

8.1 ELEKTROUNFÄLLE

P. G. KNACKE

Der Verbrauch elektrischen Stromes steigt in den westlichen Ländern kontinuierlich an und spiegelt die zunehmende private wie industrielle Nutzung wider. Auch zu medizinischen Zwecken wird Strom vielfach angewandt. Doch kann Strom durch seine Wirkung abhängig von vielen Parametern zu Schädigungen führen, die nachfolgend dargestellt werden.

8.1.1 Einführung

Trotz zunehmender Elektrifizierung gehören Stromunfälle im Rettungsdienst dank verbesserter Sicherheitstechniken zu den seltenen Notfällen. In der Bundesrepublik gibt es laut Todesursachenstatistik jährlich zwischen 60 und 100 tödliche Stromunfälle und je nach Wetterlage zusätzlich weniger als zehn tödliche Blitzunfälle (ABB. 1). Da jedoch gerade bei Stromunfällen ein hohes Gefahrenpotenzial für die Helfer besteht und die Gefahr primär mit unseren Sinnen

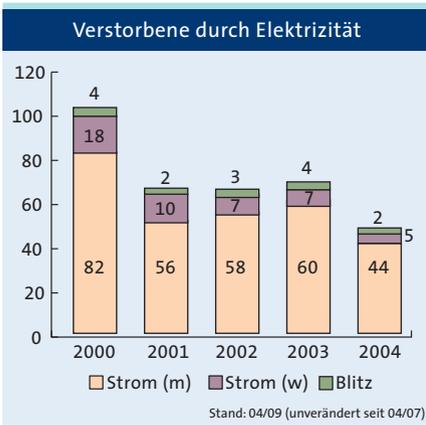


ABB. 1 ▶ Verstorbene durch Elektrizität in der Bundesrepublik Deutschland

nicht wahrnehmbar ist, ist es notwendig, physikalische Grundkenntnisse zu haben und unbedingt auf den Eigenschutz zu achten. Unter 10% der tödlichen Elektrounfälle betreffen Kinder. Ferner handelt es sich bei Stromunfällen um die am häufigsten tödlich verlaufenden Arbeitsunfälle.

8.1.2 Ursachen

Wird der menschliche Körper Teil eines Stromkreises, so fungiert dieser als elektrischer Leiter. Für einen Stromfluss ist immer eine Spannungsdifferenz zwischen zwei Punkten erforderlich. Für einen Stromdurchfluss des Körpers kommen ein direkter Körperschluss zwischen zwei Punkten unter Spannung infrage oder bei geerdetem Stromnetz Kontakt mit der Erde und Berührung des nicht geerdeten Leiters. Weiterhin ist Stromdurchfluss über einen Lichtbogen möglich.

8.1.3 Pathophysiologie

Entsprechend dem Ohm-Gesetz hängt die Stärke des Stromes immer, auch beim Stromfluss durch den Menschen, von der Spannung und dem Widerstand ab.

Ohm-Gesetz:

$$R \text{ (Widerstand)} = \frac{U \text{ (Spannung)}}{I \text{ (Spannung)}}$$

Die Spannung ist durch die Stromquelle vorgegeben. Der Widerstand dagegen ist variabel und besteht aus mehreren Einzelwiderständen: dem äußeren Widerstand (Bekleidung, Schuhwerk), dem Über-

gangswiderstand (Haut) und dem inneren Widerstand (Gewebe). Der äußere Widerstand wie der Übergangswiderstand weisen sehr unterschiedliche Werte auf. Beispielsweise beträgt der Übergangswiderstand bei dünnen Schuhen mit feuchter Ledersohle 70Ω (Ohm), dagegen bei dicken Schuhen mit trockener Gummisohle $70\,000 \Omega$, der äußere Widerstand bei nasser dünner Haut 100Ω , bei trockener dicker Haut möglicherweise $1\,000\,000 \Omega$. Gemäß dem Ohm-Gesetz resultiert aus der anliegenden Spannung und dem Widerstand die Stromstärke.

