Aus der Klinik mit Schwerpunkt Kardiologie der
Medizinischen Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin
Notfallmedizin/Rettungsstellen und Chest Pain Units

DISSERTATION

Thema

Kardiales Monitoring nach Stromunfall

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Wibke Maaß
aus Oberhausen

Datum der Promotion: 11.12.2015

Inhaltsverzeichnis 1

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS **3**
ABBILDUNGSVERZEICHNIS **6**
TABELLENVERZEICHNIS **7**
ABSTRAKT (DEUTSCH/ENGLISCH) **8**

1 EINLEITUNG **12**
1.1 Epidemiologie der Stromunfälle in Deutschland 12
1.2 Stromunfälle im internationalen Vergleich 14
1.3 Einflussfaktoren der Stromverletzung 16
1.4 Pathophysiologie des Elektrounfalls 19
1.5 Schäden auf zellulärer Ebene 21
1.6 Wirkung auf das kardiale System 22
1.7 Empfehlungen und bisherige Studien 24
1.8 Versorgung von Stromunfall-Patienten in Deutschland 24
1.9 Fragestellung 26

2 MATERIAL UND METHODE **27**
2.1 Patientenkollektiv 27
2.2 Dokumentation der Daten 28
2.3 Statistische Auswertung 28
2.4 Referenzbereiche der Laborparameter 29

3 ERGEBNISSE **30**
3.1 Patientenkollektiv 30
3.2 Stationärer Aufenthalt 31
3.3 Vorerkrankungen und Medikamenteneinnahme 34
3.4 Strom- und Unfalldaten 35
3.5 Labor 38
3.6 Aufnahme-EKG und EKG-Kontrolle 40
3.7 Risikopatienten 41
3.8 Monitoring 41

4 DISKUSSION **43**
4.1 Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse 43
4.2 Publikationen zu verzögerten Arrhythmien 43
4.3 Ergebnisse klinischer Studien 46
4.4 Relevanz für den klinischen Alltag 52
4.5 Vor- und Nachteile der gewählten Methodik 54
4.6 Limitationen der Studie 55

5 ZUSAMMENFASSUNG **56**

6 LITERATUR **57**

7 ANHANG **60**
7.1 Eidesstattliche Versicherung 60
7.2 Lebenslauf 61
7.3 Publikationsliste 62
7.4 Danksagung 63
7.5 Dokumentationstabelle 64

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A	Ampere
ASD	Atriumseptumdefekt
AST	Aspartat-Aminotransferase
AV-Block	atrioventrikulärer Block
BG	Berufsgenossenschaft
Bpm	beats per minute
CK	Creatin-Kinase
COPD	chronic obstructive lung disease
CRP	C-reaktives Protein
CTG	Cardiotocographie, Kardiotokographie
DRG	diagnosis-related groups
EKG	Elektrokardiogramm
ERC	European Resuscitation Council
FA	Familienanamnese
Fl	Femtoliter
g/dl	Gramm pro Deziliter
GCS	Glasgow Coma Scale
Hb	Hämoglobin
HIV	Humanes Immundefizienz-Virus
HKT	Hämatokrit
HWS	Halswirbelsäule
Hz	Hertz
ICD	Implantierbarer Kardioverter-Defibrillator
ICD	International Classification of Diseases
ICH-GCP	International Conference on Harmonisation of technical requirements for registration of pharmaceuticals for human use – Good clinical practice
ID	Identifikation
IT	Informationstechnik
K	Kalium
KHK	Koronare Herzkrankheit
KIS	Krankenhausinformationssystem

kJ	Kilojoule
KTW	Krankentransportwagen
mA	Milliampere
MCH	Mittleres korpuskuläres Hämoglobin
MCHC	Mittlere korpuskuläre Hämoglobinkonzentration
MCV	Mittleres korpuskuläres Volumen
mg/dl	Milligramm pro Deziliter
MHz	Megahertz
mio/µl	Millionen pro Mikroliter
mm	Millimeter
mmol/l	Millimol pro Liter
MPV	Mean platelet volume
MRT	Magnetresonanztomographie
mU/l	Milliunit pro Liter
mV	Millivolt
Na^+-K^+-ATPase	Natrium-Kalium-Adenosintriphosphatase
NAW	Notarztwagen
pAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
Pck-Years	Pack-Year, Packungsjahr
pg	Pikogramm
psych.	psychisch
RDW	Red blood cell distribution width, Erythrozytenverteilungsbreite
RSB	Rechtsschenkelblock
RTS	Rettungsstelle
RTW	Rettungswagen
SA	sinuatrial
SM	Strommarke
stat.	stationären
SVES	supraventrikuläre Extrasystole
TAA	Thrombozytenaggregationshemmer
TEE	Transesophageal echokardiographie
TIA	Transitorische ischämische Attacke
tsd/nl	Tausend pro Nanoliter
TSH	Thyroidea stimulierendes Hormon

V	Volt
VDE	Verband der Elektrotechnik
VES	Ventrikuläre Extrasystole
WK	Wirbelkörper
z.B.	zum Beispiel
Z.n.	Zustand nach
µg/l	Mikrogramm pro Liter

ABBILDUNSGVERZEICHNIS

Abb.1	Auswertung von Daten des Statistischen Bundesamtes zur Anzahl der Todesfälle durch elektrischen Strom in Deutschland	13
Abb.2	Auswertung von Daten des Statistischen Bundesamtes zur Geschlechterverteilung der Stromtoten	13
Abb. 3	Anzahl der tödlichen Stromunfälle in Schweden (Nieder- und Hochspannungsunfälle inklusive Bahnunfälle)	15
Abb. 4	Anzahl der tödlichen Stromunfälle in der Schweiz (Nieder- und Hochspannungsunfälle ohne Bahnunfälle)	15
Abb. 5	Alters- und Geschlechterverteilung am Tag des Unfalls	30
Abb. 6	Dauer des stationären Aufenthaltes insgesamt	33
Abb. 7	Dauer des stationären Aufenthaltes der <18-jährigen Patienten	33
Abb. 8.	Dauer des stationären Aufenthaltes der >18-jährigen Patienten	33
Abb. 9	Häufigkeit auffälliger Aufnahme-EKGs (bzgl. Erregungsbildung und –leitung)	40
Abb. 10	Häufigkeit und Ergebnis der Monitorüberwachung	42
Abb. 11	Standardisiertes Vorgehen bei Patienten mit Stromunfall (in Anlehnung an die Publikation von Blackwell et al. 2002)	53

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht über einbringende Transportgesellschaft, Zuständigkeit der Berufsgenossenschaft und Dauer des stationären Aufenthaltes 31

Tabelle 2a: Übersicht über Vorerkrankungen und kardiovaskuläre Risikofaktoren 34

Tabelle 2b: Übersicht über Medikamenteneinnahme 35

Tabelle 3: Übersicht über Stromspannung, Unfallursache und Stromquelle 36

Tabelle 4: Übersicht über Hautveränderungen an Stromeintritts- und Stromaustrittsstelle 37

Tabelle 5: Publikationen, die eine Monitorüberwachung empfehlen 46

Tabelle 6: Studien, die den selektiven Einsatz von kardialem Monitoring empfehlen 51

ABSTRAKT DEUTSCH

Kardiales Monitoring nach Stromunfall

Einleitung

Aus Angst vor verzögert auftretenden und lebensbedrohlichen Arrhythmien, erfolgt die bis zu 24 stündige Monitorüberwachung von Patienten nach einem Stromunfall. Dabei ist die Notwendigkeit dieses kostspieligen Vorgehens wissenschaftlich nicht belegt.

Methodik

Eine retrospektive Auswertung krankheitsbezogener Sekundärdaten aller Patienten, die zwischen Januar 2001 und Dezember 2008 mit der Hauptkrankenhausdiagnose T75.4 (Schäden durch elektrischen Strom) stationär in die Charité, Campus Virchow Klinikum, aufgenommen wurden. Als primärer Endpunkt der Studie wurde das Auftreten behandlungsbedürftiger, verzögerter kardialer Arrhythmien definiert. Begutachtet wurden Aufnahme-EKGs, alle stationär abgeleiteten EKGs und dokumentierte Auffälligkeiten in der Monitorüberwachung. Das Datenmaterial lag in Form von Patientenakten im Archiv des Campus Virchow Klinikum der Charité vor.

Ergebnisse

268 Patienten wurden im genannten Zeitraum erfasst. 71 % waren männlich. 94% der Unfälle waren Niederspannungsunfälle, 3 % Hochspannungsunfälle (Rest unklar). Das mediane Alter betrug 23 Jahre (Interquartilsabstände 6-35). 64% der Unfälle ereigneten sich im privaten Bereich. In 81% konnte Unachtsamkeit als Unfallursache ermittelt werden. Die mediane Dauer der stationären Aufenthalte betrug 19:50 Stunden (Interquartilsabstände 15:58 - 23:28 Stunden). Der kürzeste Aufenthalt war 2:25 Stunden, der längste Aufenthalt war 430:18 Stunden. Drei Patienten waren unmittelbar nach dem Unfallereignis bewusstlos, einer von ihnen war mit Kammerflimmern reanimationspflichtig. Bei 98% der Patienten wurde ein Aufnahme-EKG abgeleitet, in 4% der Fälle gab es hinsichtlich Erregungsbildung und Erregungsleitung Auffälligkeiten. Es handelte sich um vereinzelt einfallende VES, SVES und AV-Block I°. Bei 61% der Patienten wurde eine EKG-Kontrolle durchgeführt. Hier zeigten sich bei 3 Patienten Auffälligkeiten. 1 Patient zeigte einen inkompletten Rechtsschenkelblock, 1 Patient supraventrikuläre Extrasystolen sowie einen inkompletten Rechtsschenkelblock und 1

Patient zeigte vereinzelt einfallende supraventrikuläre Extrasystolen, vereinzelt einfallende ventrikuläre Extrasystolen und VES Couplets. Eine Monitorüberwachung erfolgte bei 100% der Patienten. Bei einem Patienten wurde eine nächtliche Sinusbradykardie dokumentiert. Kein Patient entwickelte im Überwachungszeitraum lebensbedrohliche Arrhythmien.

Zusammenfassung

Patienten ohne Bewusstseinsverlust, mit normalem initialem EKG und Fehlen behandlungsbedürftiger Begleitverletzungen können ohne weitere Diagnostik in häusliche Umgebung entlassen werden.

ABSTRAKT ENGLISCH

Cardiac monitoring following electrical accidents

Introduction

For fear of life-threatening arrhythmia, monitoring of patients takes place for up to 24 hours following an electrical accident. There is no scientific evidence to support the necessity of this costly procedure.

Method

A retrospective analysis of illness-related secondary data from all patients who were admitted as in-patients to the Charité, Campus Virchow Clinic with the principle hospital diagnosis T75.4 (damage caused by electricity) between January 2001 and December 2008. The occurrence of delayed cardiac arrhythmia requiring treatment represented the primary endpoint of the study. Admission ECGs, all hospital-derived ECGs and documented anomalies in monitoring were examined. The data material was available in form of patient files in the archive of the Campus Virchow Clinic of the Charité.

Results

268 patients were included in the time period mentioned. 71% were male. 94% of accidents were low voltage accidents, 3% high voltage accidents (rest unclear). The median age was 23 years (interquartile range 6-35). 64% of accidents occurred in private setting. In 81% of cases, carelessness was determined as the cause of the accident. The median duration of hospitalisation was 19:50 hours (interquartile range 15:58 - 23:28 hours). The shortest hospital stay was 2:25 hours; the longest stay was 430:18 hours. Three patients were unconscious directly following the accident; one of these required reanimation due to ventricular fibrillation. For 98% of patients, an admission ECG was taken; in 4% of cases there were anomalies with regard to excitation and conduction. These were sporadically occurring VES, SVES and AV-Block I°. In 61% of patients, an ECG control was carried out. 3 patients presented with anomalies. 1 patient had an incomplete right bundle branch block, 1 patient had supraventricular extrasystoles and an incomplete right bundle branch block, and 1 patient showed sporadically occurring supraventricular extrasystoles, sporadically occurring ventricular extrasystoles and VES couplets. Monitoring was carried out for

100% of patients. In one patient, a nocturnal sinus bradycardia was documented. No patient developed life-threatening arrhythmia during the monitoring period.

Summary

Patients without loss of consciousness, with normal initial ECG and lack of concomitant injury that requires treatment can be discharged to a home environment.

1 Einleitung

1.1 Epidemiologie der Stromunfälle in Deutschland

Jedes Jahr ereignen sich in Deutschland schätzungsweise 4000 schwere Elektrounfälle (35) von denen etwa 50 bis 60 tödlich enden (2). Insgesamt gesehen ist die Anzahl der Elektrounfälle trotz des steigenden Elektrizitätsverbrauchs und des stetig steigenden Einsatzes von Elektrogeräten in den letzten Jahren jedoch rückläufig. Lag die Zahl der Stromtoten in Deutschland 1999 noch bei 110, bewegen sich die Zahlen in den letzten Jahren zwischen 50 und 60 Stromtoten pro Jahr (2). Diese erfreuliche Entwicklung ist zum Teil der Sorgfalt zuzuschreiben, mit der Vorschriften und Normen für den sicheren Gebrauch elektrischer Betriebsmittel erstellt wurden. Aber auch die Entwicklung moderner Isolierstoffe und eine weiterentwickelte Technik der Schutzmaßnahmen gegen Berührungsspannung waren dafür ausschlaggebend (4).

Betrachtet man die Verteilung der Stromunfälle auf Haushalt, Industrie oder Gewerbe, so veranschaulicht Abb.1, dass weit mehr tödliche Elektrounfälle im Privatbereich erfolgen als im industriellen oder gewerblichen Bereich (2). Hinsichtlich der Geschlechterverteilung zeigt Abb. 2 eine eindeutige Dominanz der Männer (6). 80 % der Unfälle ereignen sich im Niederspannungsbereich, etwa 20 % der Unfälle sind Hochspannungsunfälle (1). Während 3 % der Niederspannungsunfälle zum Tode führen, sind es bei Hochspannungsunfällen etwa 30 % (1). Bezogen auf die Letalität von Stromunfällen findet man in der Literatur unterschiedliche Angaben. So veröffentlichte die Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro 2010 die Zahl der gemeldeten Stromunfälle der Jahre 1997 bis 2006. Es handelt sich um 18020 Niederspannungsunfälle, von denen 75 letal endeten (Letalität: 0,4%). Von den 903 gemeldeten Hochspannungsunfällen endeten 62 tödlich (Letalität: 6,9%) (7). Hier muss jedoch berücksichtig werden, dass von der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro nur Arbeitsunfälle der versicherten Mitglieder, also einer definierten Gruppe, erfasst werden und sich somit keine Rückschlüsse auf die Häufigkeit von Stromunfällen in der Gesamtbevölkerung ziehen lassen. Als Unfallursache ist meist unsachgemäße Gerätehandhabung bzw. menschliches Versagen zu nennen (1).

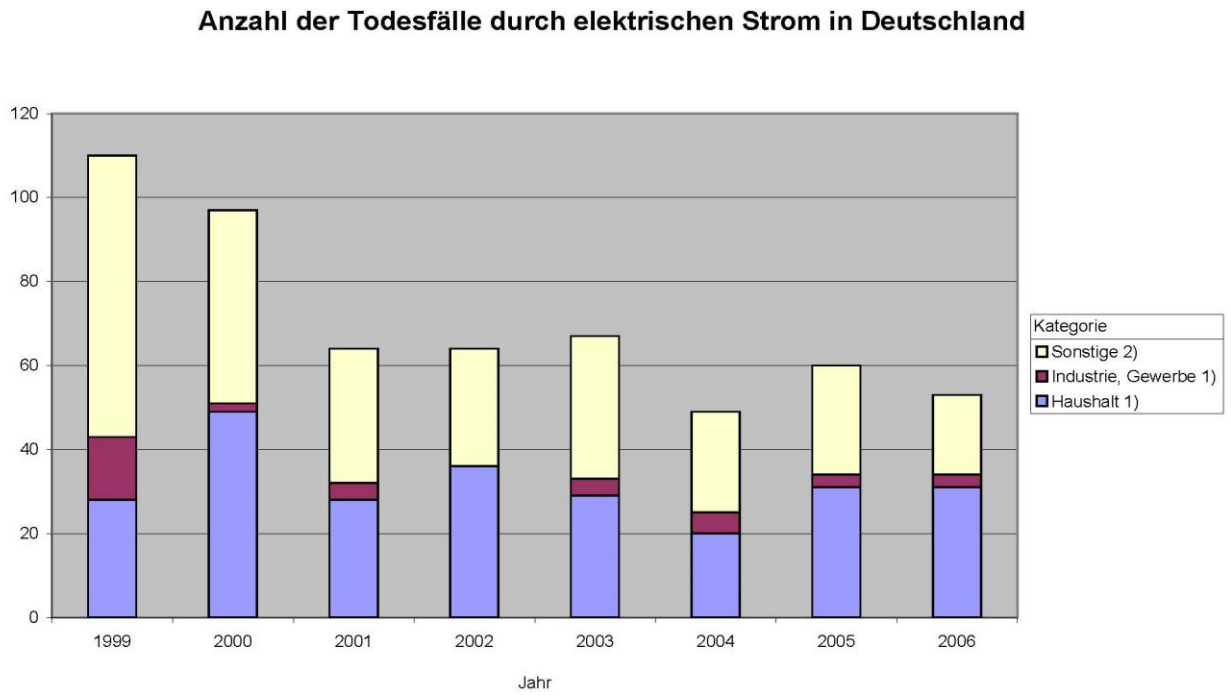

Abb. 1 : Auswertung von Daten des Statistischen Bundesamtes zur Anzahl der Todesfälle durch elektrischen Strom in Deutschland

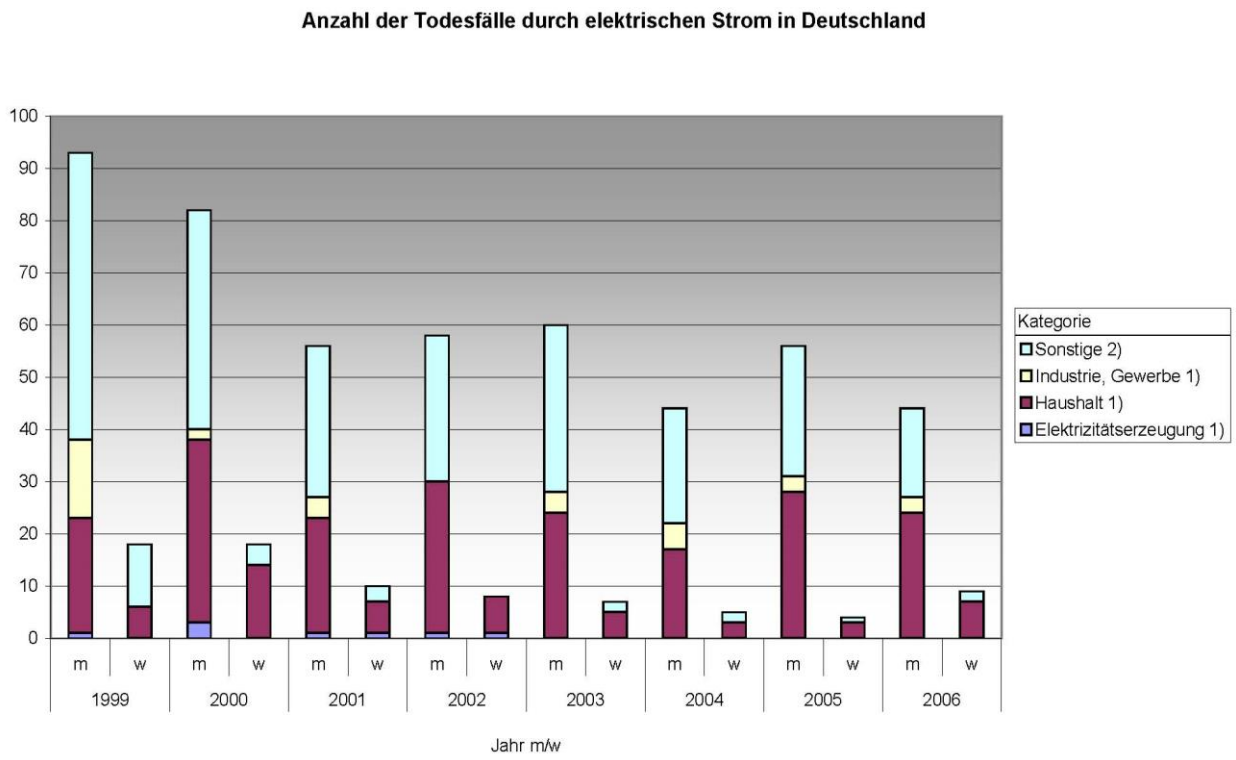

Abb. 2: Auswertung von Daten des Statistischen Bundesamtes zur Geschlechterverteilung der Stromtoten

Während in Deutschland die Erfassung tödlicher Stromunfälle durch das statistische Bundesamt erfolgt, sind Aussagen zur Gesamtzahl elektrischer Unfälle (tödlich und nicht tödlich) nicht möglich. Grund dafür ist die Tatsache, dass Elektrounfälle aus dem privaten Bereich nicht meldepflichtig sind (4). In Deutschland sind neben dem statistischen Bundesamt auch die Unfallversicherungsträger für die Erhebung von Daten zu Arbeitsunfällen durch elektrischen Strom zuständig. Dem Institut zur Erforschung elektrischer Unfälle der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik kommt dabei eine zentrale Rolle zu. Ihm werden Daten der Unfallversicherungsträger aus dem industriellen und gewerblichen Bereich zugespielt (4). Grundsätzlich werden also in Deutschland die nicht tödlichen Elektrounfälle nur als Arbeitsunfälle erfasst (4). Da keine versicherungstechnische Verbindlichkeit besteht, fehlt der Ansporn, Unfälle in Privathaushalten zu melden und statistisch zu erfassen (4).

