped sine defibrillation waveforms with advanced life support intervention trial (ORBIT). *Resuscitation* 66: 149-57
34. Niemann JT, Stratton SJ, Cruz B and Lewis RJ (2001) Outcome of out-of-hospital postcountershock asystole and pulseless electrical activity versus primary asystole and pulseless electrical activity. *Crit Care Med* 29: 2366-70
35. Nolan JP, Deakin CD, Soar J, Bottiger BW and Smith G (2005) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 4. Adult advanced life support. *Resuscitation* 67 Suppl 1: S39-86
36. Olasveengen TM, Wik L, Kramer-Johansen J, Sunde K, Pytte M and Steen PA (2007) Is CPR quality improving? A retrospective study of out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*
37. Pell JP, Sirel JM, Marsden AK, Ford I, Walker NL and Cobbe SM (2003) Presentation, management, and outcome of out of hospital cardiopulmonary arrest: comparison by underlying aetiology. *Heart* 89: 839-42

38. Petrie DA, De Maio V, Stiell IG, Dreyer J, Martin M and O'Brien J A (2001) Factors affecting survival after prehospital asystolic cardiac arrest in a Basic Life Support-Defibrillation system. *Cjem* 3: 186-92
39. Poole JE, White RD, Kanz KG, Hengstenberg F, Jarrard GT, Robinson JC, Santana V, McKenas DK, Rich N, Rosas S, Merritt S, Magnotto L, Gallagher JV, 3rd, Gliner BE, Jorgenson DB, Morgan CB, Dillon SM, Kronmal RA and Bardy GH (1997) Low-energy impedance-compensating biphasic waveforms terminate ventricular fibrillation at high rates in victims of out-of-hospital cardiac arrest. LIFE Investigators. *J Cardiovasc Electrophysiol* 8: 1373-85
40. Priori SG, Aliot E, Blomstrom-Lundqvist C, Bossaert L, Breithardt G, Brugada P, Camm JA, Cappato R, Cobbe SM, Di MC, Maron BJ, McKenna WJ, Pedersen AK, Ravens U, Schwartz PJ, Trusz-Gluza M, Vardas P, Wellens HJ and Zipes DP (2002) Task Force on Sudden Cardiac Death, European Society of Cardiology. *Europace* 4: 3-18
41. Rea TD, Eisenberg MS, Sinibaldi G and White RD (2004) Incidence of EMS-treated out-of-hospital cardiac arrest in the United States. *Resuscitation* 63: 17-24
42. Rea TD, Helbock M, Perry S, Garcia M, Cloyd D, Becker L and Eisenberg M (2006) Increasing use of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital ventricular fibrillation arrest: survival implications of guideline changes. *Circulation* 114: 2760-5
43. Rea TD, Shah S, Kudenchuk PJ, Copass MK and Cobb LA (2005) Automated external defibrillators: to what extent does the algorithm delay CPR? *Ann Emerg Med* 46: 132-41

44. Rehmani R, Baqir M and Amanullah S (2007) Return of spontaneous circulation and survival at hospital discharge in patients with out-of-hospital and emergency department cardiac arrests in a tertiary care centre. *J Pak Med Assoc* 57: 278-81
45. Safar P, Brown TC, Holtey WJ and Wilder RJ (1961) Ventilation and circulation with closed-chest cardiac massage in man. *Jama* 176: 574-6
46. Sans S, Kesteloot H and Kromhout D (1997) The burden of cardiovascular diseases mortality in Europe. Task Force of the European Society of Cardiology on Cardiovascular Mortality and Morbidity Statistics in Europe. *Eur Heart J* 18: 1231-48
47. Stiell IG, Walker RG, Nesbitt LP, Chapman FW, Cousineau D, Christenson J, Bradford P, Sookram S, Berringer R, Lank P and Wells GA (2007) BIPHASIC Trial: a randomized comparison of fixed lower versus escalating higher energy levels for defibrillation in out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 115: 1511-7
48. Valenzuela TD, Kern KB, Clark LL, Berg RA, Berg MD, Berg DD, Hilwig RW, Otto CW, Newburn D and Ewy GA (2005) Interruptions of chest compressions during emergency medical systems resuscitation. *Circulation* 112: 1259-65
49. Valenzuela TD, Roe DJ, Cretin S, Spaite DW and Larsen MP (1997) Estimating effectiveness of cardiac arrest interventions: a logistic regression survival model. *Circulation* 96: 3308-13
50. Valenzuela TD, Roe DJ, Nichol G, Clark LL, Spaite DW and Hardman RG (2000) Outcomes of rapid defibrillation by security officers after cardiac arrest in casinos. *N Engl J Med* 343: 1206-9