Von dieser, der Einwirkdauer und dem Stromweg hängen Art und Schwere der Schädigung ab. Eine längere Einwirkdauer führt zu einer Zunahme der Schädigung. Der Stromweg bestimmt, welche Organe durchflossen und damit auch geschädigt werden können. In ca. 60% der Fälle sind Strommarken als Folge der thermischen Wirkung des Stromes an Ein- und/oder Austrittsstelle zu finden und können einen möglichen Hinweis auf den Stromweg geben. Eine kleine Kontaktfläche begünstigt das Auftreten von Strommarken (ABB. 2), bei großflächiger Stromeinwirkung wie bei Badewannenunfällen treten sie dagegen nicht auf.

Des Weiteren sind für eine Schädigung die Stromart und Stromfrequenz verantwortlich. Man unterscheidet Gleichstrom (z.B. U-Bahn-Stromnetz) mit einer Stromflussrichtung und Wechselstrom (z.B. Haushaltsstrom). Hierbei kommt es in einer bestimmten Frequenz zu einem Wechsel der Stromflussrichtung. Die Messeinheit der Schwingungen pro Sekunde ist Hertz (Hz) und beträgt beim Haushaltsstrom zum Beispiel 50 Hz und im Bahnbetriebsnetz $16 \frac{2}{3}$ Hz. Das Schä-



ABB. 2 ▶ Strommarke

digungspotenzial von Wechselstrom ist im Verhältnis zu Gleichstrom bei gleicher Stromstärke deutlich höher. Als Drehstrom bezeichnet man drei um 120° phasenverschobene Wechselströme, die um einen Mittelleiter fließen (z.B. Elektroherd).

Strom hat sehr unterschiedliche Wirkungen auf den Körper, die nicht nur zu Schädigungen führen, sondern auch medizinisch genutzt werden können:

- direkte Reizeffekte auf erregbare Strukturen (Herz, Muskel, Nervengewebe)
- thermische Effekte.

8.1.4 Spezielle Notfallbilder

Die Art der Schädigung hängt von der Stromstärke und damit indirekt von der anliegenden Spannung ab. Man unterscheidet Nieder- und Hochspannungsunfälle sowie den Sonderfall des Blitzunfalls.

Bevor bei einem Stromunfall eine Untersuchung des Patienten erfolgen kann und eine Therapie möglich ist, muss zwingend auf Eigenschutz geachtet werden.

Die erforderlichen Schutzmaßnahmen sind unten aufgeführt.

8.1.4.1 *Niederspannungsunfall*

Als Niederspannung wird eine Spannung unter 1 000 V definiert.

Niederspannung findet sich vor allem im häuslichen Bereich (Haushaltsstrom 220 V, Telefonnetz 60 V). Ca. 80% der Strom-unfälle sind Niederspannungs-unfälle, wobei die meisten Unfälle auf Leichtsinn und nur 5% auf technische Gerätedefekte zurückzuführen sind (Abb. 3). Die Letalität ist mit 3% gegenüber 30% bei Hochspannungsunfällen deutlich geringer. Die Schutzmaßnahmen für Eigen- und Fremdschutz werden bei Niederspannungsunfällen durch das Rettungsfachpersonal vorgenommen. Es ist darauf zu achten, dass das Abschalten des Stromes eine bestehende Muskelkontraktion löst und es so zu einem unkontrollierten Sturz kommen kann.

Schutzmaßnahmen bei Niederspannungsunfällen:

- Sicherung entfernen
- Netzstecker ziehen
- Gerät ausschalten
- Isolierung durch geeigneten Standort.

SYMPTOME. Die Schädigungen im Niederspannungsbereich basieren vorwiegend auf der elektrophysiologischen Wirkung des Stroms. Nur bei sehr langer Stromwirkung treten ausgeprägte thermische Schädigungen auf. Schädigungen passieren nach dem Alles-oder-nichts-Prinzip. So wird ein »harmloser Wischer« symptom- und schädigungsfrei überstanden, oder es kommt zu einer möglicherweise akuten vitalen Bedrohung. Bewusstseinsstörungen aller Schweregrade, das Auslösen eines Krampfanfalles oder periphere Lähmungen sind möglich. Herz-