1.2 Stromunfälle im internationalen Vergleich

Im internationalen Vergleich gibt es hinsichtlich der Erfassung von Daten zu Elektrounfällen große Unterschiede. So werden in Schweiz und Österreich nicht tödliche und tödliche Elektrounfälle auch aus dem privaten Bereich erfasst, insgesamt jedoch mit weniger kontrollierbarer Einhaltung der Weisung. Über einen sehr langen Zeitraum bereits werden Unfallstatistiken in den Ländern Schweden und Schweiz geführt. Dort werden Daten zu tödlichen Elektrounfällen seit 1919 erfasst. Anhand dieser Statistiken kann die zeitliche Entwicklung der Zahlen über einen langen Zeitraum veranschaulicht werden (4). Abb. 3 zeigt die Gesamtstatistik der tödlichen Elektrounfälle in Schweden. Wie ersichtlich, sind die tödlichen Stromunfälle seit 1948 rückläufig und liegen in den letzten Jahren bei unter 20 pro Jahr. In den Jahren 1995 bis 2000 sogar im Mittel bei 6 Stromtoten pro Jahr (4).

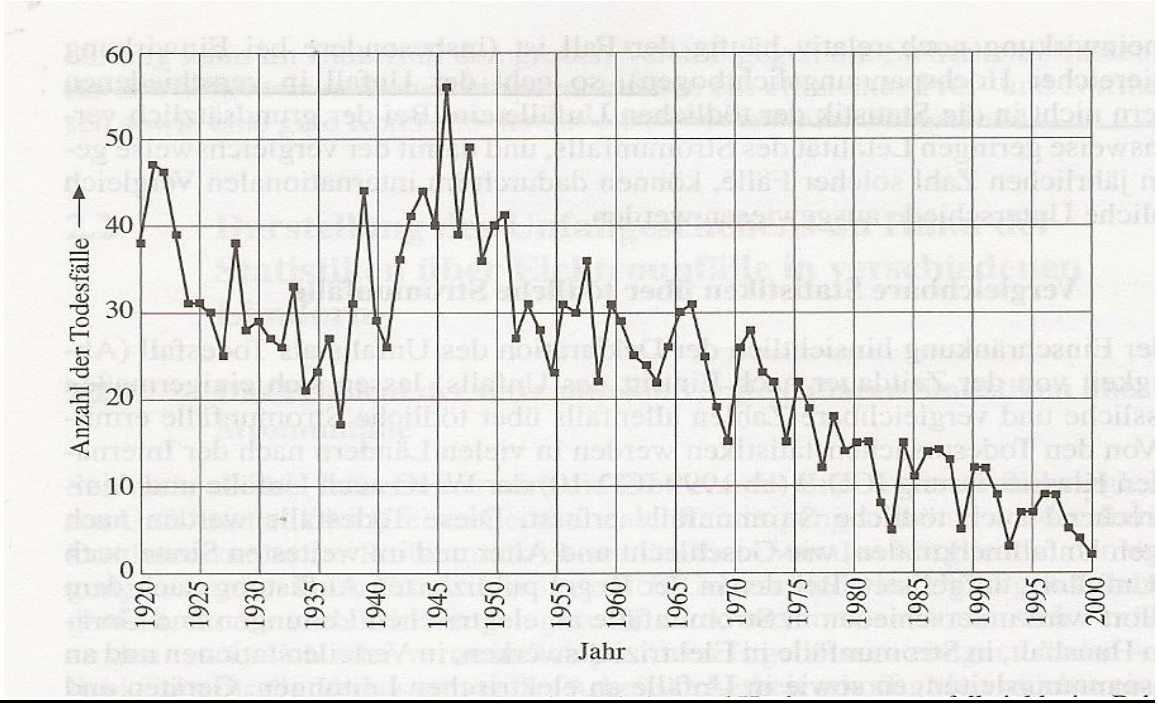

Abb. 3: Anzahl der tödlichen Stromunfälle in Schweden (Nieder- und Hochspannungsunfälle inklusive Bahnunfälle)

In der Schweiz ist das Ergebnis vergleichbar.

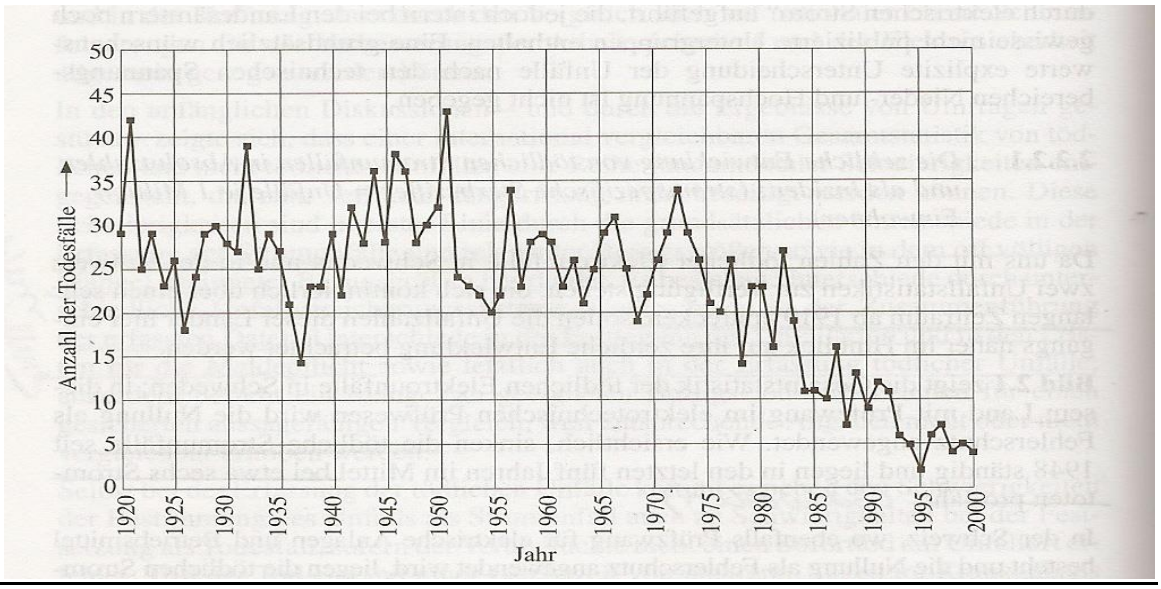

Abb. 4: Anzahl der tödlichen Stromunfälle in der Schweiz (Nieder- und Hochspannungsunfälle ohne Bahnunfälle)

1.3 Einflussfaktoren der Stromverletzung

Die pathobiologische Wirkung von elektrischem Strom wird von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt. Einen großen Einfluss hat die Stromstärke (25). Aber auch Stromspannung, Stromfrequenz und Stromdichte spielen eine Rolle. Widerstände an Stromübertrittstellen im Bereich der Haut und dem Körperinnenwiderstand nehmen ebenfalls Einfluss auf den Grad der Schädigung. Des Weiteren sind Kontaktdauer und der Weg, den der Strom durch den Körper nimmt, relevant (1).

1.3.1. Einfluss der Stromstärke

Die elektrische Stromstärke, Ampere (Formelzeichen I) gibt an, wie viele elektrische Ladungen in einer bestimmten Zeit bewegt werden.
Das Ausmaß eines elektrischen Unfallgeschehens lässt sich anhand einer Aufteilung in 4 Stromstärkebereiche beurteilen (25):

Stromstärkebereich I: 9-25 mA verursachen Muskelverkrampfungen an Skelett-, Atem- und Herzmuskulatur, so dass ohne rechtzeitige Unterbrechung des Stromkontaktes ein Atemstillstand eintreten kann. Eine direkte Herzbeteiligung fehlt.

Stromstärkebereich II: 25-80 mA: An diesen Fällen findet man bereits eine direkte Herzbeteiligung in Form einer Reizbildungs- und Leitungsstörung. Bleibende Schäden sind im EKG selten.

Stromstärkebereich III: >80 mA führt in der Regel zum Tod durch Kammerflimmern.

Stromstärkebereich IV: Stromstärken über 3-8 A und Spannungen über 1000V: Bei Unfällen mit solchen elektrischen Strömen stehen Verbrennungen durch die Hitzewirkung des Lichtbogens im Vordergrund, zu denen sich Muskelkontrakturen und Herzstillstand hinzugesellen (25).

1.3.2. Einfluss der Stromspannung

Die elektrische Spannung, gemessen in Volt, ist der Druck, der den Stromfluss antreibt. Im Allgemeinen bezeichnet man eine Stromspannung unter 1000 Volt als Niederspannung und eine Stromspannung über 1000 Volt als Hochspannung. Für den klinischen Alltag hat es sich bewährt, Unfälle mit Stromspannungen unter 500 Volt als Niederspannungsunfälle, und solche mit Stromspannungen über 500 Volt als Hochspannungsunfälle zu definieren. (1).
Bei Unfällen mit Niederspannung stehen spezifische Wirkungen auf die Funktion von Atmung und Herz, und in diesem Zusammenhang insbesondere das Auftreten von Herzrhythmusstörungen bis hin zum Kammerflimmern, im Vordergrund. Hochspannungsunfälle dagegen führen aufgrund des hohen Stromflusses und der damit verbundenen elektrothermischen Wirkung zusätzlich zu schweren Haut- und Gewebezerstörungen (1).

1.3.3. Einfluss der Stromart (Gleich- und Wechselstrom)

Einen großen Einfluss auf das Verletzungs- und Schädigungsmuster hat die Art des fließenden Stroms, also ob es sich um Gleich- oder Wechselstrom handelt. Wechselstrom bezeichnet elektrischen Strom, der seine Richtung/Polung in regelmäßiger Wiederholung ändert, und bei dem sich positive und negative Augenblickswerte so ergänzen, dass der Strom im zeitlichen Mittel null ist. Er verursacht durch diese periodische Änderung der Stromrichtung bei gleicher Stromstärke mehr Schaden als Gleichstrom (1), da die Reize mit dem Wechsel der Polung stetig einfallen (24). Dies führt an der Skelettmuskulatur leichter zu Kontraktionen, und am Herzen besteht ein höheres Risiko für die Entstehung von Kammerflimmern. Das Risiko steigt mit zunehmender Dauer der Körperdurchströmung (7). Voraussetzung für die Entstehung von Kammerflimmern ist der Einfall eines Reizes in die relative Refraktärphase, bzw. vulnerable Phase, der Herzaktion (24).
Vom Wechselstrom abzugrenzen ist der Gleichstrom, der sich zeitlich nicht ändert. Er hat hauptsächlich beim Ein- und Ausschalten Reizwirkung (24). Stärkere Gleichströme erzeugen im Gewebe Erwärmungen, welche zu Gewebeschäden führen (24).

Bezogen auf die Kombination von Stromart und Stromspannung führt niederfrequenter Wechselstrom (Haushaltsstrom, 50 Hz und 220 Volt) am Herzen zu Kammerflimmern, während Wechselstrom kombiniert mit Hochspannung eher zur Asystolie führt (1). An der Skelettmuskulatur bewirkt „Haushaltsstrom“ tetanische Muskelkontraktionen und durch die stärker ausgeprägte Flexorenmuskulatur häufig ein Haften an der Stromquelle. Die Muskelkontraktionen können so ausgeprägt sein, dass es zum Auftreten von Gelenksluxationen und Frakturen kommt (1).

1.3.4. Einfluss der Stromdichte

Die Stromdichte beschreibt die Verteilung des Stromes im Leiter. Sie ist definiert über das Verhältnis von Stromstärke zur Querschnittsfläche, innerhalb derer ein elektrischer Strom fließt. Die Stromdichte hat Einfluss auf die Entstehung von Wärme. Ein Leiter erwärmt sich umso mehr, je größer die Stromdichte ist. Besteht also ein geringerer Querschnitt, wie beispielsweise an einem Finger oder im Bereich von Gelenken, so führt in diesem Bereich die erhöhte Stromdichte zu einem gesteigerten Stromfluss mit gesteigerter Hitzeentwicklung (1). Dies erklärt, warum es bei Stromunfällen sehr viel häufiger zu schweren Extremitätenverletzungen kommt, als zu Schädigungen im Bereich des Thorax oder Abdomens (5).

1.3.5. Einfluss des Widerstandes

Die Widerstände an den Stromübertrittsstellen sowie im Körperinneren haben Einfluss auf den Stromfluss im Körper und somit auf den Grad der Schädigung. Ein hoher Widerstand mindert den Stromfluss und umgekehrt. An den Stromübertrittsstellen ist zudem die Beschaffenheit der Haut relevant für den Stromfluss in den Körper. Eine sehr dünne und/oder nasse Haut hat einen geringeren Widerstand als eine schwielige und/oder trockene Haut und lässt somit einen größeren Stromfluss zu. Im Körperinneren ergeben sich für die unterschiedlichen Gewebe unterschiedliche Widerstände. Der Stromfluss geschieht dabei vornehmlich durch Gewebe mit niedrigem Widerstand, wie z.B. Muskel- und Nervengewebe (1).

1.3.6. Einfluss des Weges

Der Weg, den der Strom durch den Körper nimmt, entscheidet, welches Organ bzw. Organsystem Schaden nimmt. Geschieht der Stromfluss von Hand zu Hand, also horizontal durch den Thorax, können schwerwiegende Herzrhythmusstörungen auftreten. Jedoch fließt in diesem Fall tatsächlich der meiste Strom um das Herz herum (30). Die Sterblichkeit ist mit 60% (6) dennoch 3fach höher (1) als bei vertikalem Stromfluss. Die Mortalität bei Stromfluss von einem Bein zum anderen beträgt lediglich 20% (6). Fließt der Strom durch Gehirn und/oder Rückenmark, kann es zum Auftreten von Bewusstseinsstörungen, Krampfneigung oder Lähmungserscheinungen kommen (1), zudem können intrakranielle Blutungen auftreten (1). Ein Stromschlag im Bereich des Schädels ist insgesamt mit einer hohen Mortalitätsrate assoziiert (6). Bei Stromfluss durch das Abdomen können abdominelle Blutungen und Hohlorganperforationen auftreten. Liegen die Augen im Stromfluss, kann eine Katarakt entstehen (1).

1.3.7. Einfluss der Kontaktdauer

Mit zunehmender Kontaktdauer zur Stromquelle vergrößert sich die applizierte Energie. Somit nimmt die Schädigung des Gewebes mit zunehmender Kontaktdauer zur Stromquelle zu. Setzt jedoch Verkohlung des Gewebes ein, erhöht sich sein Widerstand und der Stromfluss wird vermindert (1).

1.4 Pathophysiologie des Elektrounfalls

Ein durch den Körper fließender Strom kann seine schädigende Wirkung auf den Organismus in dreifacher Weise entfalten (6, 33):

1.4.1 Elektrische Energie
1.4.2 Thermische Energie
1.4.3 Mechanische Energie

1.4.1 Elektrische Energie

Elektrische Energie verursacht Zellschäden hauptsächlich durch Veränderung der Membranpotentiale (6, 33).

1.4.2 Thermische Energie

Thermische Energie (Wärmeentwicklung), der schädlichste der 3 Mechanismen (6), führt zu massiven Gewebeverletzungen und Koagulationsnekrosen. Die Hitzeentwicklung kann auf folgende Weise entstehen (27):

1. Durch den Stromfluss selbst
2. Über einen Lichtbogen
3. Durch brennende Kleidung
4. Explodierendes Gas oder andere entflammbare Materialien

Fließt Strom durch Gewebe kann es zur Erwärmung kommen. Einfluss nimmt vor allem der Durchmesser des durchflossenen Körperteils (s. 1.3.4. Einfluss der Stromdichte). Aber auch Stromart und –stärke beeinflussen die Wärmeentstehung. Starke Gleichströme führen im Körper zu einer Hitzeentwicklung, in deren Folge Gewebeschäden entstehen können (24), während starke Wechselströme mit Frequenzen zwischen 0,5 bis 1 MHz zur lokalisierten und kontrollierten Wärmetherapie (Diathermie) eingesetzt werden können. Diese Wechselströme haben aufgrund ihrer hohen Frequenz keine Reizwirkung auf Nerven- und Muskelgewebe und erwärmen, ohne dem Gewebe Schaden zuzuführen (24). Erklärt wird dies dadurch, dass während einer Halbwelle keine Depolarisation bis zur Schwelle erfolgen kann und die nächste Halbwelle die „begonnene“ Depolarisation wieder aufhebt.
Wie bereits erwähnt, ist die Hitzeentwicklung in Geweben abhängig vom Durchmesser des durchflossenen Körperteils. Daher kommt es aufgrund des im Vergleich zu Thorax und Abdomen geringen Querschnitts an Extremitäten dazu, dass ein Stromfluss zu höherer Hitzeentwicklung und somit schwereren Gewebezerstörungen führt, als ein Stromfluss durch den Torso (s. 1.3.4. Einfluss der Stromdichte) (6, 5). Muskelgewebe stellt im Querschnitt zudem den größten Mengenanteil an Armen und Beinen dar und

leitet den Großteil des Stroms (5). Daniel et al. (15) zeigten in einem Primatenmodell nach einer elektrischen Energiezufuhr von 40 kJ, dass eine maximale Hitzeentwicklung nur an bestimmten Bereichen der Extremitäten stattfindet. Temperaturen von etwa 59°C fanden sich im Ellbogenbereich und stiegen auf 84°C an den Handgelenken, bei konstant niedrigen Temperaturen an Ober- und Unterarmen (5, 15). Erklärt werden kann dies dadurch, dass sich an Gelenken die Zusammensetzung der Gewebe im Querschnitt ändert, wobei sich der Muskelanteil verringert und sich die Anteile von Knochen, Sehnen und Haut erhöhen. Dadurch entsteht an Gelenken ein proportional größerer Stromfluss mit gesteigerter Hitzeentwicklung (5).

1.4.3 Mechanische Energie

Mechanische Energie, durch Sturz, Wegschleudern oder starke Muskelkontraktionen, verursacht sekundäre Verletzungen (6, 33).

1.5 Schäden auf zellulärer Ebene

Die im Folgenden beschriebenen Schäden der Elektroporation und Elektrodenaturierung spielen sich auf zellulärer Ebene ab und sind von nicht-thermischem Schädigungsmuster (5). Sie geschehen unmittelbar nach Veränderung des transmembranen Potentials in Folge des Stromflusses (5). Das Auftreten von Rhabdomyolyse und die Freisetzung von Myoglobin können durch diese Mechanismen erklärt werden (5).