51. van Alem AP, Chapman FW, Lank P, Hart AA and Koster RW (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
52. Vilke GM, Chan TC, Dunford JV, Metz M, Ochs G, Smith A, Fisher R, Poste JC, McCallum-Brown L and Davis DP (2005) The three-phase model of cardiac arrest as applied to ventricular fibrillation in a large, urban emergency medical services system. *Resuscitation* 64: 341-6
53. Waalewijn RA, Nijpels MA, Tijssen JG and Koster RW (2002) Prevention of deterioration of ventricular fibrillation by basic life support during out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 54: 31-6
54. Weisfeldt ML (2004) A three phase temporal model for cardiopulmonary resuscitation following cardiac arrest. *Trans Am Clin Climatol Assoc* 115: 115-22
55. Wik L, Hansen TB, Fylling F, Steen T, Vaagenes P, Auestad BH and Steen PA (2003) Delaying defibrillation to give basic cardiopulmonary resuscitation to patients with out-of-hospital ventricular fibrillation: a randomized trial. *Jama* 289: 1389-95
56. Wik L, Kramer-Johansen J, Myklebust H, Sorebo H, Svensson L, Fellows B and Steen PA (2005) Quality of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital cardiac arrest. *Jama* 293: 299-304
57. Zheng ZJ, Croft JB, Giles WH and Mensah GA (2001) Sudden cardiac death in the United States, 1989 to 1998. *Circulation* 104: 2158-63
58. Zipes DP, Camm AJ, Borggrefe M, Buxton AE, Chaitman B, Fromer M, Gregoratos G, Klein G, Moss AJ, Myerburg RJ, Priori SG, Quinones MA, Roden DM, Silka MJ, Tracy C, Priori SG, Blanc JJ, Budaj A, Camm AJ, Dean V,

Deckers JW, Despres C, Dickstein K, Lekakis J, McGregor K, Metra M, Morais J, Osterspey A, Tamargo JL, Zamorano JL, Smith SC, Jr., Jacobs AK, Adams CD, Antman EM, Anderson JL, Hunt SA, Halperin JL, Nishimura R, Ornato JP, Page RL and Riegel B (2006) ACC/AHA/ESC 2006 guidelines for management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force and the European Society of Cardiology Committee for Practice Guidelines (Writing Committee to Develop guidelines for management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death) developed in collaboration with the European Heart Rhythm Association and the Heart Rhythm Society. *Europace* 8: 746-837

59. Zoll PM (1952) Resuscitation of the heart in ventricular standstill by external electric stimulation. *N Engl J Med* 247: 768-71

7. Lebenslauf

Name	Jörg Rudolf Oberfeld
Geburtsdatum	08. August 1969
Geburtsort	Rheine
Eltern	Rosa und Franz-Josef Oberfeld
Schule:	1976 – 1980 Bodelschwingh-Grundschule Rheine
	1980 – 1989 Gymnasium Dionysianum Rheine Abschluss: Allgemeine Hochschulreife
Studium:	1989 – 1996 Studium der Humanmedizin Westfälische Wilhelms-Universität Münster
ärztliche Tätigkeit	1996 - jetzt Wissenschaftlicher Mitarbeiter Universitätsklinikum Münster Medizinische Klinik und Poliklinik C Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. h.c. G. Breithardt

8. Danksagung

Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Dr. h.c. Günter Breithardt danke ich für die Möglichkeit, in seiner Klinik diese Arbeit anzufertigen.

Herrn PD Dr. med. Rainer Gradaus danke ich für die überaus freundschaftliche und kollegiale Betreuung.

Ich danke den Mitarbeitern der Berufsfeuerwehr Münster für die unermüdliche Hilfe bei der Datenakquisition. Mein besonderer Dank gilt den Lehrrettungsassistenten, der Ärztlichen Leitung Rettungsdienst und Frau Sandra Döpker.

Den Mitarbeitern der münsterschen Krankenhäuser danke ich für die Mithilfe bei der Verlaufsbeobachtung der Patienten.

9. Abkürzungen

ACLS	Advanced Cardiac Life Support
AED	automatischer externer Defibrillator
BLS	Basic Life Support
CPR	cardiopulmonale Reanimation
ERC	European Resuscitation Council
HDM	Herzdruck-Massage
ILCOR	International Liaison Committee on Resuscitation
Non-VF	Rhythmus, der nicht Kammerflimmern entspricht
VF	Kammerflimmern