Abb. 3 ▶ Unfallursache: defektes Kabel

rhythmusstörungen aller Art können auftreten und werden durch Wechselstrom begünstigt. Wechselt der Strom seine Flussrichtung zum Zeitpunkt der vulnerablen Phase des Herzzyklus (Zeitpunkt der ansteigenden Phase der T-Welle im EKG) und durchströmt das Herz, ist das Auslösen von Kammerflimmern möglich. Der neueren Literatur zufolge ist diese Gefahr jedoch geringer als früher angenommen, daher wurde die Nachbeobachtungszeit auch verkürzt. Des Weiteren kann es zu Tachypnoe oder durch Kontraktion von Zwerchfell und thorakaler Muskulatur zu Dyspnoe oder sogar zum Atemstillstand kommen. Die Beschreibung pektanginöser Beschwerden durch Stromunfall führte zu dem Begriff der Angina electrica.

Niedrige Stromstärken können nur mit der feuchten Zunge (45 μ A) wahrgenommen werden, ab 0,5 mA wird ein Kribbeln verspürt, gefolgt von Schmerz bei steigender Stromstärke. Da Stromfluss Muskelkontraktionen auslöst, führt ein Stromfluss durch den Arm mit Überwiegen der Beugemuskulatur zum »Festkleben« und die Stromquelle kann aktiv nicht mehr losgelassen werden. Die Loslassgrenze liegt bei 15 – 25 mA. Im Beinbereich ist dagegen die Streckmuskulatur

stärker ausgeprägt, und es kann zu unwillkürlichen Sprüngen mit entsprechend schweren sekundär entstandenen Verletzungen kommen. Neben Band- und Muskelrupturen können auch Frakturen auftreten.

8.1.4.2 *Hochspannungsunfall*

Als Hochspannung wird eine Spannung über 1000 V definiert.

Hochspannung findet sich zumeist im industriellen Bereich (Eisenbahn 15 kV, Hochspannungsleitung 380 kV). Auf Warnzeichen (ABB. 4) und auch auf dicke Kabel (ABB. 5) ist zu achten! Bei Hochspannung kann zudem ein Lichtbogen auftreten. Bei diesem wird die isolierende Luftschicht durch die hohe Ladung übersprungen, und es kommt zum Stromfluss ohne Kontakt mit dem Stromleiter. Bei Missachtung des Eigenschutzes besteht für das Rettungspersonal große Gefahr, selbst zu verunfallen.

Schutzmaßnahmen beim Hochspannungsunfall:

- Sicherheitsabstand einhalten: mindestens 1 cm/1000 V (d. h. 4 m bei 380 kV)
- Unterbrechung des Stromkreises über Rettungsleitstelle veranlassen
- nur durch Fachkraft (z. B. stromversorgendes Unternehmen) vorzunehmen:
 - > Freischaltung
 - > Sicherung gegen Wiedereinschalten
 - > Spannungsfreiheit feststellen
 - > Erdung und Kurzschließen
 - > benachbarte Spannungsträger abdecken.

Berührt ein unter Hochspannung stehender Leiter, beispielsweise eine Hochspannungsleitung, den Boden, bildet sich



ABB. 4 ▶ Warnzeichen



ABB. 5 ▶ Hochspannungskabel

ein so genannter Spannungstrichter aus. Hierbei besteht zwischen zwei Punkten des Bodens eine Spannungsdifferenz. Diese hat ihren Maximalwert am Kontaktpunkt und nimmt zur Umgebung hin ab. Bei Betreten dieses Bereiches kann es aufgrund der Spannungsdifferenz im Boden zu einem Stromfluss von einem zum anderen Bein (Schrittspannung, ABB. 6) kommen. Bei gerissenen Hochspannungsleitungen sind Effekte in einer Ausdehnung bis zu 20 m um den Kontaktpunkt nachweisbar.