1.5.1 Elektroporation, Membranlyse

Elektroporation bezeichnet den Verlust der Semipermeabilität von Zellmembranen. Wenn Zellmembranen durch ein elektrisches Feld einem transmembranen Potential von mehr als 800 Volt ausgesetzt werden, kommt es zu einer reversiblen Durchlöcherung (5,7). Dabei werden polare Wassermoleküle in intermolekulare Spalten getrieben. Ist die elektrische Spannung groß genug, vergrößern sich diese Poren und fusionieren.

Dies führt zur Zerstörung der Zellmembran. Eine Reduktion des membranösen Widerstandes ist die Folge. Dieser verhindert normalerweise den Stromfluss durch eine Zelle und ist deutlich höher als der von intra- und extrazellulärer Flüssigkeit. Mit Reduktion dieses Widerstandes kommt es zur Erleichterung des Stromflusses (erleichterte Bahnung) durch Membranauflösung (5). Es folgt die Ausbildung eines zellulären Ödems durch Zustrom von Wasser (6). Eventuell kommt es zum Untergang der betroffenen Zellen (6). Die Elektroporation kann Verletzungen in Bereichen erklären, die in einiger Entfernung des Eintrittspunktes auftreten. Der Ausprägungsgrad der Elektroporation ist abhängig von Stromstärke, Pulsdauer und Frequenz des Stroms (5).

1.5.2 Elektrodenaturierung

Als Elektrodenaturierung bezeichnet man die Veränderung der Aminosäurestruktur durch elektrischen Strom. Dies hat zur Folge, dass Rezeptor- und Signalübertragung in ihrer Funktion gestört sind. Ein weiterer Effekt ist die Schädigung der Zellmembran (5).

1.6 Wirkung auf das kardiale System

Als erregbare Strukturen besitzen Herzmuskelfasern ein Ruhepotential, welches bei etwa -90mV liegt. Es handelt sich hauptsächlich um ein K^+-Potential, welches auf der spezifischen Kalium-Leitfähigkeit der Zellmembran basiert. Durch überschwellige elektrische Reize, wie sie im autonomen Erregungsbildungssystem des Herzen selbst entstehen, kommt es durch eine kurzzeitige Erhöhung der Natriumleitfähigkeit der Zellmembran, mit raschem Natriumeinstrom in die Muskelzellen, zum Aktionspotential mit Umpolarisation auf +30mV. Dies hat die Kontraktion der Herzmuskelzelle zur Folge. Da Herzmuskelzellen ein funktionelles Synzytium bilden, wird die Erregung, und somit Kontraktion nach dem Alles-oder-nichts-Gesetz, auf alle noch nicht erregten Herzmuskelzellen ohne Dekrement, d.h. ohne Erregungsverlust mit konstant bleibender Erregung, fortgeleitet. Die sich dem Aktionspotential anschließende Repolarisationsphase ist in 3 Abschnitte unterteilt. Auf eine erste kurze Repolarisation folgt die für Herzmuskelzellen charakteristische langandauernde Plateauphase, bevor die abschließende Repolarisation zum Ruhepotential erfolgt. An der Ausbildung des

Plateaus sind vor allem eine verzögert einsetzende und langsam abklingende Öffnung von Calcium-Kanälen, sowie eine verminderte Kalium-Leitfähigkeit beteiligt. Die abschließende Repolarisation ist hauptsächlich gekennzeichnet durch eine Abnahme der Calcium-Leitfähigkeit, sowie das verzögerte Öffnen einer weiteren Population von Kalium-Kanälen und der Wiederanstieg der Ruhe-Kalium-Leitfähigkeit. Vom Aufstrich des Aktionspotentials bis zum Ende der Plateauphase befinden sich die Herzmuskelzellen in der absoluten Refraktärperiode und sind durch keinen Reiz erneut erregbar. In der sich anschließenden relativen Refraktärperiode kehrt die Erregbarkeit zurück. In dieser Phase kann ein Aktionspotential umso früher ausgelöst werden, je stärker der Reiz ist. Durch die lange Refraktärperiode wird die Herzmuskelzelle vor einer zu schnellen Neuerregung geschützt und ein Kreisen der Erregung verhindert. In dieser letzten Phase der Repolarisation jedoch, ist ein Teil des Myokards bereits wieder erregbar, während der andere Teil noch absolut refraktär, also unerregbar ist. Kommt es in dieser vulnerablen Phase zu dem Einfall einer elektrischen Erregung, beispielsweise einem Stromschlag, kann es dazu kommen, dass frühzeitig ein Aktionspotential ausgelöst wird. Ein Kreisen der Erregung ist nun möglich, es kann zum Kammerflimmern, und in der Folge zum kardialen Pumpversagen kommen (3).

Aufgrund der Erregbarkeit des Myokards, und durch das Vorhandensein elektrisch leitender Strukturen, ist das Herz ein durch Strom stark gefährdetes Organ (39). Dabei kann der Stromfluss zur Ausbildung myokardialer Nekrosen, mit Ausbildung arrhythmogener Foki führen oder aber direkt das Auftreten jeglicher Arten (7) von Herzrhythmusstörungen bewirken (39). Asystolie und Kammerflimmern sind hierbei die am meisten gefürchteten Herzrhythmusstörungen (39). Niederspannung führt durch direkte Stimulation der Myofibrillen und Zellen des Reizbildungszentrums hauptsächlich zu Vorhof- oder Kammerflimmern (1, 6, 39), während Hochspannung, durch die gleichzeitige Depolarisation aller Herzmuskelzellen (38), eher das Auftreten einer Asystolie bewirken kann (6, 8). Weitere Ursachen für die Entstehung von Herzrhythmusstörungen sind Verschiebungen der Na^+-K^+-ATPase-Konzentration und Veränderungen der Permeabilität myokardialer Zellen (39).

Neben Kammerflimmern und Asystolie werden auch früh nach dem Ereignis auftretende Arrhythmien, wie Extrasystolen, Sinustachykardie, Sinusbradykardie und Vorhofflimmern, beschrieben (6). Diese Veränderungen sind nur von kurzer Dauer und nicht lebensbedrohlich (6).

Über eine Kontraktion der Gefäßmuskulatur kann es zusätzlich zur Ausbildung von Koronarspasmen mit der Folge der akuten kardialen Ischämie kommen (16). Dies kann wiederrum Arrhythmien auslösen. Sind bereits Stenosen vorhanden, steigt die Gefahr der Ischämie, weshalb Patienten mit kardialen Vorerkrankungen einer größeren Gefahr unterliegen, durch den Stromfluss Schaden zu nehmen.

1.7 Empfehlungen und bisherige Studien

Wie sieht nun die optimale Versorgung von Patienten nach einem Stromunfall aus? Die derzeit gültige Empfehlung des Europäischen Rates für Wiederbelebung (European Resuscitation Council, ERC) aus dem Jahre 2010 ist, nur Patienten zu überwachen, die nach dem Unfall kardiopulmonale Auffälligkeiten aufwiesen, bewusstlos waren, EKG Veränderungen boten oder Weichteilverletzungen, sowie Verbrennungen erlitten haben (20). Diese Empfehlung wird durch einige Studien untermauert (7, 15, 29).

Viele, meist ältere Studien, kommen jedoch zu dem Ergebnis, eine zum Teil mehrtätige Überwachung von Stromunfallpatienten sei indiziert (6, 11, 12, 17, 30).
Insgesamt gesehen, sind die Richtlinien und Empfehlungen sehr uneinheitlich, was zur Verunsicherung der Ärzte im Umgang mit diesen Patienten führt.

1.8 Versorgung von Stromunfall-Patienten in Deutschland

Um eine kosteneffiziente und gleichzeitig sichere Versorgung von Stromunfall-Patienten zu gewährleisten, brauchen wir Daten, die die Häufigkeit des Auftretens verzögerter lebensbedrohlicher Arrhythmien, bzw. das Fehlen solcher, belegen und die Formulierung standardisierter Leitlinien und Handlungsanweisungen erlauben.
Aktuell besteht das Problem, dass Ärzte aufgrund der spärlichen Datenlage zu diesem Thema, und durch uneinheitliche Behandlungsstrategien im Umgang mit diesen Patienten, stark verunsichert werden. Dies führt in der Regel dazu, dass Patienten, die eigentlich entlassen werden könnten, „vorsichtshalber“ für bis zu 24 Stunden monitorüberwacht werden. Grund dafür ist die Befürchtung, der Patient könnte durch spät auftretende lebensbedrohliche Arrhythmien Schaden nehmen. Bereits existierende

Empfehlungen, beschwerdefreie Patienten mit normalem EKG in die häusliche Umgebung zu entlassen, werden aus diesem Grund häufig nicht befolgt. Zudem stiften Case Reports, in denen das Auftreten von spät auftretenden lebensbedrohlichen Arrhythmien nach einem freien Intervall beschrieben werden, anhand derer jedoch kein Kausalzusammenhang zum Unfallgeschehen belegt werden kann, weitere Verwirrung. So werden zum Beispiel in einer Veröffentlichung von Jensen et al. zu diesem Thema 3 Case Reports beschrieben (18). Bei allen drei Patienten traten nach einem freien Intervall von 8 bis 12 Stunden lebensbedrohliche Arrhythmien auf. Auf diese Case Reports wird im Verlauf noch eingegangen.

Die Folge fehlender Behandlungsstrategien und verunsichernder Case Reports ist, dass eine große Zahl Patienten unnötig stationär überwacht wird, was enorme Kosten verursacht. So veranschaulicht eine Analyse der Chirurgischen Universitätsklinik Lübeck folgende Kostenkorrelation: die Betriebskosten eines normalen Klinikbettes liegen bei ca. 200 Euro pro Tag. Die Kosten für ein Bett der Intermediate Care Station betragen bereits ca. 450 Euro pro Tag (bei 6 Betten) und ein Intensivbett kostet pro Tag im Durchschnitt 1400 Euro pro Tag (bei 12 Betten) (34). Bei einigen Krankenhäusern beansprucht der Betrieb der Intensivmedizin bis zu 30% des Gesamtbudgets des Krankenhauses (34). Belegt ein Stromunfallpatient ein Intensivbett, wird dieses einem anderen Patienten nicht zur Verfügung stehen.

Neben dem wirtschaftlichen Schaden sind auch die Folgen für den Patienten zu berücksichtigen. Dieser ist durch den Aufenthalt im Krankenhaus der Gefahr einer nosokomialen Infektion ausgesetzt. Zum anderen kommt es durch die Überwachung am Monitor, mit kontinuierlicher Ableitung der Herzaktionen, zu einer Dramatisierung, und nicht angemessenen Verunsicherung des Patienten. Eventuell muss eine Krankmeldung erfolgen.

Um standardisierte Leitlinien entwickeln zu können, müssen empirische Daten vorliegen, die als Evidenz für oder gegen eine standardisierte Monitorüberwachung von Patienten nach Stromunfall genutzt werden können. Die vorliegende Arbeit soll die Evidenzlage durch die Analyse eines großen Datensatzes von Patienten mit Stromunfall unterstützen.

1.9. Fragestellung

Ziel dieser Arbeit ist es zu untersuchen, ob und wie häufig bei Patienten, die sich nach einem Stromunfall im Krankenhaus vorstellen, verzögerte kardiale Arrhythmien auftreten, um auf der Grundlage dieser Daten ein evidenzbasiertes, standardisiertes Verfahren für die Behandlung von Patienten mit Stromunfall herleiten zu können.

a.) primäre Fragestellung

Wie häufig entwickeln Patienten, die nach einem Stromunfall in einem Krankenhaus vorstellig werden, im Krankheitsverlauf lebensbedrohliche Arrhythmien?

b.) sekundäre Fragestellung

Wie sind Patienten, die mit einem Stromunfall im Krankenhaus vorstellig werden, charakterisiert?

2 MATERIAL UND METHODE

2.1 Patientenkollektiv

Diese Arbeit ist eine retrospektive Auswertung von krankheitsbezogenen Sekundärdaten aller Patienten, die mit der Hauptkrankenhausdiagnose T75.4 (Schäden durch elektrischen Strom), seit Beginn der elektronischen Datenerfassung im Zeitraum vom 01.01.2001 bis einschließlich 31.12.2008 stationär in die Charité, Campus Virchow Klinikum, aufgenommen wurden. Die Identifikation der Patienten erfolgte anhand der ICD-10-Nummer T75.4 (Schäden durch elektrischen Strom) aus dem Krankenhausinformationssystem KIS (MedVision von 01.01.2001 bis 31.12.2004) und SAP (von 01.01.2005 bis 31.12.2008). Von der IT-Abteilung der Charité wurden die entsprechenden Patienten aus dem KIS abgefragt. Die so erstellte Patientenliste umfasst 268 Patienten und beinhaltet neben Name und Vorname, Geburtsdatum auch Fallnummer, Aufnahme- und Entlassungsdatum des jeweiligen Patienten.

Der Studienbeginn ergab sich, weil erst seit dem 01.01.2001 eine elektronische Erfassung der Diagnosen im KIS durchgeführt wird.

Die Patientensuche in 2 Patientendatenbanken erklärt sich aus der Tatsache, dass am 01.01.2005 das zuvor verwendete System MedVision von SAP abgelöst wurde und Patientendaten bis einschließlich 31.12.2004 in MedVision, ab dem 01.01.2005 in SAP zu finden sind.

Das auszuwertende Datenmaterial lag in Form von Patientenakten im Archiv des Campus Virchow Klinikums der Charité vor. Da es außer der ICD Nummer keine weiteren Selektionskriterien gab, wurden unabhängig von Alter und Geschlecht, alle stationären Patienten im angegebenen Zeitraum erfasst. Eine Kontaktaufnahme mit den betroffenen Patienten oder deren Angehörigen fand nicht statt.

Da es sich hierbei um eine interne Datenauswertung innerhalb der Charité handelt, erforderte die Studie kein Ethikvotum. Die Studie entspricht allen Anforderungen von ICH-GCP, die Datenschutzbestimmungen wurden strikt eingehalten.

2.2 Dokumentation der Daten

Für die Studie wurde eine Dokumentationstabelle entwickelt, die alle für die Fragestellung relevanten Variablen enthielt (s.7.5), und in die alle direkten und indirekten Daten pseudonymisiert aus den relevanten Dokumenten der Patientenakte standardisiert übertragen wurden.
Direkte Daten sind in diesem Zusammenhang Daten, die direkt statistisch ausgewertet werden können, die indirekten Daten sind Freitextinformationen, die nach einem standardisierten Vorgehen in statistisch auswertbare Variablen transformiert werden.

Primärer Endpunkt der Studie war das Auftreten verzögerter kardialer Arrhythmien nach dem Eintreffen im Krankenhaus bis zur Entlassung der Patienten. Verzögerte kardiale Arrhythmien wurden definiert als behandlungsbedürftige Herzrhythmusstörungen bei Patienten, die unmittelbar nach dem Unfallereignis keine Herzrhythmusstörungen aufwiesen, bzw. ohne Herzrhythmusstörungen vorstellig wurden.
Da bei vielen Patienten ein kontinuierliches kardiales Rhythmus-Monitoring durchgeführt wurde, das jedoch nicht kontinuierlich dokumentiert wurde, wurde ein fehlender Hinweis auf Herzrhythmusstörungen in den Patientenakten als ein Nichtauftreten gewertet.

2.3 Statistische Auswertung

Die Daten wurden primär in einer Excel-Tabelle dokumentiert und später nach SPSS (Version 20.0) exportiert und dort ausgewertet. Es erfolgte eine rein deskriptive Datenanalyse. Kategoriale Variablen wurden als absolute und relative Häufigkeiten angegeben, kontinuierliche Variablen als Median und Interquartilsabstände (25. und 75. Perzentile).
Es wurden die Daten aller Patienten, sowie altersabhängiger Subgruppen ausgewertet. Hierzu wurden die <18-jährigen Patienten (0 bis einschließlich 17 Jahre) als Kinder und die Gruppe der >18-jährigen Patienten als Erwachsene bezeichnet.

2.4 Referenzbereiche der Laborparameter

Die Laborparameter wurden zunächst als absolute Zahlen in die Dokumentationstabelle eingetragen und entsprechend der auf dem Laborzettel angegebenen Referenzbereiche als normwertig, erhöht oder erniedrigt dokumentiert.

3 ERGEBNISSE

3.1 Patientenkollektiv

Insgesamt wurden im definierten Studienzeitraum 268 Patienten stationär aufgenommen. Das mediane Alter betrug 23 Jahre (25. Perzentile 6 Jahre/ 75. Perzentile 35 Jahre).
Das mediane Alter der Kinder betrug 4 Jahre (25. Perzentile 2 Jahre/75. Perzentile 8 Jahre), das der Erwachsenen 33 Jahre (25. Perzentile 25 Jahre/75. Perzentile 42 Jahre).

Es zeigt sich bei den Stromunfällen eine deutliche Dominanz der Jungen bzw. Männer. Von 268 Patienten waren 191 Patienten männlich. Das entspricht einem Anteil von 71%. Der Anteil der Jungen bei den <18-jährigen Patienten lag bei 64% (n=73), bei den >18-jährigen Patienten lag der Anteil der Männer bei 77% (n=118).

43% (n=115) der Patienten waren zum Zeitpunkt des Unfalls unter 18 Jahre alt. Dementsprechend lag der Anteil der >18-jährigen Patienten bei 57% (n=153).

Folgende Abbildung verdeutlicht die Alters- und Geschlechterverteilung am Tag des Unfalls:

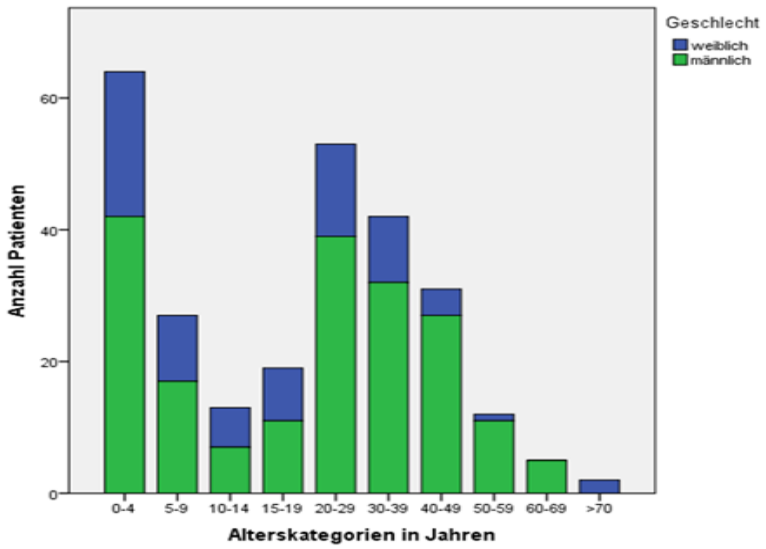

Abb. 5: Alters- und Geschlechterverteilung am Tag des Unfalls

3.2 Stationärer Aufenthalt

48,1% (n=129) der Patienten kamen mit privaten Transportmitteln bzw. zu Fuß in die Rettungsstelle. Unabhängig davon, ob es sich um Kinder oder Erwachsene handelte, war dies die häufigste Art, die Rettungsstelle aufzusuchen.
Mit einem Anteil von 63,9% (n= 169) ereigneten sich die meisten Stromunfälle im privaten Bereich. Lediglich 36,9% (n=99) aller Stromunfälle fielen als Arbeitsunfälle in den Zuständigkeitsbereich der Berufsgenossenschaften.
Bei den <18-jährigen Patienten waren 4,3% (n=5) der Unfälle Arbeitsunfälle.
Bei den >18-jährigen Patienten war der Anteil der Berufsunfälle mit 61,4% (n=94) deutlich höher als der Anteil der häuslichen Unfälle.

Variable	**Alle Patienten (n=268)**	**Kinder (0-17 Jahre) (n=115)**	**Erwachsene (ab 18 Jahre) (n= 153)**
Einbringender Transport			
- Selbst	48,1% (n=129)	47,8% (n=55)	48,4% (n=74)
- NAW	6,3% (n=17)	3,5% (n=4)	8,5% (n=13)
- RTW	24,3% (n=65)	16,5% (n=19)	30,1% (n=46)
- Missing data	17,9% (n=48)	26,1% (n=30)	11,8% (n=18)
- Sonstige	3,0% (n=8)	6,1% (n=7)	0,7% (n=1)
Zuständigkeit der BG	36,9% (n=99)	4,3% (n=5)	61,4% (n=94)
Dauer des stationären Aufenthaltes (hh:mm)	19:50 (15:58/23:28)	18:42 (15:33/23:15)	20:33 (16:11/23:32)

Tabelle 1: Übersicht über einbringende Transportgesellschaft, Zuständigkeit der Berufsgenossenschaft und Dauer des stationären Aufenthaltes

56% aller Patienten wurden auf die Überwachungs- bzw. Notaufnahmestation aufgenommen, die verbleibenden Patienten wurden auf einer peripheren Station mit Monitorbett überwacht.

Betrachtet man die zwei Altersgruppen, wird deutlich, dass es große Unterschiede in Bezug auf die aufnehmende Station gab.
Während in der Gruppe der <18-jährigen Patienten nur 4% (n=5) auf die Überwachungs- und Notaufnahmestation aufgenommen wurden, sind es in der Gruppe der > 18-jährigen Patienten 95% (n=145).

Die mediane Dauer der Krankenhausaufenthalte insgesamt betrug 19:50 Stunden (25.Perzentile 15:58 Stunden /75. Perzentile 23:28 Stunden).
Der kürzeste stationäre Aufenthalt war 2:25 Stunden, der längste Aufenthalt 430:18 Stunden, ca. 18 Tage. Es handelte sich bei diesem Patienten um einen am Unfalltag 17-jährigen Mann, der sich in Folge eines durch den Stromschlag bedingten Sturzereignisses, WK- und Rippenfrakturen sowie einen Pneumothorax zugezogen hatte.
Patienten mit kurzer Aufenthaltsdauer verließen das Krankenhaus oft gegen ärztlichen Rat. Darunter 5 Patienten mit den kürzesten Liegezeiten von 2.25 Stunden bis 6:34 Stunden.

Die mediane Aufenthaltsdauer bei <18-jährigen Patienten betrug 18,4 (15,3/23,5) Stunden mit einem Minimum von 6 Stunden und einem Maximum von 430:18 Stunden.

Die mediane Aufenthaltsdauer bei >18-jährigen Patienten war 20,3 (16,1/23,3) Stunden mit einem Minimum von 2:25 Stunden und einem Maximum von 406:55 Stunden.

Die meisten Patienten wurden über einen Zeitraum von 0–24 Stunden stationär überwacht. Es handelte sich um 83% (n= 222) der Patienten. Einen Überblick über die Dauer der stationären Aufenthalte liefern die Abbildungen 6 bis 8.

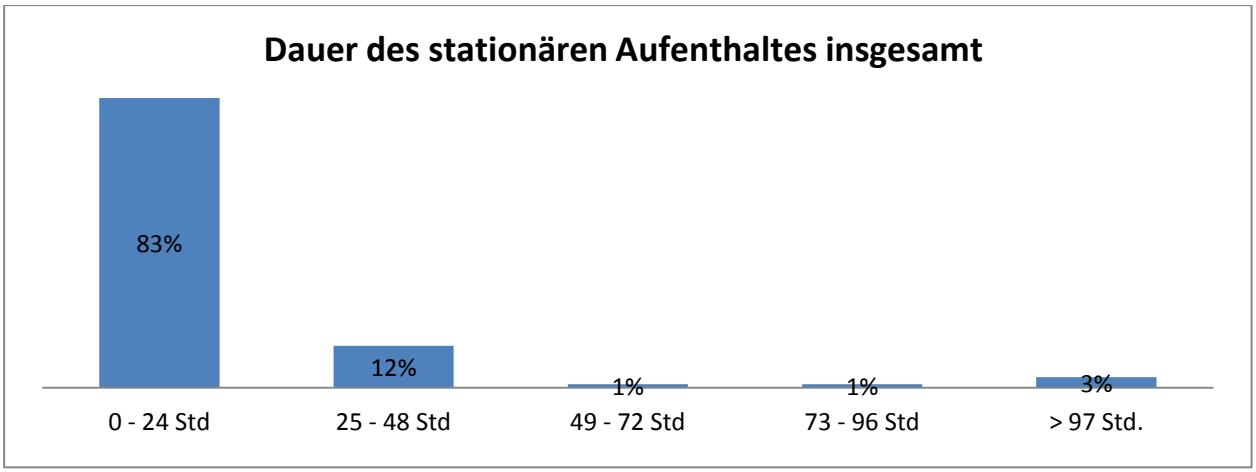

Abb. 6: Dauer des stationären Aufenthaltes insgesamt

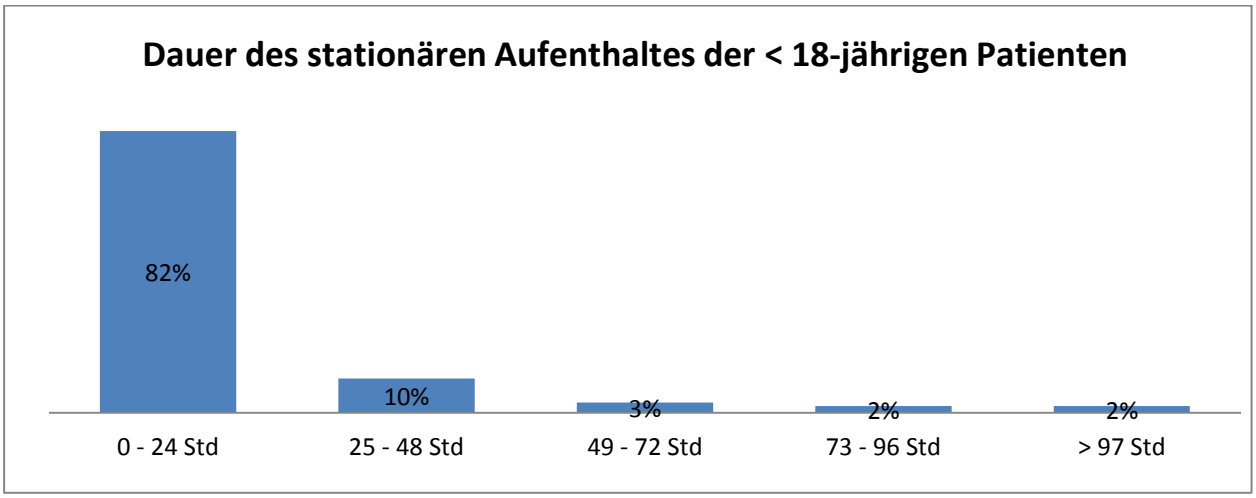

Abb. 7: Dauer des stationären Aufenthaltes der <18-jährigen Patienten

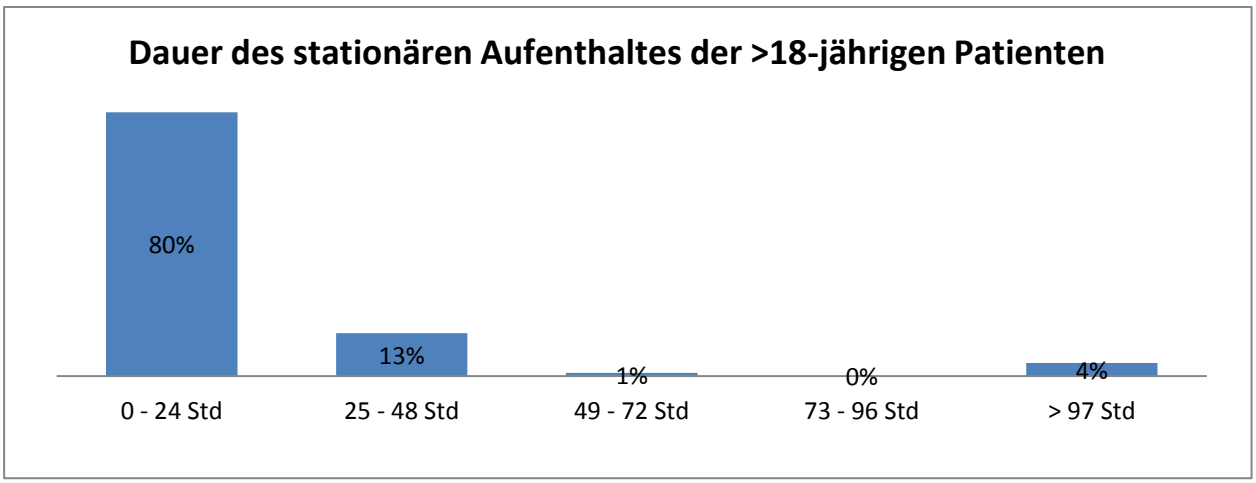

Abb. 8: Dauer des stationären Aufenthaltes der >18-jährigen Patienten

3% der <18-jährigen Patienten und 4% der >18-jährigen Patienten verließen das Krankenhaus gegen ärztlichen Rat. Daraus resultieren die zum Teil geringen Aufenthaltszeiten.

3.3 Vorerkrankungen und Medikamenteneinnahme

Bei 83,2% (n=223) der Patienten waren am Tag des Unfalls keine Vorerkrankungen bekannt. Bei den kardiovaskulären Erkrankungen war die arterielle Hypertonie mit 7,6% (n=18) am häufigsten vertreten. 9,3% (n=25) der Patienten waren zum Zeitpunkt des Unfalls Raucher. In der Gruppe der <18-jährigen Patienten waren die angeborenen Herzfehler mit einer Häufigkeit von 2,6% (n=3) die am häufigsten vorkommende Erkrankung.

Variable	**Alle Patienten (n=268)**	**Kinder (0-17 Jahre) (n=115)**	**Erwachsene (ab 18 Jahre) (n= 153)**
Vorerkrankungen			
- Keine Vorerkrankungen	83,2% (n=223)	89,6% (n= 73)	78,4% (n=118)
- Angeborene Herzfehler	1,1% (n=3)	2,6% (n=3)	-
- Arterielle Hypertonie	7,6% (n=18)	-	13,3% (n=20)
- KHK	0,8% (n=2)	0,9% (n=1)	0,7% (n=1)
- Asthma bronchiale	1,1% (n=3)	1,7% (n=2)	0,7% (n=1)
Kardiovaskuläre Risikofaktoren			
- Nikotinabusus	9,3% (n=25)	-	16,3% (n=25)
- Diabetes mellitus	-	-	-
- Hyperlipoproteinämie	0,7% (n=2)	0,9% (n=1)	0,7% (n=1)
- Positive Familienanamnese	2,6% (n=7)	2,6% (n=3)	2,6% (n=4)

Tabelle 2a: Übersicht über Vorerkrankungen und kardiovaskuläre Risikofaktoren

Variable	Alle Patienten (n=268)	Kinder (0-17 Jahre) (n=115)	Erwachsene (ab 18 Jahre) (n= 153)
Medikamenteneinnahme			
- Keine Medikamenten-einnahme	89,2% (n=239)	96,5% (n=111)	83,7% (n= 128)
- Betablocker	1,9% (n=5)	0,9% (n=1)	2,6% (n=4)
- ACE-Hemmer	1,5% (n=4)	0,9% (n=1)	2,0% (n=3)
- Calciumkanal-Blocker	0,7% (n=2)	-	1,3% (n=2)
- Alpha-2-Agonisten	0,4% (n=1)	-	0,7% (n=1)
- Sartane	1,5% (n=4)	-	2,6% (n=4)
- Diuretika	0,7% (n=2)	-	1,3% (n=2)
- Statine	0,7% (n=2)	-	1,3% (n=2)
- TAA	0,7% (n=2)	0,9% (n=1)	0,7% (n=1)

Tabelle 2b: Übersicht über Medikamenteneinnahme

3.4 Strom- und Unfalldaten

94,4% (n=253) der Stromunfälle ereigneten sich im Niederspannungsbereich, lediglich 3% (n=8) der Unfälle spielten sich im Hochspannungsbereich ab. Es handelte sich zu 100 % um Unfälle mit Wechselstrom.

In 80,6% (n=216) der Fälle konnte Unachtsamkeit bzw. menschliches Versagen als Unfallursache ermittelt werden. Nur 10,8% (n=29) der Unfälle waren auf defekte Geräte oder Materialfehler zurück zu führen.

Insgesamt betrachtet waren Steckdosen und Kabel mit 28,4% (n=76), bzw. 26,5% (n=71) die häufigsten Stromquellen. Bei den <18-jährigen Patienten kamen 51,3% (n=59) der Patienten über eine Steckdose mit Strom in Kontakt, in der Gruppe der >18-jährigen Patienten dominierten Kabel mit 32% (n=49) und Elektrogeräte mit 26,8% (n=41).

Variable	Alle Patienten (n=268)	Kinder (0-17 Jahre) (n=115)	Erwachsene (ab 18 Jahre) (n= 153)
Stromspannung			
- Niederspannungs-unfall	94,4% (n=253)	97,4% (n=112)	92,2% (n=141)
- Spannung unklar	3,0% (n=8)	0,9% (n=1)	4,6% (n=7)
Unfallursache			
- Unachtsamkeit	80,6% (n=216)	85,2% (n=98)	77,1% (n=118)
- Defektes Gerät	10,8% (n= 29)	13,9% (n= 16)	8,5% (n=13)
Stromquelle			
- Keine Angabe	7,8% (n=21)	3,5% (n=4)	11,1% (n=17)
- Steckdose	28,4% (n=76)	51,3% (n=59)	11,1% (n=17)
- Lampe/Glühbirne	15,3% (n=41)	14,8% (n=17)	15,7% (n=24)
- Kabel	26,5% (n=71)	19,1% (n=22)	32,0% (n=49)
- Lichterkette	1,1% (n=3)	2,6% (n=3)	-
- Elektrogerät	18,3% (n=49)	7,0% (n=8)	26,8% (n=41)
- Sonstige	2,6% (n=7)	1,7% (n=2)	3,3% (n=5)

Tabelle 3: Übersicht über Stromspannung, Unfallursache und Stromquelle

Bezüglich der Stromeintrittsstelle zeigte sich mit 94% (n=252) eine klare Dominanz von Armen und Beinen, während die Stromaustrittsstelle in 79,1% (n=212) der Fälle unklar blieb. Mit 12,3% (n=33) ist die obere Extremität jedoch häufigste Stromaustrittsstelle.

Bei 55,6% (n=149) der Patienten zeigten sich an der Stromeintrittsstelle keine Hautveränderungen, bei 33,2% (n=89) waren eine oder mehrere Strommarken erkennbar. Verbrennungen kamen bei 10,1% (n=27) der Patienten vor. In einem Fall waren Strommarke und Verbrennung gemeinsam vorhanden.
Hinsichtlich der Hautveränderungen an der Austrittsstelle zeigten sich bei 91,8% (n=246) der Patienten keine Veränderungen bzw. war die Austrittsstelle unklar. Bei 6,7% (n=18) waren eine oder mehrere Strommarken vorhanden und bei 1,5% (n=4) waren Verbrennungen zu sehen.

Eine Übersicht über die Häufigkeit der Hautveränderungen insgesamt und in den Altersgruppen liefert Tabelle 4:

Variable	Alle Patienten (n=268)	Kinder (0-17 Jahre) (n=115)	Erwachsene (ab 18 Jahre) (n= 153)
Strommarken Eintritt	33,2% (n=89)	46,1% (n= 53)	23,5% (n=36)
- 1 Strommarke	6,7% (n=18)	7,8% (n=9)	5,9% (n=9)
- 2 Strommarken	3,4% (n=9)	4,3% (n=5)	2,6% (n=4)
- =/> 3 Strommarken	0,7% (n=2)	-	1,3% (n=2)
Verbrennungen Eintritt	10,1% (n=27)	14,8% (n=17)	6,5% (n=10)
- I°	1,9% (n=5)	2,6% (n=3)	1,3% (n=2)
-II°	7,1% (n=19)	10,4% (n=12)	4,6% (n=7)
-III°	0,7% (n=2)	1,7% (n=2)	-
-IV°	0,4% (n=1)	-	0,7% (n=1)
Strommarken Austritt	6,7% (n=18)	8,7% (n=10)	5,2% (n=8)
- 1 Strommarke	1,1% (n=3)	0,9% (n=1)	1,3% (n=2)
- 2 Strommarken	-	-	-
- =/>3 Strommarken	-	-	-
Verbrennungen Austritt	1,5% (n=4)	-	2,6% (n=4)
- I°	-	-	-
- II°	0,7% (n=2)	-	1,3% (n=2)
- III°	-	-	-
- IV°	0,7% (n=2)	-	1,3% (n=2)

Tabelle 4: Übersicht über Hautveränderungen an Stromeintritts- und Stromaustrittsstelle

Betrachtet man die unmittelbaren Unfallfolgen am Unfallort, so zeigte sich, dass 99% der Unfälle für die Betroffenen ohne akute kardiovaskuläre Folgen blieben. Bei 1% der Patienten (n = 2) kam es zu Bewusstseinsverlust, einer dieser Patienten zeigte als unmittelbare Stromschlagfolge Kammerflimmern und war reanimations- und beatmungspflichtig.

Bei 4,1% (n=11) der Patienten kam es zum Auftreten von Begleitverletzungen, meist in Folge von Stürzen. Daher handelt es sich in der Regel um Prellungen/Verstauchungen (n= 3), Luxationen (n = 2) und Frakturen (n = 3).

In der Gruppe der >18-jährigen Patienten kam es im Rahmen des Unfalls bei 5,9% (n=9) der Patienten zum Auftreten von Begleitverletzungen. Es handelte sich um folgende Verletzungen:

- 1 Schulterluxation
- 1 Wirbelkörperfraktur
- 1 Calcaneusfraktur
- 1 Schädel-Hirntrauma I°
- 3 Prellungen oder Verstauchungen
- 1 Keratitis photoelectrica
- 1 Schädel-Hirntrauma I° in Kombination mit einer Distorsion der Halswirbelsäule

In der Gruppe der <18-jährigen Patienten traten bei 2 Patienten Begleitverletzungen auf. Es handelte sich um eine Schulterluxation sowie eine Wirbelkörper- und Rippenfraktur mit Pneumothorax.

3.5 Labor

Bei 78% (n=209) der Patienten wurde in der Rettungsstelle Blut abgenommen. Für die vorliegende Analyse wurden die Parameter Creatin-Kinase, Myoglobin, Troponin T, sowie Elektrolyte (Na, K), C-reaktives Protein (CRP), Schilddrüsenwerte und das Blutbild bestimmt. Eine Kontrolle der Parameter im klinischen Verlauf erfolgte bei 38% (n=102) der Patienten.

Bei 56% (n=64) der <18-jährigen Patienten und bei 94% (n=144) der >18-jährigen Patienten erfolgte eine Blutentnahme bei Aufnahme.
Eine Laborkontrolle wurde bei 9% (n=10) der <18-jährigen Patienten und bei 60% (n=92) der >18-jährigen Patienten durchgeführt.

Eine Erhöhung der Creatin-Kinase bei Aufnahme fand sich bei insgesamt 18,7% (n= 50) der Patienten. Betrachtet man die Verteilung auf die Altersgruppen, so erkennt man, dass 8,6% (n=10) der <18-jährigen Patienten und 26,1% (n=40) der >18-jährigen Patienten eine CK-Erhöhung boten.
In der Laborkontrolle waren die Werte rückläufig. Insgesamt gesehen waren nur bei 6,7% (n=18) weiterhin erhöhte CK-Werte messbar, bei 2 Patienten aus der Gruppe der <18-Jährigen und 16 Patienten aus der Gruppe der >18-Jährigen.

Bei 1,9% (n=5) der Patienten waren erhöhte Myoglobin-Werte und bei 0,7% (n=2) erhöhte Troponin T-Werte messbar. Und zwar ausschließlich in der Gruppe der >18-jährigen Patienten.

Bei den 2 Patienten mit erhöhten Troponin T-Werten handelte es sich zum einen um einen am Unfalltag 40-jährigen Patienten, bei dem bei Aufnahme ein Troponin T-Wert von 0,21 µg/l (Normbereich <0,01 µg/l) gemessen wurde. CK, Myoglobin, AST und Kreatinin waren bei diesem Patienten im Normbereich. Vorerkrankungen und Medikamenteneinnahme wurden verneint. In der am Folgetag durchgeführten Laborkontrolle war der Troponin T-Wert im Normbereich.