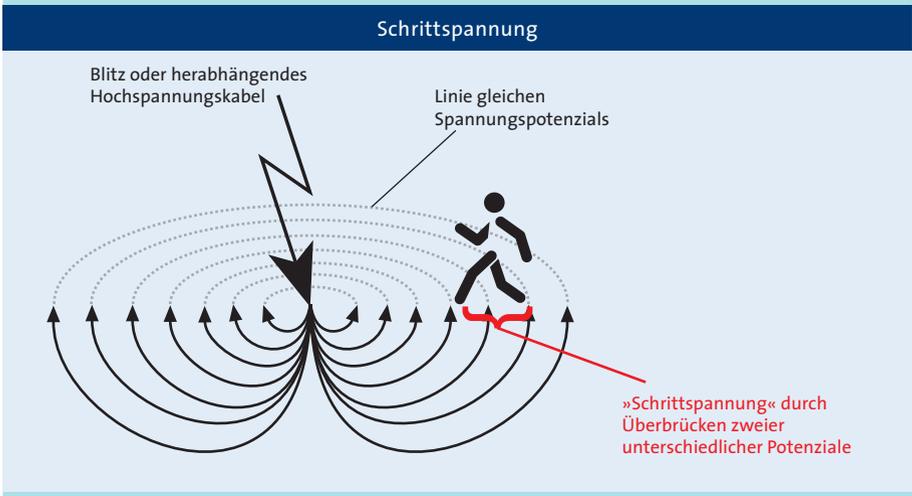


ABB. 6 ▶ Schematische Darstellung der Schrittspannung

SYMPTOME. Im Hochspannungsbereich überwiegt die thermische Wirkung des Stroms durch die Joule-Wärme, da die Wärmemenge insbesondere durch die Stromstärke, jedoch auch durch den Widerstand und die Einwirkdauer bestimmt wird.

$$W \text{ (Wärmemenge)} = I^2 \text{ (Stromstärke)} \times R \text{ (Widerstand)} \times t \text{ (Zeit)}$$

Schwerste Verbrennungen treten auf (Abb. 7) und finden sich zusätzlich zunächst nicht sichtbar im Körperinneren. Der Strom fließt entlang des geringsten Widerstandes und somit entlang der Gefäße und der Muskulatur bzw. der gut leitenden Nervenbahnen. Hier treten thermische Schäden auf und zeigen an der Ein- und Austrittsstelle nur die »Spitze des Eisberges«. So kommt es zu Gefäßspasmen (Zusammenziehen der Gefäße), Gefäßrupturen und der Bildung von Thromben, des Weiteren sind ausgeprägte Muskelschädigungen vorzu-

finden und möglicherweise Lähmungen durch direkte Nervenschädigungen oder eine Ödembildung. Allerdings können sich die Lähmungen zurückbilden. Auch die oben unter Niederspannung beschriebenen elektrophysiologischen Reizeffekte des Stroms treten auf, dieses jedoch ausgeprägter mit entsprechend hoher Letalität. Eine EKG-Ableitung im Bereich einer Hochspannungsleitung ist oftmals nicht möglich.



ABB. 7 ▶ Hochspannungsunfall durch Lichtbogen (10 kV)

8.1.4.3 *Blitzunfall*

Der Blitzunfall ist eine Rarität im Rettungsdienst. Die Letalität beträgt 40 – 60%. Die Energie des Blitzes beträgt bis zu 10 Mrd. kW bei der sehr kurzen Dauer von 0,1 – 1 ms. Man unterscheidet den direkten vom indirekten Blitzunfall. Bei dem *direkten* Einschlagen des Blitzes in einen Menschen wird der Hautwiderstand oftmals nicht durchschlagen, es kommt dann zu einem Abfließen des Stromes an der Körperoberfläche. Bei dem *indirekten* Blitzunfall schlägt der Blitz neben einem Menschen ein und kann dann entweder von einem Baum oder Mast überspringen oder über einen Spannungstrichter im Erdboden und die Schrittspannung – wie unter Hochspannungsunfällen beschrieben – den Menschen durchfließen. So können mehrere Blitzschlagopfer auftreten. Bei Blitzunfällen und Gewitter gibt es keine speziellen Maßnahmen für den Eigenschutz.