Bei dem anderen Patienten handelt es sich um einen am Unfalltag 33-jährigen Mann, der bei der Reparatur eines an das Stromnetz angeschlossenen Toasters einen Stromschlag mit 220 Volt Wechselstrom (Haushaltsstrom) erlitt und unmittelbar mit Kammerflimmern reanimationspflichtig wurde. Neben der Erhöhung des Troponin T-Wertes auf 0,48 µg/l (Normbereich <0,01µg/l), lag bei Aufnahme die Erhöhung der folgenden Laborparameter vor:
CK 275 U/l (Normwert <171 U/l), CK-MB 96 U/l (Normwert <24 U/l), Myoglobin 677 µg/l (Normwert <70 µg/l), AST 200 U/l (Normwert <50 U/l). An Vorerkrankungen sei eine arterielle Hypertonie bekannt, eine Medikamenteneinnahme diesbezüglich wurde verneint. An der Stromeintrittsstelle im Bereich der Hand zeigten sich 2 Strommarken. Die Stromaustrittsstelle war unbekannt.

Der einzige mit Kammerflimmern reanimationspflichtige Patient, ein am Unfalltag 33-jähriger Mann, der bei der Reparatur eines ans Stromnetz angeschlossenen Toasters einen Stromschlag erlitt (220 Volt Wechselstrom, Haushaltsstrom), kam unmittelbar

nach dem Stromschlag in diese lebensbedrohliche Lage. Im weiteren Verlauf entwickelte er keine weiteren Arrhythmien. In der Laborkontrolle waren die genannten Laborparameter nur bei diesem Patienten erhöht.

3.6 Aufnahme-EKG und EKG-Kontrolle

Bei 97,8% (n=262) der Patienten wurde ein Aufnahme-EKG abgeleitet, bei 61,2% (n= 164) eine EKG-Kontrolle durchgeführt. Betrachtet man die unterschiedlichen Altersgruppen, so fällt auf, dass in der Gruppe der <18-jährigen Patienten in 95,6% (n=110) der Fälle ein Aufnahme-EKG abgeleitet wurde, aber nur in 40% (n=46) der Fälle eine EKG-Kontrolle erfolgte. Bei den >18-jährigen Patienten wurde in 98,6% (n=151) der Fälle ein Aufnahme-EKG angefertigt und in 77% (n= 118) eine EKG-Kontrolle.

Bei 4% (n=12) der Patienten gab es bezüglich der Erregungsbildung und Erregungsleitung Auffälligkeiten im Aufnahme-EKG. Bei 1,1% (n=3) der Patienten waren vereinzelt einfallende VES erkennbar, bei 2,2% (n=6) der Patienten vereinzelt einfallende SVES und bei 1,1% (n=3) ein AV-Block I°.

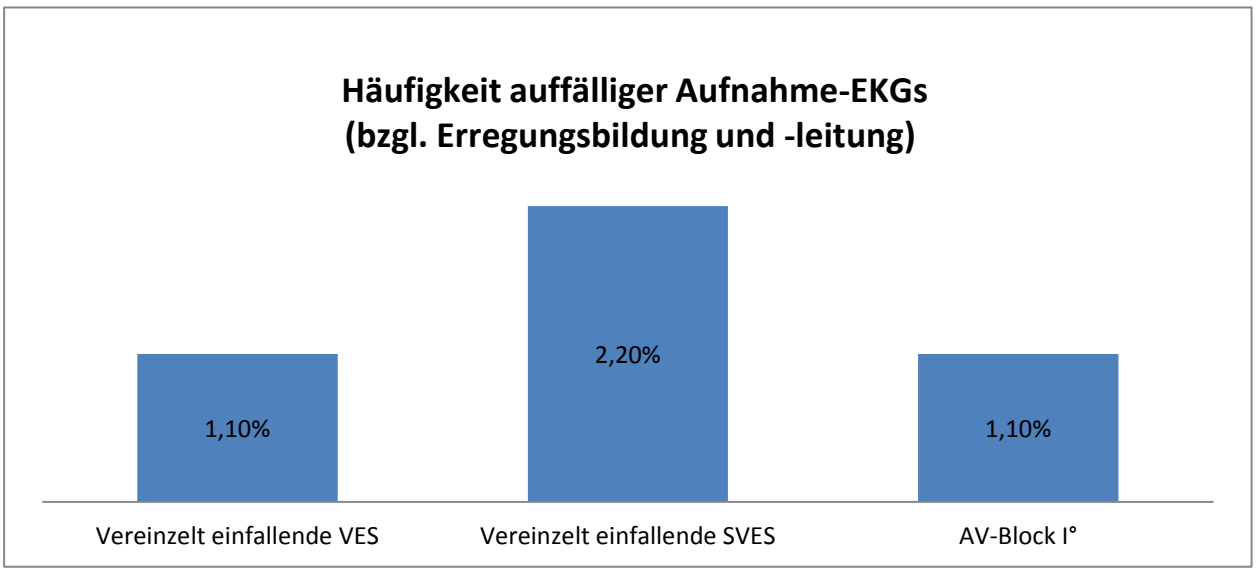

Abb. 9: Häufigkeit auffälliger Aufnahme-EKGs (bzgl. Erregungsbildung und -leitung)

Bei 1,1% (n=3) der Kontroll-EKGs zeigten sich Veränderungen zum Aufnahme-EKG. Es handelte sich um neu aufgetretene, vereinzelt einfallende VES und SVES sowie VES Couplets und einen neu aufgetretenen inkompletten Rechtsschenkelblock.
Zwei der drei veränderten EKGs finden sich in der in der Gruppe der <18 jährigen Patienten.
Es handelt sich um einen 5 Jahre alten Jungen, der vereinzelt auftretende SVES und einen zuvor nicht ableitbaren inkompletten Rechtsschenkenblock bot. Dieser Junge wurde mit einem angeborenen Herzfehler (ASD) geboren.
Bei dem anderen Patienten handelt es sich um einen 15 Jahre alten Jungen mit neu aufgetretenen vereinzelten SVES, vereinzelten VES und VES Couplets, der ebenfalls mit einem Herzfehler (Transposition der großen Gefäße, mit Z.n. Mustard-OP) geboren wurde.

3.7 Risikopatienten

Die Kohorte umfasst Patienten mit bestimmten Risikofaktoren, bei denen nach ERC-Kriterien ein kardiales Monitoring empfohlen wird. Dabei handelte es sich um 3 Patienten, bei denen es initial zu Bewusstlosigkeit kam, einer davon mit Kreislaufstillstand. 26% (n=70) der Patienten zeigten leichte EKG-Veränderungen oder Herzrhythmusstörungen. 9,3% (n=25) der Patienten hatten Weichteilverletzungen sowie Verbrennungen, und 2 Patienten zeigten bei Aufnahme erhöhte Troponin T-Werte.
Zudem erlitten 3% (n=8) Patienten einen Unfall mit Hochspannung.

3.8 Monitoring

Eine Monitorüberwachung erfolgte bei 100% der Patienten. Bei 99,6% (n=267) der Patienten waren keine Auffälligkeiten zu verzeichnen. Lediglich ein Patient zeigte im Verlauf der Aufzeichnung eine Sinusbradykardie von 51 Schlägen/Minute. Es handelte sich um den bereits erwähnten 15-jährigen Jungen, bei dem eine Transposition der großen Gefäße vorlag. Keiner der 268 Patienten entwickelte während des initialen Krankenhausaufenthaltes eine behandlungsbedürftige Arrhythmie.

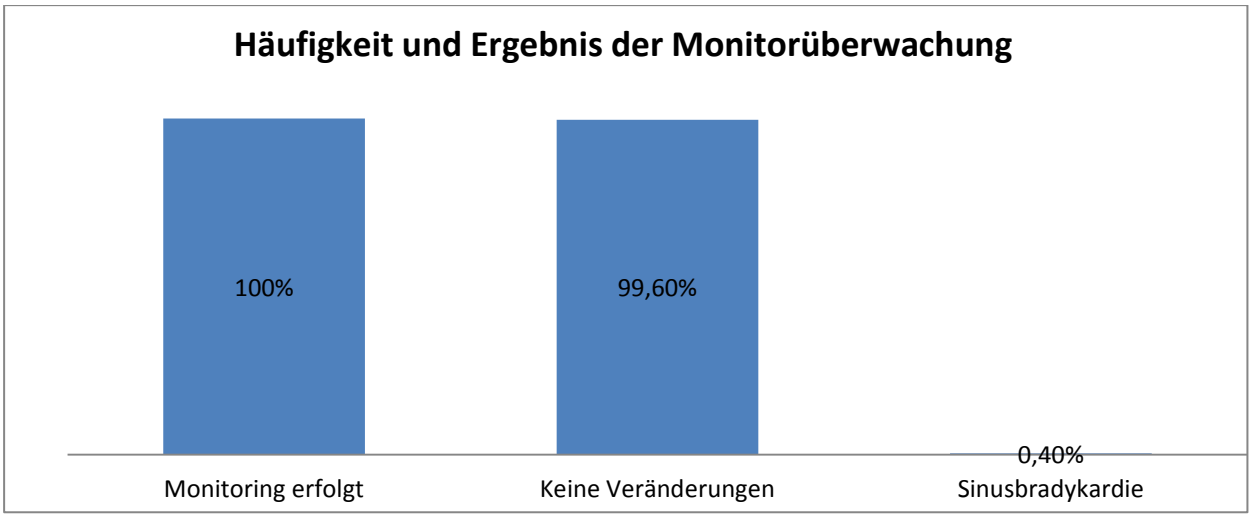

Abb. 10: Häufigkeit und Ergebnis der Monitorüberwachung

4 DISKUSSION

4.1 Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse

Diese Arbeit befasst sich mit der Frage nach der Bedeutung einer mehrstündigen Monitorüberwachung von Patienten nach einem Stromunfall.
Bei keinem der 268 Patienten, die im definierten Beobachtungszeitraum nach einem Stromunfall stationär aufgenommen wurden, traten behandlungsbedürftige kardiale Arrhythmien auf. Dabei waren in unserer Kohorte alle von der ERC definierten Risikofaktoren, die ein kardiales Monitoring erfordern, vorhanden.

4.2 Publikationen zu verzögerten Arrhythmien

Diese Studie war notwendig, weil es eine große Unsicherheit der Ärzte im Umgang mit diesen Patienten gibt. Dies ist die Folge uneinheitlicher Empfehlungen zum medizinischen Procedere in der Literatur und nicht vorhandener Behandlungsstrategien. Zudem führen Case Reports, in denen das Auftreten lebensbedrohlicher Arrhythmien nach einem freien Intervall beschrieben werden dazu, dass Patienten vorsichtshalber für bis zu 24 Stunden stationär monitorüberwacht werden.

Jensen et al. (18) veröffentlichten zu diesem Thema 1987 3 Case Reports von Patienten, die einen Stromunfall mit transthorakalem Stromfluss erlitten hatten. Bei allen Patienten traten nach einem freien Intervall von 8-12 Stunden lebensbedrohliche Herzrhythmusstörungen auf. Es handelt sich um folgende Kasus:

Patient 1, ein 43-jähriger Elektriker, dem ein Hand-zu-Hand-Stromfluss mit 3000 Volt Gleichstrom widerfahren ist, bricht etwa 12 Stunden nach dem Unfallereignis beim Fußballspielen bewusstlos zusammen, wird reanimiert und in das lokale Krankenhaus eingeliefert. Im dort abgeleiteten EKG zeigt sich Kammerflimmern und es erfolgt eine Defibrillation, woraufhin sich ein Sinusrhythmus einstellt. 6 Tage nach dem Ereignis tritt erneut Kammerflimmern auf, eine Monitorüberwachung hat in dieser Zeit nicht stattgefunden. Mittels Defibrillation erfolgte die Konversion in einen Sinusrhythmus. 6 Monate später wird der Patient beim Radfahren bewusstlos und mit Kammerflimmern

erneut reanimationspflichtig. Echokardiographie und Koronarangiographie ergaben keine pathologischen Befunde. Im Belastungs-EKG war der Patient bis 300 Watt über 18 Minuten belastbar, bis körperliche Erschöpfung eintrat. Nach dem Test kam es zum Auftreten ventrikulärer Arrhythmien mit Frequenzen bis 210 Schlägen/Minute und einer Dauer von 54 Sekunden. Aus der ventrikulären Arrhythmie entwickelte sich Kammerflimmern, woraufhin eine weitere Defibrillation notwendig wurde. Linksventrikulär entnommene Myokardbiopsien zeigten Myokardfibrosen. Es wurde eine Therapie mit Sotalol begonnen, unter der keine weiteren Episoden von Kammerflimmern auftraten.

Patient 2, eine 43-jährige Frau, die ebenfalls einen Hand-zu-Hand-Stromfluss mit 380 Volt Wechselspannung erlitten hat, beklagte etwa 8 Stunden nach dem Unfallereignis Schwindel und Herzklopfen. Trotz täglicher Attacken suchte die Patientin erst 2 Monate später einen Arzt auf. Das Langzeit-EKG zeigte etwa 2 Minuten andauernde Episoden ventrikulärer Tachykardien mit Frequenzen um 170 Schlägen/Minuten, in zeitlichem Zusammenhang mit der beschriebenen Symptomatik auftretend. Belastung-EKG und Koronarangiographie ergaben keine pathologischen Befunde. Erst eine linksventrikuläre Myokardbiopsie zeigte fokale myokardiale Fibrosen. Die Patientin wurde mit gutem Erfolg über einen Zeitraum von 6 Monaten mit Mexiletin behandelt.

Patient 3, ein 34-jährigen Mann, der einen Stromfluss von der linken Hand zur rechten Schulter mit 220 Volt Wechselstrom erlitten hat, beklagte 12 Stunden nach dem Ereignis Brustschmerzen und Herzklopfen und suchte eine Rettungsstelle auf. Im Monitoring waren ventrikuläre Extrasystolen mit stark variierenden Intervallen erkennbar. In den darauf folgen Tagen entwickelten sich transiente ST-Streckensenkungen und T-Negativierungen in I, II, III und V4-6. Laborwerte und Belastungs-EKG waren unauffällig. Auffällig war ein Sistieren der Extrasystolen bei Herzfrequenzen über 120 Schlägen/Minute. Myokard-Szintigraphie und Echokardiographie zeigten keine pathologischen Befunde.
In den nächsten Jahren war die Häufigkeit der ventrikulären Extrasystolen langsam rückläufig, und nach 2 Jahren waren keine ventrikulären Extrasystolen mehr erkennbar (18).

Diese 3 Case Reports scheinen für das Auftreten von lebensbedrohlichen Arrhythmien nach einem freien Intervall zu sprechen, die Kausalität muss jedoch kritisch gesehen werden. Bei keinem der 3 Patienten wurde unmittelbar nach dem Ereignis ein EKG angefertigt. Es ist möglich, dass die Veränderungen bereits in einem unmittelbar nach dem Ereignis abgeleiteten EKG zu sehen gewesen wären, oder sogar bereits zuvor bestanden.

Fatovich et al. (23) berichten über den Fall einer 16-jährigen Patientin, die bereits in der Zeit vor dem Unfall das Vorhandensein von Palpitationen beklagte. Die Patientin bekam einen Stromschlag mit 750 V und erlitt dabei Verbrennungen an beiden Händen. Ein EKG war nicht angefertigt worden. 10 Stunden später wurde die Patientin tot aufgefunden. Der Rechtsmediziner bestätigte eine Arrhythmie als wahrscheinliche Todesursache, konnte aber keinen direkten Zusammenhang zum Unfallereignis erkennen.

Ein Beispiel für einen zu überwachenden Patienten liefern Sharma et al. (21) mit folgendem Kasus: bei einem 24-jährigen Mann mit Kontakt zu 220-240V Wechselspannung wurde 45 Minuten nach dem Unfallereignis ein EKG abgeleitet. Dieses zeigte einen AV-Block I°. 2 Stunden später war ein AV-Block II°, Typ Wenckebach ableitbar, am nächsten Tag zeigte sich ein kompletter AV-Block. 6 Stunden später entwickelte der Patient Kammerflimmern und wurde reanimationspflichtig. In den darauf folgenden 6 Wochen wurde der Patient überwacht und zeigte keine weiteren Auffälligkeiten (21).
Bei diesem Patienten zeigten sich die Auffälligkeiten bereits im initial angefertigten EKG, was anhand des in dieser Studie erarbeiteten Überwachungsalgorithmus bereits eine Indikation zur stationären Monitor-Überwachung darstellt.

In einem Übersichtsartikel von Leibovici et al. (6) von 1995 wird die Wirkung von Strom auf verschiedene Organe und Organsysteme beschrieben und vor den Gefahren des Auftretens ventrikulärer Tachykardien, Kammerflimmern und komplettem AV-Block gewarnt. Dies veranlasst die Autoren dazu, uneingeschränkt die 24-Stunden-Überwachung aller Patienten zu empfehlen. Mit Daten untermauert wird dies nicht.

Die bisher veröffentlichten Berichte über das verspätete Auftreten lebensbedrohlicher Herzrhythmusstörungen nach Stromunfällen sind in ihrer Anzahl so gering, dass ein Kausalitätsnachweis nicht geführt werden kann.

Autoren, Jahr	**Patien-tenzahl**	**Besonderheiten der Studie**	**Auftreten lebens-bedrohlicher Arrhythmien**	**Resultierende Empfehlung**
Jensen et al. (18), 1987	3	Case Reports	3	Monitor-überwachung für 24h
Leibovici et al. (6), 1995		Journal		Monitorüber-wachung für 24h
Bailey et al. (22), 2001	1	Case Report	1	Monitor-überwachung
Fatovich et al. (23), 2007	1	Case Report	1	Monitor-überwachung
Sharma et al. (21), 1990	1	Case Report	1	Monitor-überwachung

Tabelle 5: Publikationen, die eine Monitorüberwachung empfehlen

Dem gegenüber stehen eine Reihe von klinischen Beobachtungsstudien, in denen kein Patient behandlungsbedürftige Arrhythmien entwickelte.

4.3 Ergebnisse klinischer Studien

Zu diesem Thema liegen wenige internationale Studien, mit zum Teil relativ niedrigen Patientenzahlen, vor. Die Ergebnisse entsprechen aber, mit wenigen Ausnahmen, denen dieser Studie (5, 26, 29, 31, 32, 36).

So kam eine australische Studie von Fatovich und Lee (32) an 20 Stromunfallpatienten zu dem Ergebnis, dass eine routinehafte Monitorüberwachung von Patienten mit Kontakt zu Haushaltsstrom nicht indiziert sei, sofern das Aufnahme-EKG normal sei. Für diese Studie wurden retrospektiv die Daten aller Patienten ausgewertet, die im Zeitraum von 1978 bis 1987 auf der Intensivstation des Royal Perth Hospital nach einem Stromunfall stationär überwacht worden sind.
Zudem fand eine Literaturrecherche statt, um bereits existierende Ergebnisse mit den eigenen Ergebnissen zu vergleichen.

In einer Studie von Purdue und Hunt (31) wurden über einen Zeitraum von 32 Monaten Daten von Patienten mit überlebtem Hochspannungsunfall und Aufnahme auf die Verbrennungsstation ausgewertet. Es handelte sich um 48 Patienten. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Zeit zwischen Stromunfall und Ankunft im Krankenhaus gerichtet, insbesondere mit der Frage nach Bewusstlosigkeit, Herzstillstand und Auftreten von Arrhythmien. Alle Patienten sind für mindestens 24 Stunden monitorüberwacht worden. Keiner der Patienten mit normalem Aufnahme-EKG entwickelte lebensbedrohliche Herzrhythmusstörungen und man kam zu dem Ergebnis, dass bei normalem Aufnahme-EKG und Fehlen von Begleitverletzungen keine Indikation zur Monitorüberwachung bestehe.

Raymond M. Fish (29) veröffentlichte im Jahr 2000 eine Zusammenfassung mehrerer Publikationen zu diesem Thema und erarbeitete Empfehlungen für den klinischen Alltag. Er sieht demnach bei normalem Aufnahme-EKG und Fehlen „weiterer akuter Probleme“ keine Indikation zur Monitorüberwachung. Eine Empfehlung zur Monitorüberwachung wurde von Raymond für die folgenden Fälle ausgesprochen:

1. Bewusstseinsverlust
2. Vorhandensein von Herzrhythmusstörungen
3. Auffälliges 12-Kanal-EKG
4. Auffälliger mentaler Status oder Untersuchungsbefund
5. Verbrennungen oder Hautverletzungen, die hämodynamisch wirksam sind

Bailey et al. (28) untersuchten in einem Zeitraum von 4 Jahren (10/2000 bis 11/2004) nur Patienten mit speziellen Risikofaktoren, wie Hand-zu-Hand-Stromfluss, Stromstärke >1000 Volt, Bewusstseinsverlust und Tetanie. Von den 134 Patienten, die in diesem

Zeitraum diese Kriterien erfüllten, wiesen 60 Patienten einen transthorakalen Stromfluss auf, bei 39 Patienten lag ein transthorakaler Stromfluss in Kombination mit einer Tetanie vor, bei 10 Patienten eine isolierte Tetanie und bei weiteren 10 Patienten ein Stromunfall mit > oder =1000 Volt. Bei 15 von 134 Patienten war das initial abgeleitete EKG auffällig. Dennoch entwickelte keiner der 134 Patienten während der 24 stündigen Monitorüberwachung lebensbedrohliche Arrhythmien. So kam man auch hier zu dem Ergebnis, dass bei asymptomatischen Patienten, selbst bei transthorakalem Stromfluss und/oder Tetanie, sowie einem normalen initialen EKG die Monitorüberwachung nach einem elektrischen Unfall mit Stromstärken <1000 Volt und ohne Bewusstseinsverlust nicht indiziert sei.

Blackwell et al. (19) erarbeiteten ein Management-Protokoll, um eine standardisierte Betreuung von Patienten nach Niederstrom-Stromunfall zu ermöglichen. Demnach kann ein beschwerdefreier Patient mit unauffälligem Aufnahme-EKG entlassen werden. Bei auffälligem Aufnahme-EKG, Auftreten von EKG-Veränderungen in der EKG-Kontrolle und/oder Unwohlsein des Patienten, wird zunächst eine 6-stündige Überwachung des Patienten angestrebt. Anschließend kommt es zur erneuten Evaluation von EKG und Allgemeinzustand. Bei unauffälligem EKG und gutem Allgemeinzustand kann die Entlassung des Patienten erfolgen. Bei Fortbestehen der von EKG-Veränderungen oder Beschwerdepersistenz, wird eine Fortsetzung der Monitorüberwachung empfohlen.
Es folgte eine dreijährige Beobachtungsstudie, in die 212 Patienten eingeschlossen wurden. Der Nachbeobachtungszeitraum betrug 4 Jahre. Es erfolgte also die Erfassung kardialer Arrhythmien und zugleich eine Evaluation des neuen Algorithmus. Bei asymptomatischen Patienten ohne EKG-Veränderungen wurde dabei auf eine Krankenhausaufnahme verzichtet, wodurch die Zahl der stationären Aufenthalte drastisch reduziert werden konnte, ohne die Qualität der Patientenversorgung zu reduzierten.

Auf die Studie von Arnoldo et al. (10) möchte ich aufgrund des sehr langen Beobachtungszeitraumes von 20 Jahren, und der damit verbundenen hohen Patientenzahl, genauer eingehen. Arnoldo et al. untersuchten Stromunfallereignisse der Jahre 1982 bis einschließlich 2002. Die Patienten waren im genannten Zeitraum im „Burn Center at Parkland Memorial Hospital“ vorstellig. Ermittelt wurden die Patienten anhand eines Verbrennungsregisters, welches vom Krankenhaus geführt wurde. 2004

wurden die Ergebnisse der Studie veröffentlicht. Insgesamt wurden 700 Stromunfallereignisse ausgewertet. Zu beachten ist jedoch ein nicht unwesentlicher Unterschied zu der hier vorliegenden Studie. In der hier vorliegenden Studie wurden Patienten anhand der Aufnahmediagnose „T 75.4, Schäden durch elektrischen Strom“, unabhängig von spezifischen Beschwerdebildern ermittelt. In der Studie von Arnoldo et al. wurden Patienten erfasst, bei denen es im Rahmen des Unfalls zu einer Verbrennung gekommen war. Patienten ohne Verbrennungszeichen wurden nicht erfasst. Dies spiegelt sich deutlich in den Ergebnissen wider:

263 der 700 Patienten erlitten einen Hochspannungsunfall, 143 Patienten einen Niederspannungsunfall, 277 Patienten kamen über die Entstehung eines Lichtbogens in Kontakt zur Stromquelle und 17 Patienten wurden vom Blitz getroffen. Auffällig ist der hohe Anteil von Patienten mit Hochspannungsunfall (38%) und Lichtbogenentstehung (40%). Dies ist durch eben diese Selektionskriterien zu erklären, da Verbrennungen häufig im Rahmen von Hochspannungsunfällen entstehen, während Niederspannungsunfälle eher einen Effekt auf die Funktion von Atmung und Herz haben. Die „Verdünnung“ durch die hohe Zahl von Niederspannungsunfällen hat nicht stattgefunden, da diese nicht erfasst, und somit nicht ausgewertet wurden. Der Anteil der Hochspannungsunfälle in der hier vorliegenden Studie liegt bei nur 3%.

In der Studie von Arnoldo et al. sind 95,4% der Patienten männlich. In der hier vorliegenden Studie sind es 71%. Dies ist erneut der Tatsache zuzuschreiben, dass eine Verdünnung durch Niederstromunfälle nicht gegeben ist. Männer kommen im Rahmen der Berufsausübung häufiger mit Hochspannung in Berührung. In der Niederspannungsgruppe fanden sich anteilmäßig die meisten Frauen und Kinder.

Als gemeinsames Ergebnis beider Studien konnte ermittelt werden, dass der klassische Stromunfallpatient ein junger Mann ist, das mittlere Alter in der Hochspannungsgruppe der Studie von Arnoldo lag bei 34 Jahren.

Arnoldo et al. beschreiben in ihrer Publikation den Nachweis von Herzrhythmusstörungen in allen Gruppen, mit Ausnahme der Lichtbogenunfälle.

Lediglich für die Gruppe der Hochspannungsunfälle liegen Zahlen vor. 31 Patienten der Hochspannungsgruppe zeigten bei ihrer Aufnahme Arrhythmien, 7 Patienten boten im Verlauf Late-onset-Arrhythmien. Es muss jedoch bedacht werden, dass es sich hier um schwerkranke Patienten handelte und die Autoren räumen ein, dass die Ursache für die Entstehung der Arrhythmien nicht im Unfallereignis zu sehen war, sondern beispielsweise in Elektrolytverschiebungen oder septischen Krankheitsbildern.

Arnoldo et al. sprachen sich für den selektiven Einsatz von kardialem Monitoring aus.

Die Ergebnisse der genannten Studien decken sich mit denen dieser Arbeit. Bei den 268 Patienten, die in 8 Jahren im Campus Virchow Klinikum der Charité nach einem Stromunfall überwacht worden sind, entwickelte im Verlauf des stationären Aufenthaltes nicht ein einziger Patient lebensbedrohliche, behandlungsbedürftige Arrhythmien. Der einzige mit Kammerflimmern reanimationspflichtige Patient, ein am Unfalltag 33-jähriger Mann, der bei der Reparatur eines ans Stromnetz angeschlossenen Toasters einen Stromschlag erlitt (220 Volt Wechselstrom, Haushaltsstrom), kam unmittelbar nach dem Stromschlag in diese lebensbedrohliche Lage. Im weiteren Verlauf entwickelte er keine weiteren Arrhythmien.

Von 3 Patienten, bei denen es initial zu Bewusstlosigkeit kam, wies ein Patient Auffälligkeiten in der EKG-Kontrolle auf. Es ließen sich dort VES Couplets mit vereinzelt einfallenden SVES und eine Bradykardie ableiten. Bei dem Patienten handelte es sich um einen 15-jährigen Jungen, der nach Kontakt zu einem unter Strom stehenden Weidezaun, bewusstlos wurde. Bei diesem Kasus ist jedoch zu berücksichtigen, dass bei dem Jungen ein angeborener Herzfehler (Transposition der großen Gefäße) vorlag, welcher im Kindesalter operativ korrigiert worden war, und dass das Auftreten der Extrasystolen in Zusammenhang mit dieser Grunderkrankung wahrscheinlich ist. Des Weiteren muss der beschriebene Unfallhergang kritisch betrachtet werden. Es ist möglich, dass der Junge infolge einer Bewusstlosigkeit in den Zaun gefallen ist, und der Stromkontakt sekundär zu werten ist.

Bei dem zweiten Patienten mit Bewusstseinsverlust handelte es sich um den bereits erwähnten reanimationspflichtigen Patienten.

Der dritte Patient war ein am Unfalltag 51-jähriger Mann, der aufgrund von Unachtsamkeit bei der Arbeit, Kontakt zu einem Niederstromkabel hatte. Zum Zeitpunkt der Aufnahme bestanden keine Vorerkrankungen. Auffälligkeiten in der Zeit des Monitoring gab es nicht. Die Ursache der Bewusstlosigkeit war nicht eruierbar.

Autoren, Jahr	Patien-tenzahl	Besonderheiten der Studie	Lebensbedr. Arrhythmien	Resultierende Empfehlung
Arrowsmith et al. (36), 1997	145		0	Kein Monitoring bei unauffälligem Aufnahme-EKG und Fehlen von Bewusstlosigkeit
Bailey et al. (28), 2007	120	Auswertung von Patienten mit Risikofaktoren: transthorakaler Stromfluss, Tetanie, Bewusstseins-verlust, Hochspannungs-unfall	0	Kein Monitoring
Purdue et al. (31), 1986	48	Hochspannungs-unfälle	0	Kein Monitoring
Arnoldo et al. (10), 2004	700	Retrospektive Studie über 20 Jahre	0	Selektiver Einsatz von kardialem Monitoring
Blackwell et al. (19), 2002	212	Prospektive Studie über 3 Jahre	0	Kein Monitoring bei unauffälligem Aufnahme-EKG und Fehlen von Bewusstlosigkeit

Tabelle 6: Studien, die den selektiven Einsatz von kardialem Monitoring empfehlen

Abschließend ist zu sagen, dass klinische Studien keinen Zusammenhang zwischen einem Stromunfall und dem späten Auftreten von Arrhythmien erkennen lassen.

4.4 Relevanz für den klinischen Alltag

Die Ergebnisse dieser Arbeit haben eine große Relevanz für den klinischen Alltag. Regelmäßig werden Ärzte in Rettungsstellen und Arztpraxen mit Stromunfallpatienten konfrontiert. Da in der Literatur uneinheitliche Empfehlungen zum medizinischen Procedere existieren, und Case Reports das Auftreten lebensbedrohlicher Arrhythmien beschreiben, resultiert eine große Unsicherheit der Ärzte im Umgang mit diesen Patienten. Dies hat zur Folge, dass viele Patienten stationär monitorüberwacht werden, die in häusliche Umgebung hätten entlassen werden können.
Bei Betriebskosten für ein Bett der Intermediate Care Station von ca. 450 Euro pro Tag (bei 6 Betten) und ca. 1400 Euro pro Tag für ein Intensivbett (bei 12 Betten) (34), verursacht die nicht notwenige stationäre Überwachung dieser Patienten enorme Kosten. Belegt ein Stromunfallpatient ein Intensivbett, wird es einem anderen Patienten nicht zur Verfügung stehen.
Neben dem wirtschaftlichen Schaden, sind die Folgen für den Patienten zu berücksichtigen. Durch den stationären Aufenthalt ist dieser der Gefahr einer nosokomialen Infektion ausgesetzt, insbesondere bei Aufenthalt auf einer intensivmedizinischen Station. Durch die kontinuierliche Monitorüberwachung kommt es zudem zur Dramatisierung und nicht angemessenen Verunsicherung der Patienten. Eventuell muss eine Krankmeldung erfolgen.

Diese Studie leistet einen Beitrag dazu, ein standardisiertes Vorgehen bei Patienten nach Stromunfall zu etablieren und eine effiziente Patientenversorgung, gerade im intensivmedizinischen Bereich, zu erreichen. Medizinisches Equipment wird gezielter eingesetzt, und die medizinische Versorgung kommt den Patienten zu, die sie benötigen.
Man kann anhand der Ergebnisse dieser Studie, unter Einbeziehung der ERC-Kriterien und in Anlehnung an das von Blackwell et al. erarbeitete Management-Protokoll (19), folgende Vorgehensweise empfehlen:

Abb. 11: Standardisiertes Vorgehen bei Patienten nach Stromunfall (in Anlehnung an die Publikation von Blackwell et al. 2002) (19)

*1 sollte ein Vor-EKG verfügbar sein; *2 in Ermangelung prospektiver Daten wird ein Vorgehen angelehnt an das akute Koronarsyndrom empfohlen: 12-Kanal-EKG-Kontrollen, CK und Troponin nach 6 und gegebenenfalls nach 12-24 Stunden

Zunächst sollte eine ausführliche Anamnese und körperliche Untersuchung des Patienten erfolgen. Insbesondere das Vorliegen der ERC-Risikofaktoren wird überprüft (s. Abb.11). Bei Vorliegen von mindestens einem Risikofaktor wird die stationäre Aufnahme und Monitorüberwachung des Patienten empfohlen. Liegt kein Risikofaktor vor, und ist das angefertigte EKG ohne Auffälligkeiten, sowie der Patient beschwerdefrei, so kann der Patient entlassen werden. Bei Nichtvorhandensein von Risikofaktoren, aber auffälligem EKG, wird das kardiale Rhythmusmonitoring für einen Zeitraum von 6 Stunden empfohlen, mit anschließender Neubewertung. Bei Rückbildung der initial bestehenden EKG-Auffälligkeiten und Wohlbefinden wird die Entlassung des Patienten angestrebt. Bei Fortbestehen der EKG-Veränderungen wird die stationäre Aufnahme und Monitorüberwachung des Patienten empfohlen. Bei der stationären Aufnahme und Überwachung des Patienten wird, in Ermangelung

prospektiver Daten, ein Vorgehen entsprechend dem des Akuten Koronarsyndroms empfohlen, mit 12-Kanal-EKG-Kontrollen, Bestimmung von CK und Troponin nach 6 und gegebenenfalls 12-24 Stunden.

4.5 Vor- und Nachteile der gewählten Methodik

Die retrospektive Auswertung krankheitsbezogener Sekundärdaten hat den Vorteil der raschen Verfügbarkeit von Daten. Das Datenmaterial liegt in Form von Patientenakten im Archiv vor, und die entsprechenden Informationen sind ohne großen Aufwand oder Patientenkontakt zu gewinnen.

Da jedoch die Daten primär nicht zu Studienzwecken erhoben wurden, sind sie oft uneinheitlich und mit variierendem Informationsgehalt, der für die Fragestellung nicht immer geeignet ist. Die Qualität der Daten ist vom Engagement des ärztlichen und pflegerischen Personals abhängig und wird beeinflusst von der Bereitschaft zur ausführlichen Anamnese und körperlichen Untersuchung mit anschließender Dokumentation.

Zunehmend werden Abrechnungsdaten der Krankenkassen für medizinische Studien genutzt. Insbesondere seit Einführung der DRGs werden diese Daten durch den medizinischen Dienst der Krankenkassen geprüft und validiert (40). Große Datenmengen stehen somit zur Verfügung, und große Versicherungspopulationen können über lange Zeiträume untersucht werden. Jedoch können sich Kodierungsungenauigkeiten nachteilig auswirken.

Die Identifikation der für die Studie in Frage kommenden Patienten erfolgte über die Hauptkrankenhausdiagnose T 75.4 (Schäden durch elektrischen Strom). Wurde bei Patienten eine andere Hauptkrankenhausdiagnose als die genannte verschlüsselt, etwa weil Begleiterkrankungen, -verletzungen vorlagen, die budgetwirksamer zu verschlüsseln waren, wurden diese Patienten nicht erfasst. Des Weiteren wurden durch die gewählte Methodik ambulant verbliebene Patienten nicht eingeschlossen. Ebenfalls nicht erfasst wurden solche Patienten, die unmittelbar nach dem Stromunfall am Unfallort verstorben sind.

4.6 Limitationen der Studie

Die ausgewerteten Patientendaten wurden im Rahmen der Routineversorgung des Krankenhauses dokumentiert und sind nicht primär zu Studienzwecken erhoben worden. Obwohl die Patientenzahl dieser Studie, gemessen an denen anderer Studien zu diesem Thema, relativ groß ist, reicht die Patientenzahl nicht aus, um verlässliche Aussagen zu eventuell sehr selten verzögert auftretenden Arrhythmien treffen zu können. Diese Studie kann dennoch als ein wichtiger Beitrag zur Erfassung der Evidenz gewertet werden.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Elektrizität ist aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken, und regelmäßig werden Ärzte in Krankenhäusern und Arztpraxen mit Patienten konfrontiert, die einen Stromunfall erlitten haben. Die Versorgung dieser Patienten ist durch nicht vorhandene Leitlinien in diesem Bereich uneinheitlich, und die behandelnden Ärzte sind oft verunsichert und geneigt, eine bis zu 24-stündige Monitorüberwachung zu veranlassen, was enorme Kosten verursacht.

Bisherige Studien gelten aufgrund niedriger Fallzahlen als nicht sehr aussagekräftig. Zudem führen Case Reports, in denen das Auftreten lebensbedrohlicher Arrhythmien nach Stromkontakt beschrieben werden dazu, dass Ärzte diese Patienten vorsichtshalber stationär monitorüberwachen lassen.

Es erschien somit sinnvoll, eine größer angelegte Studie über einen längeren Zeitraum mit höheren Patientenzahlen durchzuführen. Es wurde ein Zeitraum von 8 Jahren definiert und die Akten aller Stromunfallpatienten, die in diesem Zeitraum im Campus Virchow Klinikum der Charité vorstellig waren, ausgewertet. Es handelt sich um 268 Patientenakten.

Dabei interessierte insbesondere die Frage, ob und wie häufig es zum Auftreten lebensbedrohlicher Arrhythmien nach einem freien Intervall gekommen war, und ob die routinemäßig erfolgende Monitorüberwachung der Patienten notwendig sei.

Als Ergebnis zeigte sich, dass kein Patient spät auftretende lebensbedrohliche Arrhythmien entwickelte. Sogar ein junger Mann, der bei der Reparatur seines an das Stromnetz angeschlossenen Toasters einen Stromschlag bekam und unmittelbar mit Kammerflimmern reanimationspflichtig wurde, bot im weiteren Verlauf keine Episode lebensbedrohlicher Arrhythmien.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse formulieren wir die Empfehlung, dass Patienten, die initial nicht bewusstlos oder reanimationspflichtig sind, keine Weichteilverletzungen und Verbrennungen aufweisen, keine EKG-Veränderungen bieten in die häusliche Umgebung entlassen werden können. Dies trägt deutlich zur Optimierung der Patientenversorgung bei. Medizinisches Equipment wird gezielter eingesetzt und die medizinische Versorgung kommt den Patienten zu, die sie benötigen.

6 LITERATUR

1. K.G. Kanz, S. Morath, C. K. Lackner, W. Mutschler. Akutversorgung von Elektrounfällen. MMW-Fortschritte der Medizin, Nr. 14/2002 (144.Jg.) pp. 43-46
2. Homepage des VDE, Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik
3. H. Antoni, Erregungsphysiologie des Menschen. Physiologie des Menschen. Schmidt, Thews, Springer Verlag. 27. Auflage 1997, pp. 472-481
4. Biegelmeier, Kieback, Kiefer, Krefter. Schutz in elektrischen Anlagen, Band 1: Gefahren durch den elektrischen Strom. VDE-Schriftenreihe; 2. Auflage 2003; pp. 201-211
5. T. Muehlberger, C. Krettek, P.M. Vogt. Der Stromunfall. Unfallchirurg 2001; 104: 1122-1127
6. D. Leibovici, J. Shemer, S.C. Shapira. Electrical injuries: current concepts. Elsevier Science ltd. 1995; Injury Vol. 26, No.9, pp. 623-627
7. W. Zschiesche. Stromunfälle am Arbeitsplatz. Gefährdungen, gesundheitliche Auswirkungen, ärztliche Maßnahmen. Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse – BG ETEM, Köln. Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Umweltmedizin 45, 4, 2010; pp 164-169
8. Weber CA, Bryan CL. Electrical injuries. In: Civeta JM, Taylor RW, Kirby RR, eds. Critical care, 2nd Ed.Philadelphia: Lippincott, 1992, pp. 947-950
9. Suttclife Aj. Burn patients. In: Grande CM, ed. Textbook of Trauma, Anaesthesia and Critical Care, St. Louis: Mosby 1993, pp. 596-598
10. Arnoldo, Brett D. MD; Purdue et al.Electrical injuries: A 20-Year Review. Journal of Burn Care & Rehabilitation. Issue: Vol. 25(6), November/ Dezember 2004, pp 479-484
11. Homma S., Gillam LD, Weyman AE. Echocardiographic observations in survivors of acute electrical injury; Chest 1990; 97: 103
12. Xenopoulos N, Movahed A, Hudson P et al. Myocardial injury in electrocution. Am Heart J 1991; 122: 1481
13. Eisenacher-Abelein, Reuchlein. Stationäre Überwachung nach Stromunfall; ASUPraxis Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Umweltmedizin 44, 4, 2009; pp 35-36
14. Robson MC, Murphy RC, Heggers JP (1984), A new explantation for the progressive tissue loss in electrical burns. Plast Reconstr Surg 73: 431

15. Daniel RK, Ballard PA, Heroux P, Zelt RG, et al. High voltage electrical injury: acute pathophysiology. J Hand Surg 1988 13A: 44
16. Robinson, N. M. K., Chamberlain, D. A. Electrical injury to the heart may cause long-term damage to conducting tissue: a hypothesis and review of the literature. International Journal of Cardiology 53 (1996); pp. 273-277
17. Guinard JP, Chiolero R, Buchser E, Delaloye-Bischof A; Myocardial injury after electrical burns: short and long term study. Scand J Plast Reconstr Hand Surg (1997) 21:301
18. Jensen PJ, Thomsen PEB, Bagger JP, Norgaard A, Baandrup U; Electrical injury causing ventricular arrhythmias. Br Heart J 1987; pp 279-283
19. Blackwell N, Hayllar J; A three year prospective audit of 212 presentations to the emergency department after electrical injury with a management protocol. Postgrad Med J 2002; 78: pp 283-285
20. Soar J, Perkins GD, Abbas G et al.; European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010, Section 8. Cardiac arrest in special circumstances: Electrolyte abnormalities, poisoning, drowning, accidental hypothermia, hyperthermia, asthma, anaphylaxis, cardiac surgery, trauma, pregnancy, electrocution. Resuscitation 81 2010; pp. 1400 - 1433
21. Sharma B C, Patial R K, Pal L S. *et al* Electrocardiographic manifestations following household electric current injury. J Assoc Physicians India 1990. 38938–939
22. Bailey B, Forget S, Gaudreault P. Prevalence of potential risk factors in victims of electrocution. Forensic Sci Int 2001. 12358–62
23. Fatovich MD, Delayed lethal arrhythmia after an electrical injury. Emerg Med J. 2007; 24(10): 743
24. Dudel J, Informationsvermittlung durch elektrische Erregung. Physiologie des Menschen; Schmidt,Thews, Springer Verlag, 27. Auflage 1997, pp. 20-42
25. Ursus-Nikolaus Riede, Hans-Eckard Schäfer, Allgemeine und spezielle Pathologie, 4. Auflage, physikalische Zellschäden, elektrische Läsionen, p. 158
26. Bailey B, Gaudreault P, Thivierge RL, Turgeon JP. Cardiac monitoring of children with household electrical injuries. Ann Emerg Med 1995; 25: 612
27. Fish RM, Electric shock, Part I: Physics and pathophysiologie, The Journal of Emergency Medicine, Vol 11 (1993), pp 309-312

28. Bailey B, Gaudreault P, Thivierge RL. Cardiac monitoring of high-risk patients after an electrical injury: a prospective multicentre study. Emerg Med J 2007; 24: 348-352
29. Fish RM. Electric injury, part III: Cardiac monitoring indications, the pregnant patient, and lightning. The Journal of Emergency Medicine 2000, Vol. 18, No. 2, pp. 181-187
30. Fish RM, Electric shock Part II: Nature and mechanisms of injury, The Journal of Emergency Medicine, Vol 11 (1993), pp457-462
31. Purdue GF, Hunt, JL. Electrographic monitoring after electrical injury: necessity or luxury. J Trauma 1986; 26: 166-167
32. Fatovich DM, Lee KY. Household electric injury: who should be monitored? Med J Aust 1991; 155:301-303
33. Klöss, Anästhesie,Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie. Kapitel 29: spezielle Verletzungen, pp 473-474
34. Klade H. Krankenhaus-Management: Kompetenzzentren sind zukunftsträchtig. Deutsches Ärzteblatt 2004; 101(41): A-2724/ B-2296/ C-2203
35. Klose R. EKG-Überwachung bei Stromunfällen. Anaesthesist Springer-Verlag 1999; 48: 657-658
36. Arrowsmith J, Usgaocar RP, Dickson WA. Electrical injury and the frequency of cardiac complications. Burns 1997; 23:576
37. Lewin RF, Arditi A, Sclarovsky S. Non-invasive evaluation of electrical injury. Br Heart J. 1983: 49: 190-192
38. Terry A. Housinger et al. A prospective study of myocardial damage in electrical injuries; The Journal of Trauma, Vol 25, No. 2, pp 122-124
39. Varol E, Ozaydin M, Altinbas A, Dogan A. Low-tension electrical injury as a cause of atrial fibrillation: a case report. Tex Heart Inst. J. 2004; 31(2): 186-187
40. Busse R, Nimptsch U, Mansky T. Measuring, monitoring, and managing quality in Germany´s Hospitals. Health Aff (Millwood) 2009 Mar; 28(2):w294-w304

7. ANHANG

7.1 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Wibke Maaß, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: Kardiales Monitoring nach Stromunfall selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst, und keine anderen, als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel, genutzt habe.
Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinn nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM) des ICMJE –*www.icmje.org*) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o.) und werden von mir verantwortet.
Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Betreuer angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertationen hervorgegangen sind, und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o.) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

<u>Anteilserklärung an folgender Publikation:</u>

Wibke Maaß hatte folgenden Anteil an der folgenden Publikation:

Publikation 1: Searle J, Slagman A, Maaß W, Möckel M: Kardiales Monitoring nach Stromunfall- eine Analyse von 268 Patienten an der Charité. Dtsch Ärztebl Int 2013; 110(50): 847-53
Beitrag im Einzelnen: Datenerhebung, Review, Kommentierung des Manuskripts

7.2 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

7.3 Publikationsliste

Searle J, Slagman A, Maaß W, Möckel M: Kardiales Monitoring nach Stromunfall - eine Analyse von 268 Patienten an der Charité. Dtsch Ärztebl Int 2013; 110(50): 847-53

7.4 Danksagung

Mein Dank gilt an erster Stelle Herrn Prof. Dr. med. Martin Möckel, der mir diese Dissertation ermöglicht hat, meiner Arbeit jederzeit Interesse entgegenbrachte und dabei stets für Fragen ansprechbar war.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Frau Dr. med. Julia Searle, die jederzeit ein offenes Ohr für meine Fragen hatte, und mich mit ihrer kompetenten und freundlichen Art während der gesamten Zeit motivieren konnte.

Für die große Unterstützung hinsichtlich der statistischen Auswertung bedanke ich mich bei Frau Anna Slagman.

Ich bedanke mich bei meinen Eltern, die mir das alles ermöglicht haben, für ihre liebevolle Unterstützung in allen Lebenslagen.

Zum Schluss gilt mein besonderer Dank meinem Mann Marc Maaß und meinen Söhnen Jakob und Simon.

7.5 Dokumentationstabelle

Daten	**Erklärung**	**Variablen-schlüssel**
<u>Stammdaten</u>		
Patienten-ID		Fortlaufende Nummerierung der Patienten
Geburts-Datum		Gekürzte Form der Geburts-datums
Alter am Unfalltag		Angabe des Alters
Geschlecht		0 = weiblich 1 = männlich
<u>Daten zum stationären Aufenthalt</u>		
Aufnahmedatum		Datum
Entlassungsdatum		Datum
Aufnahmeuhrzeit		Uhrzeit
Entlassungsuhrzeit		Uhrzeit
Dauer des stat. Aufenthaltes		Stunden: Minuten
Uhrzeit des Stromunfalls		
Zuständigkeit der Berufsgenossenschaft		0 = nein 1 = ja
Einbringende Transportgesellschaft	Zeigt, wie die Patienten in die Klinik gelangt sind.	1 = Notarztwagen 2 = RTW 3 = Kranken-transport 4 = Einweisung 5 = selbst
Aufnahmestation		1 = Über-wachungs-

		station 2 = periphere Station
Monitorüberwachung		0 = kein Monitoring 1 = Monitoring
Externe Weiterleitung	Art der Entlassung	1 = D-Arzt 2 = Verlegung in ein anderes Krankenhaus 3 = Entlassung in häusliche Umgebung 4 = Entlassung gegen ärztl. Rat
Stromdaten		
Stromspannung		-9= unklar 1 = Nieder-spannung 2 = Hoch-spannung 3 = Blitzschlag
Stromart		-9 = unklar 1 = Wechsel-strom 2 = Gleichstrom
Dauer der Stromeinwirkung		-9 = unklar 1 = < 1 Sekunde 2 = > 1 Sekunde
Kontaktfläche		-9 = keine Angabe 1 = flächig

		2 = punktförmig
<u>Stromeintritt und -austritt mit Veränderungen</u>		
Eintrittsstelle		-9 = keine Angabe 1 = Arm/ Hand 2 = Gesicht 3 = Hinterkopf 4 = Hals 5 = Brust 6 = Bauch 7 = Genital 8 = Rücken 9 = Bein/ Fuß
Austrittsstelle		-9 = keine Angabe 1 = unbekannt 2 = Arm/ Hand 3 = Gesicht 4 = Hinterkopf 5 = Hals 6 = Brust 7 = Bauch 8 = Rücken 9 = Bein/ Fuß
Veränderungen an der Eintrittsstelle		-9 = keine Angaben 1 = keine Veränderungen 2 = Strommarke 3 = Verbrennung 4 = Strommarke und Ver-

		brennung
Anzahl der Strommarken (SM, Eintritt)		-9 = keine Angaben 1 = 1 SM 2 = 2 SM 3 = >/= 3 SM
Größe der Strommarken (SM, Eintritt)		-9 = keine Angaben 1 = < 5 mm 2 = >/= 5 mm 3 = < 5mm und >/= 5 mm
Gradeinteilung der Verbrennung (Eintritt)		0 = keine Verbrennung 1 = I° 2 = II° 3 = III° 4 = IV°
Veränderungen an der Austrittstelle		1 = Austritt unklar 2 = keine Veränderungen 3 = Strommarke 4 = Verbrennung
Anzahl der Strommarken (SM, Austritt)		-9 = keine Angaben 1 = 1 SM 2 = 2 SM 3 = >/= 3 SM
Größe der Strommarken (Austritt)		-9 = keine Angabe 1 = < 5 mm 2 = >/= 5 mm
Gradeinteilung Verbrennung (Austritt)		1 = I°

		2 = II° 3 = III° 4 = IV°
<u>Unfallhergang</u>		
Tätigkeit, während der der Stromunfall passierte		1 = Beruf 2 = Hobby 3 = Privat 4 = Sonstiges
Ursache des Stromunfalls		-9 = keine Angabe 1 = defektes Gerät, Materialfehler 2 = unsach-gemäße Benutzung 3 = menschliches Versagen 4 = Stromquelle war nicht erkennbar
Stromquelle		-9 = keine Angabe
		1 = Steckdose 2 = Glühbirne, Lampe 3 = Kabel 5 = Elektrogerät 6 = Sonstiges
<u>Vitalparameter</u>		
Blutdruckmessung in der RTS	Angabe von RR systolisch und diastolisch	

Herzfrequenz		
Sauerstoffsättigung		
Körpertemperatur		
Körpergröße		
Körpergewicht		
Unmittelbare Stromschlagfolge am Unfallort		
Initial akut lebensbedrohliche Herzrhythmusstörungen		0 = nein 1 = ja
Initial Kammerflimmern		0 = nein 1 = ja
Reanimation		0 = nein 1 = ja
Invasive Beatmung		0 = nein 1 = ja
Bewusstlosigkeit		0 = nein 1 = ja
Schock initial		0 = nein 1 = ja
Schock in RTS		0 = nein 1 = ja
GCS in RTS		
GCS in RTS		0 = GCS 15 Punkte 1 = GCS < 15 Punkte
Augenöffnen	Erreichte Punktzahl	1 – 4 Punkte
Verbale Reaktion	Erreichte Punktzahl	1 – 5 Punkte
Motorische Antwort	Erreichte Punktzahl	1 – 6 Punkte
Punkte insgesamt	Erreichte Punktzahl	3 – 15 Punkte
Aufnahme_EKG		
Aufnahme-EKG abgeleitet?		0 = ja 1 = nein

Lagetyp		
Lagetyp auffällig		0 = nein 1 = ja
Indifferenztyp		0 = anderer Lagetyp 1 = Indifferenztyp
Steiltyp		0 = anderer Lagetyp 1 = Steiltyp
Linkstyp		0 = anderer Lagetyp 1 = Linkstyp
Überdrehter Linkstyp		0 = anderer Lagetyp 1 = überdrehter Linkstyp
Rechtstyp		0 = anderer Lagetyp 1 = Rechtstyp
Überdrehter Rechtstyp		0 = anderer Lagetyp 1 = überdrehter Rechtstyp
SIQIII-Typ		0 = anderer Lagetyp 1 = SIQIII-Typ
SI-III-Typ		0 = anderer Lagetyp 1 = SI-III-Typ
Rhythmus		
Auffälliger Herzrhythmus?		0 = nein 1 = ja

Herzfrequenz	Angabe der Herzfrequenz	
Sinusrhythmus normfrequent		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Sinustachykardie		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Sinusbradykardie		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Sinusarrhythmie		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Ektope Vorhofaktionen		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Schrittmacher-EKG		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Vorhofflimmern		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Tachyarrhythmia absoluta		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Bradyarrhythmia absoluta		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Vorhofflattern		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Vorhofflattern mit 2:1-Überleitung		0 = nicht

		zutreffend 1 = zutreffend
Vorhofflattern mit 3:1-Überleitung		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Kammerflimmern		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Ventrikuläre Tachykardie		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Supraventrikuläre Tachykardie		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Asystolie		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Ventrikuläre Extrasystolen		
EKG´s mit VES		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Vereinzelte VES		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
VES-Couplets		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
VES-Bigemini		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
VES-Trigemini		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend

VES-Salven		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Supraventrikuläre Extrasystolen		
EKG´s mit SVES		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Vereinzelte SVES		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
SVES-Bigemini		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
SVES-Trigemini		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
SVES-Salven		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
AV- und SA-Block		
EKG mit AV- oder SA-Block		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
AV-Block I°		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
AV-Block II°		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
AV-Block III°		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
SA-Block II°		0 = nicht

		zutreffend 1 = zutreffend
SA-Block III°		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
ST-Strecken		
ST-Streckenveränderungen vorhanden?		0 = nein 1 = ja
Handelt es sich um unspezifische Veränderungen?		0 = nein 1 = ja
Klärungsbedarf bei möglicher Pathologie		0 = nein 1 = ja
Ableitung I		1 = Hebung 2 = Senkung 0 = Rest
Ableitung II		1 = Hebung 2 = Senkung 0 = Rest
Ableitung III		1 = Hebung 2 = Senkung 0 = Rest
Ableitung aVR		1 = Hebung 2 = Senkung 0 = Rest
Ableitung aVL		1 = Hebung 2 = Senkung 0 = Rest
Ableitung aVF		1 = Hebung 2 = Senkung 0 = Rest
Ableitung V1		1 = Hebung 2 = Senkung 0 = Rest

Ableitung V2		1 = Hebung 2 = Senkung 0 = Rest
Ableitung V3		1 = Hebung 2 = Senkung 0 = Rest
Ableitung V4		1 = Hebung 2 = Senkung 0 = Rest
Ableitung V5		1 = Hebung 2 = Senkung 0 = Rest
Ableitung V6		1 = Hebung 2 = Senkung 0 = Rest
T-Wellen		
EKG mit T-Negativierung		0 = nein 1 = ja
Handelt es sich um unspezifische T-Negativierungen?		1 = ja 0 = Rest
Klärungsbedarf bei möglicher Pathologie		1 = ja 0 = Rest
Ableitung I		1 = präterminal negatives T 2 = gleichschen-kelig neg. T 0 = Rest
Ableitung II		1 = präterminal negatives T 2 = gleichschen-kelig neg. T 0 = Rest
Ableitung III		1 = präterminal

		negatives T 2 = gleichschen-kelig neg.T 0 = Rest
Ableitung aVR		1 = präterminal negatives T 2 = gleichschen-kelig neg. T 0 = Rest
Ableitung aVL		1 = präterminal negatives T 2 = gleichschen-kelig neg. T 0 = Rest
Ableitung aVF		1 = präterminal negatives T 2 = gleichschen-kelig neg. T 0 = Rest
Ableitung V1		1 = präterminal negatives T 2 = gleichschen-kelig neg. T 0 = Rest
Ableitung V2		1 = präterminal negatives T 2 = gleichschen-kelig neg. T 0 = Rest
Ableitung V3		1 = präterminal negatives T 2 = gleichschen-kelig neg. T

		0 = Rest
Ableitung V4		1 = präterminal negatives T 2 = gleichschen-kelig neg. T 0 = Rest
Ableitung V5		1 = präterminal negatives T 2 = gleichschen-kelig neg. T 0 = Rest
Ableitung V6		1 = präterminal negatives T 2 = gleichschen-kelig neg. T 0 = Rest
Relevante Q´s	> ¼ des größten R	
EKG mit relevantes Q´s		1 = EKG mit relevanten Q´s 0 = Rest
Am ehesten unspezifische Veränderungen		1 = ja 0 = Rest
Klärungsbedarf bei möglicher Pathologie		1 = ja 0 = nein
Ableitung I		1 = relevantes Q 0 = Rest
Ableitung II		1 = relevantes Q 0 = Rest
Ableitung III		1 = relevantes Q 0 = Rest
Ableitung aVR		1 = relevantes Q 0 = Rest

Ableitung aVL		1 = relevantes Q 0 = Rest
Ableitung aVF		1 = relevantes Q 0 = Rest
Ableitung V1		1 = relevantes Q 0 = Rest
Ableitung V2		1 = relevantes Q 0 = Rest
Ableitung V3		1 = relevantes Q 0 = Rest
Ableitung V4		1 = relevantes Q 0 = Rest
Ableitung V5		1 = relevantes Q 0 = Rest
Ableitung V6		1 = relevantes Q 0 = Rest
P, PQ, QRS, QTc		
EKG mit auffälligen Streckenverhältnissen (außer QTc)		0 = nein 1 = ja
P-Wellen-Amplitude	Angabe der P-Wellen-Amplitude in mV (Norm <0,20 mV)	
Veränderung der P-Wellen-Amplitude		0 = Normbereich 1 = verlängert 2 = verkürzt
PQ-Strecke	Angabe der PQ-Strecke in Sekunden (Norm 0,12 – 0,21 sec)	
PQ-Strecke verlängert	PQ-Strecke > 0,21 sec	0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
PQ-Strecke verkürzt	PQ-Strecke < 0,12 sec	0 = nicht zutreffend

		1 = zutreffend
QRS-Komplex	(Norm <0,12 sec)	
QRS-Komplex-Verbreiterung	QRS-Komplex > 0,12 sec	0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
QTc-Zeit	Angabe der QTc-Zeit	
Links-, Rechtsschenkelblock und bifaszikuläre Blockbilder		
EKG mit Blockbild		0 = nein 1 = ja
EKG mit pathologischem Block		0 = nein 1 = ja
Kompletter Linkschenkelblock		0 = nein 1 = ja
Inkompletter Linksschenkel-block		0 = nein 1 = ja
Kompletter Rechtsschenkelblock		0 = nein 1 = ja
Inkompletter Rechtsschenkelblock		0 = nein 1 = ja
Bifaszikulärer Block		0 = nein 1 = ja
Hypertrophie		
Sokolow, links	Angabe des Sokolow links in mV:SV2 + RV5 (Hypertrophie: > 3,5 mV)	
Sokolow, rechts	Angabe des Sokolow rechts in mV: RV2 + SV5 (Hypertrophie: > 1,05 mV)	

<u>EKG-Kontrolle</u>		
EKG-Kontrolle erfolgt		0 = nein 1 = ja
Veränderungen zum Vor-EKG		1 = ja 0 = Rest
Veränderungen pathologisch?		1 = ja 0 = Rest
Art der EKG-Veränderung	Aufzählung der Punkte Herzrhythmus, störungen, VES, SVES, Schenkelblock wie bei Aufnahme-EKG	1 = ja 0 = nein
Veränderung während der Monitorüberwachung		
Traten während der Monitorüberwachung EKG-Veränderungen auf?		0 = nein 1 = ja
Sind die Veränderungen als pathologisch einzuschätzen?		1 = ja 0 = Rest
Datum, Uhrzeit	Zeitpunkt des Auftretens der Veränderungen wird erfasst	
Art der EKG-Veränderung	Aufzählung der Punkte Herzrhythmusstörungen	1 = ja 0 = Rest
Aufnahmelabor		
Wurde bei Aufnahme Blut abgenommen?		0 = ja 1 = nein
<u>Natrium</u>	Natriumwert in mmol/l	x = kein Laborwert

Hypernatriämie	> 145 mmol/l	1 = ja 0 = Rest
Hyponatriämie	< 134 mmol/l	1 = ja 0 = Rest
Kalium	Kaliumwert in mmol/l	x = kein Laborwert
Hyperkaliämie	> 5,2 mmol/l	1 = ja 0 = Rest
Hypokaliämie	<3,4 mmol/l	1 = ja 0 = Rest
Kreatinin	Kreatininwert in mg/dl	x = kein Laborwert
Kreatininerhöhung	Männer > 1,4 mg/dl Frauen > 1,2 mg/dl	1 = ja 0 = Rest
AST	AST-Wert in U/l	x = kein Laborwert
AST-Erhöhung	Unterschiedliche Referenzbereiche	1 = ja 0 = Rest
Creatinkinase (CK)	CK-Wert in U/l	x = kein Laborwert
CK-Erhöhung	Unterschiedliche Referenzbereiche	1 = ja 0 = Rest
CK-MB	CK-MB-Wert in U/l	x = kein Laborwert
CK-MB-Erhöhung	Unterschiedliche Referenzbereiche	1 = ja 0 = Rest
CK-MB-Anteil < 6% der Gesamt-CK		1 = ja 0 = Rest
CK-MB-Anteil 6-10% der Gesamt-CK		1 = ja 0 = Rest
CK-MB-Anteil > 10% der Gesamt-CK		1 = ja 0 = Rest
Myoglobin	Myoglobinwert in µg/l	x = kein

		Laborwert
Myoglobinerhöhung	> 70 µg/l	1 = ja 0 = Rest
Troponin T	Troponin-T-Wert in µg/l	x = kein Laborwert
Troponin-T-Erhöhung	>0,1 µg/l	1 = ja 0 = Rest
Troponin-I	Troponin-I-Wert	x = kein Laborwert
Troponin-I-Erhöhung		1 = ja 0 = Rest
TSH	TSH-Wert in mU/l	x = kein Laborwert
TSH-Erhöhung	> 4,2 mU/l	1 = ja 0 = Rest
TSH-Erniedrigung	< 0,27 mU/l	1 = ja 0 = Rest
Aufnahme-Labor Blutbild		
Wurde bei Aufnahme ein Blutbild angefertigt?		0 = ja 1 = nein
Leukozyten	Leukozytenzahl in tsd/nl	x = kein Laborwert
Leukozytose	>11 tsd/nl	1 = ja 0 = Rest
Leukozytopenie	< 4,5 tsd/nl	1 = ja 0 = Rest
Erythrozyten	Erythrozytenzahl in mio/µl	x = kein Laborwert
Erythrozytose	> 6,2 mio/µl	1 = ja 0 = Rest
Erythrozytopenie	< 4,6 mio/ µl	1 = ja 0 = Rest
Hämoglobin (Hb)	Hb-Wert in g/dl	x = kein

	Normwerte alters- und geschlechtsabhängig: < 1 Lebensjahr: 10,7-13,1 g/dl 2-6 Jahre: 10,8-14,3 g/dl 7-12 Jahre: 11,3-14,9 g/dl ab 13 Jahre, männlich 14-18 g/dl ab 13 Jahre weiblich: 12-16 g/dl	Laborwert
Hb-Erniedrigung	< 1 Lebensjahr: <10,7 g/dl 2-6 Jahre: <10,8 g/dl 7-12 Jahre: <11,3 g/dl ab 13 Jahre, männl.: <14g/dl ab 13 Jahre weibl.: <12 g/dl	1 = ja 0 = Rest
Hb-Erhöhung	< 1 Lebensjahr: >13,1 g/dl 2-6 Jahre: >14,3 g/dl 7-12 Jahre: >14,9 g/dl ab 13 Jahre, männl.: >18 g/dl ab 13 Jahre weibl.: >16 g/dl	1 = ja 0 = Rest
<u>Hämatokrit (HKT)</u>	HKT-Wert Normwerte alters- und geschlechtsabhängig < 1 Lebensjahr: 0,33-0,4	x = kein Laborwert

	2 – 6 Jahre: 0,34-0,41 7-12 Jahre: 0,37-0,43 ab 13 Jahre, männl.: 0,39-0,47 ab 13 Jahre, weibl.: 0,36-0,44	
HKT-Erhöhung	< 1 Lebensjahr: >0,4 2 – 6 Jahre: >0,41 7-12 Jahre: >0,43 ab 13 Jahre, männl.: >0,47 ab 13 Jahre, weibl.: >0,44	1 = ja 0 = Rest
HKT-Erniedrigung	< 1 Lebensjahr: <0,33 2 – 6 Jahre: <0,34 7-12 Jahre: <0,37 ab 13 Jahre, männl.: <0,39 ab 13 Jahre, weibl.: <0,36	1 = ja 0 = Rest
MCV	MCV in fl	x = kein Wert
MCV-Erhöhung	> 100 fl	1 = ja 0 = Rest
MCV-Erniedrigung	< 81 fl	1 = ja 0 = Rest
MCH	MCH in pg	x = kein Laborwert
MCH-Erhöhung	>34 pg	1 = ja 0 = Rest
MCH-Erniedrigung	< 27 pg	1 = ja 0 = Rest
MCHC	MCHC in g/dl	x = kein Wert
MCHC-Erhöhung	> 36 g/dl	1 = ja

		0 = Rest
MCHC-Erniedrigung	< 32 g/dl	1 = ja 0 = Rest
Thrombozyten	Thrombozytenzahl in tsd/nl	x = kein Wert
Thrombozytose	> 400 tsd/nl	1 = ja 0 = Rest
Thrombozytopenie	< 150 tsd/nl	1 = ja 0 = Rest
MPV	MPV in fl Normwert 7-12 fl	x = kein Laborwert
RDW	RDW in % Normwert 11,9-14,5 %	x = kein Laborwert
Laborkontrolle		
Ist eine Laborkontrolle erfolgt?		0 = ja 1 = nein
Natrium	Natriumwert in mmol/l	x = kein Laborwert
Hypernatriämie	> 145 mmol/l	1 = ja 0 = Rest
Hyponatriämie	< 134 mmol/l	1 = ja 0 = Rest
Kalium	Kaliumwert in mmol/l	x = kein Laborwert
Hyperkaliämie	> 5,2 mmol/l	1 = ja 0 = Rest
Hypokaliämie	<3,4 mmol/l	1 = ja 0 = Rest
Kreatinin	Kreatininwert in mg/dl	x = kein Laborwert
Kreatininerhöhung	Männer > 1,4 mg/dl Frauen > 1,2 mg/dl	1 = ja 0 = Rest

AST	AST-Wert in U/l	x = kein Laborwert
AST-Erhöhung	Unterschiedliche Referenzbereiche	1 = ja 0 = Rest
Creatinkinase (CK)	Gemessener CK-Wert in U/l	x = kein Wert
CK-Erhöhung	Unterschiedliche Referenzbereiche	1 = ja 0 = Rest
CK-MB	CK-MB-Wert in U/l	x = kein Wert
CK-MB-Erhöhung	Unterschiedliche Referenzbereiche	1 = ja 0 = Rest
CK-MB-Anteil < 6% der Gesamt-CK		1 = ja 0 = Rest
CK-MB-Anteil 6-10% der Gesamt-CK		1 = ja 0 = Rest
CK-MB-Anteil > 10% der Gesamt-CK		1 = ja 0 = Rest
Myoglobin	Myoglobinwert in µg/l	x = kein Wert
Myoglobinerhöhung	> 70 µg/l	1 = ja 0 = Rest
Troponin T	Troponin-T-Wert in µg/l	x = kein Wert
Troponin-T-Erhöhung	>0,1 µg/l	1 = ja 0 = Rest
Troponin-I	Troponin-I-Wert	
Troponin-I-Erhöhung		1 = ja 0 = Rest
Blutbild-Kontrolle		
Blutbildkontrolle erfolgt?		0 = ja 1 = nein
Leukozyten	Leukozytenzahl in tsd/nl	x = kein Laborwert
Leukozytose	>11 tsd/nl	1 = ja 0 = Rest

Leukozytopenie	< 4,5 tsd/nl	1 = ja 0 = Rest
Erythrozyten	Erythrozytenzahl in mio/µl	x = kein Laborwert
Erythrozytose	> 6,2 mio/µl	1 = ja 0 = Rest
Erythrozytopenie	< 4,6 mio/ µl	1 = ja 0 = Rest
Hämoglobin (Hb)	Hb-Wert in g/dl Normwerte alters- und geschlechtsabhängig: < 1 Lebensjahr: 10,7-13,1 g/dl 2-6 Jahre: 10,8-14,3g/dl 7-12 Jahre: 11,3-14,9 g/dl ab 13 Jahre, männlich: 14-18 g/dl ab 13 Jahre weiblich: 12-16 g/dl	x = kein Laborwert
Hb-Erniedrigung	< 1 Lebensjahr: <10,7 g/dl 2-6 Jahre: <10,8 g/dl 7-12 Jahre: <11,3 g/dl ab 13 Jahre, männl.: <14g/dl ab 13 Jahre weibl.: <12 g/dl	1 = ja 0 = Rest
Hb-Erhöhung	< 1 Lebensjahr: >13,1 g/dl 2-6 Jahre: >14,3 g/dl 7-12 Jahre: >14,9 g/dl	1 = ja 0 = Rest

	ab 13 Jahre, männl.: >18 g/dl ab 13 Jahre weibl.: >16 g/dl	
Hämatokrit (HKT)	HKT-Wert Normwerte alters- und geschlechtsabhängig < 1 Lebensjahr: 0,33-0,4 2 – 6 Jahre: 0,34-0,41 7-12 Jahre: 0,37-0,43 ab 13 Jahre, männl.: 0,39-0,47 ab 13 Jahre, weibl.: 0,36-0,44	x = kein Laborwert
HKT-Erhöhung	< 1 Lebensjahr: >0,4 2 – 6 Jahre: >0,41 7-12 Jahre: >0,43 ab 13 Jahre, männl.: >0,47 ab 13 Jahre, weibl.: >0,44	1 = ja 0 = Rest
HKT-Erniedrigung	< 1 Lebensjahr: <0,33 2 – 6 Jahre: <0,34 7-12 Jahre: <0,37 ab 13 Jahre, männl.: <0,39 ab 13 Jahre, weibl.: <0,36	1 = ja 0 = Rest
MCV	MCV in fl	x = kein Wert
MCV-Erhöhung	> 100 fl	1 = ja 0 = Rest
MCV-Erniedrigung	< 81 fl	1 = ja

		0 = Rest
MCH	MCH in pg	x = kein Laborwert
MCH-Erhöhung	>34 pg	1 = ja 0 = Rest
MCH-Erniedrigung	< 27 pg	1 = ja 0 = Rest
MCHC	MCHC in g/dl	x = kein Wert
MCHC-Erhöhung	> 36 g/dl	1 = ja 0 = Rest
MCHC-Erniedrigung	< 32 g/dl	1 = ja 0 = Rest
Thrombozyten	Thrombozytenzahl in tsd/nl	x = kein Wert
Thrombozytose	> 400 tsd/nl	1 = ja 0 = Rest
Thrombozytopenie	< 150 tsd/nl	1 = ja 0 = Rest
MPV	MPV in fl Normwert 7-12 fl	x = kein Laborwert
RDW	RDW in % Normwert 11,9-14,5 %	x = kein Laborwert
Vorerkrankungen		0 = nein 1 = ja
KHK		0 = nein 1 = ja
Z.n. koronarem Stenting		0 = nein 1 = ja
Kardialer Bypass vorhanden		0 = nein 1 = ja
Z.n. Myokardinfarkt		0 = nein 1 = ja
Herzinsuffizienz		0 = nein

		1 = ja
Kardiomyopathie		0 = nein 1 = ja
Herzrhythmusstörungen		0 = nein 1 = ja
Schrittmacherträger (kardial)		0 = nein 1 = ja
ICD-Träger		0 = nein 1 = ja
Angeborene Herzfehler		0 = nein 1 = ja
Arterielle Hypertonie		0 = nein 1 = ja
Z.n. Apoplex, TIA		0 = nein 1 = ja
pAVK		0 = nein 1 = ja
Diabetes mellitus		0 = nein 1 = ja
Hyperlipoproteinämie		0 = nein 1 = ja
Hyperurikämie		0 = nein 1 = ja
Niereninsuffizienz		0 = nein 1 = ja
COPD		0 = nein 1 = ja
Asthma bronchiale		0 = nein 1 = ja
Malignom		0 = nein 1 = ja
Depression		0 = nein 1 = ja

Psych. Erkrankung		0 = nein 1 = ja
Epilepsie		0 = nein 1 = ja
HIV-Infektion		0 = nein 1 = ja
Hepatitis B / C		0 = nein 1 = ja
Leberzirrhose		0 = nein 1 = ja
Magenulzera		0 = nein 1 = ja
Chronische Obstipation		0 = nein 1 = ja
Chronische Diarrhoe		0 = nein 1 = ja
Chronisch entzündliche Darm-erkrankung		0 = nein 1 = ja
Hyperthyreose		0 = nein 1 = ja
Hypothyreose		0 = nein 1 = ja
Rheumatische Erkrankung		0 = nein 1 = ja
Dermatologische Erkrankung		0 = nein 1 = ja
Weitere neurologische Erkrankungen		0 = nein 1 = ja
Faktor-V-Leiden		0 = nein 1 = ja
Medikamenteneinnahme		
Sind Angaben zur Medikamenteneinnahme gemacht		0 = ja 1 = nein

worden?		
Nimmt der Patient Medikamente ein?		0 = nein 1 = ja
Beta-Blocker		0 = nein 1 = ja
Calcium-Kanal-Blocker		0 = nein 1 = ja
Alpha-2-Agonisten		0 = nein 1 = ja
ACE-Hemmer		0 = nein 1 = ja
Diuretika		0 = nein 1 = ja
Sartane		0 = nein 1 = ja
Thrombozytenaggregationshemmer		0 = nein 1 = ja
Statine		0 = nein 1 = ja
Antidepressiva		0 = nein 1 = ja
Sedativa		0 = nein 1 = ja
Heparin		0 = nein 1 = ja
Antibiotika		0 = nein 1 = ja
Regelmäßige Abführmaßnahmen		0 = nein 1 = ja
Bronchodilatatoren		0 = nein 1 = ja
Prostatamedikamente		0 = nein

		1 = ja
Schilddrüsenhormone		0 = nein 1 = ja
Protonenpumpeninhibitoren		0 = nein 1 = ja
Antihistaminika		0 = nein 1 = ja
Ritalin		0 = nein 1 = ja
Positive Familienanamnese (kardiovaskulär)		1 = ja 0 = Rest
Angaben zur Familienanamnese		1 = keine Angaben 0 = Angaben
Nikotin		
Angaben zum Nikotinkonsum		0 = Angaben 1 = keine Angaben
Ist der Patient zum Zeitpunkt der Aufnahme Raucher?		1 = ja 0 = Rest
Hat der Patient in der Vorgeschichte geraucht?		1 = ja 0 = Rest
Pck-Years	Angabe der Jahre	x = keine Angabe
</= 5 Pck-Years		1 = zutreffend 0 = nicht zutreffend
6–9 Pck-Years		1 = zutreffend 0 = nicht zutreffend
10-19 Pck-Years		1 = zutreffend 0 = nicht zutreffend
20-29 Pck-Years		1 = zutreffend

		0 = nicht zutreffend
> 30 Pck-Years		1 = zutreffend 0 = nicht zutreffend
Alkoholkonsum		
Sind zum Alkoholkonsum Angaben gemacht worden?		0 = ja 1 = nein
Seltener Alkoholkonsum		1 = ja 0 = Rest
Regelmäßiger Alkoholkonsum		1 = ja 0 = Rest
Täglicher Alkoholkonsum		1 = ja 0 = Rest
Alkoholisiert in der Rettungsstelle		1 = ja 0 = nein
Weitere Diagnostik		
Ist während des stat. Aufenthaltes weitere Diagnostik erfolgt?		0 = nein 1 = ja
Echokardiographie		0 = nein 1 = ja
Auffälligkeiten bei Echokardiographie?		0 = nein 1 = ja
Ergometrie		0 = nein 1 = ja
Auffälligkeiten bei Ergometrie?		0 = nein 1 = ja
Röntgen-Thorax		0 = nein 1 = ja
Auffälliger Röntgen-Thorax-Befund?		0 = nein 1 = ja
Kardio-MRT		0 = nein 1 = ja

Auffälligkeiten im Kardio-MRT?		0 = nein 1 = ja
<u>TEE</u>		0 = nein 1 = ja
Auffälligkeiten im TEE?		0 = nein 1 = ja
<u>Abdomen-Sonographie</u>		0 = nein 1 = ja
Auffälligkeiten in der Abdomen-Sonographie?		0 = nein 1 = ja
<u>Fetale Echokardiographie</u>		0 = nein 1 = ja
Auffälligkeiten im fetalen Echo?		0 = nein 1 = ja
<u>CTG</u>		0 = nein 1 = ja
Auffälligkeiten im CTG?		0 = nein 1 = ja
<u>Röntgen Bewegungsapparat</u>		0 = nein 1 = ja
Auffällige Röntgen-Befunde des Bewegungsapparates?		0 = nein 1 = ja
Altersverteilung		
Alter am Unfalltag	Angabe des Alters	
0-10 Jahre		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Aufschlüsselung der 0-10-Jährigen in folgende Altersgruppen: < 1 Jahr 1 – 5 Jahre 6-10 Jahre		
11-20 Jahre		0 = nicht

		zutreffend 1 = zutreffend
21-30 Jahr		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
31-40 Jahre		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
41-50 Jahre		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
51-60 Jahre		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
61-70 Jahre		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
71-80 Jahre		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
81-90 Jahre		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
91-100 Jahre		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Aufschlüsselung der Dauer des stationären Aufenthaltes		
0-24 Stunden		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
25-36 Stunden		0 = nicht zutreffend

		1 = zutreffend
37-48 Stunden		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
49-72 Stunden		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
73-96 Stunden		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
> 97 Stunden		0 = nicht zutreffend 1 = zutreffend
Begleitverletzungen		0 = nein 1 = ja
Verletzung des Bewegungsapparates		0 = nein 1 = ja
Schulterluxation		0 = nein 1 = ja
Wirbelkörperfraktur		0 = nein 1 = ja
Rippenfraktur		0 = nein 1 = ja
Calcaneusfraktur		0 = nein 1 = ja
Schädelhirntrauma I°		0 = nein 1 = ja
Distorsionstrauma der HWS		0 = nein 1 = ja
Prellung, Verstauchung		0 = nein 1 = ja
Pneumothorax		0 = nein 1 = ja

Sonstige: Keratitis photoelectrica		0 = nein 1 = ja