SYMPTOME. Es kommt zu ähnlichen Verletzungen wie bei Hochspannungsunfällen. So treten neben ausgeprägten Verbrennungen alle Arten von Bewusstseinsstörungen auf. Lähmungen sind besonders häufig, haben jedoch eine gute

Prognose. Auch kommt es zu vorbeschriebenen kardiozirkulatorischen Störungen mit Rhythmusstörungen aller Art. Bei Patienten nach Blitzunfällen ist gehäuft eine primäre Asystolie vorzufinden. Trotz dieses initialen EKG-Bildes »Asystolie« muss wegen der besseren Prognose in dieser Patientengruppe eine ausreichend lange Reanimation erfolgen. Auch beim MANV »Blitzunfall« haben die reanimationspflichtigen Patienten Priorität. Teilweise finden sich durch das Abfließen des Stromes an der Körperoberfläche so genannte Lichtenberg'sche Blitzfiguren mit einem Tannenbaummuster, die aussehen wie ein rötlicher aufgezweigter Blitz auf der Körperoberfläche. Manchmal ist aber auch nur eine Rötung oder kleine Strommarke zu finden (ABB. 8, ABB. 9).

8.1.5 Präklinische Versorgung

ELEMENTARTHERAPIE ZUM ERHALT DER VITALEN FUNKTIONEN.

Erst nach Berücksichtigung des Eigenschutzes erfolgt bei Störungen der Vitalfunktionen die Behandlung des Verunfallten nach dem ABC-Schema. Um die Atemwege freizumachen, wird der mo-



ABB. 8 ▶ Blitzunfall: Rötung des Halses



ABB. 9 ▶ Blitzunfall: Austrittsstelle



ABB. 10 ▶ Modifizierter Esmarch-Handgriff

difizierte Esmarch-Handgriff angewendet (ABB. 10), der Rachen inspiziert und ggf. eine Absaugung vorgenommen. Die Reklination des Kopfes sollte bei möglicher Schädigung der Halswirbelsäule unterbleiben – deswegen erfolgt der modifizierte Esmarch-Handgriff und die HWS wird immobilisiert. Störungen der Ventilation und Oxygenierung erfordern assistierte oder kontrollierte Beatmung mit einem Beatmungsbeutel und hohem inspiratorischen Sauerstoffanteil durch Nutzung eines Sauerstoffreservoirs oder Demand-Ventils. Zur Schaffung eines stabilen Kreislaufes sind ggf. Schocklage, Anlage eines peripheren Zuganges und Infusion einer Vollelektrolytlösung notwendig. Eine notwendige kardiopulmonale Reanimation erfolgt nach den aktuellen Richtlinien.

STANDARDTHERAPIE. Die Halswirbelsäule ist zu immobilisieren, falls eine Schädigung durch den Unfallmechanismus nicht auszuschließen ist. Des Weiteren wird ggf. Sauerstoff über Maske gegeben und – sofern nicht bereits im Rahmen der Elementartherapie geschehen – ein peripherer Zugang gelegt. Neben der psychischen Betreuung erfolgt die kontinuierliche Über-

wachung (Blutdruck, Puls, EKG, SpO₂) und Dokumentation der Vitalparameter.

SPEZIELLE THERAPIE. Die spezielle Therapie erfolgt rein symptomatisch. Schmerzen erfordern die Gabe potenter Analgetika, relevante hämodynamisch wirksame Rhythmusstörungen die Gabe entsprechender Antiarrhythmika nach gängigen Therapieschemata. Pektanginöse Beschwerden im Sinne einer Angina electrica rechtfertigen bei einem systolischen Blutdruck von über 100 mmHg den Einsatz von Nitro-Spray. Die Einnahme von 5-Phosphodiesesterase-Inhibitoren (Viagra®, Cialis®, Levitra®) ist zuvor auszuschließen. Bei Brandverletzungen wird entsprechend der Therapie von Verbrennungen vorgegangen. So ist – nach initialer Kühlung und ggf. Löschen im Rahmen der Laienhilfe – vom Rettungsfachpersonal dringend auf Wärmeerhalt zu achten und eine adäquate Volumentherapie mit Vollelektrolytlösung zur Aufrechterhaltung stabiler Kreislaufverhältnisse und der Diurese notwendig.

Im weiteren Verlauf besteht in der Klinik die Gefahr eines Nierenversagens durch Ausscheiden von Myoglobin. Die Indikation zur Narkose und Intubation



ABB. 11 ▶ Intubation nach Stromunfall

wird bei Hochspannungsunfällen abhängig von der Verletzungsschwere und der Lokalisation der Schädigung gestellt (Abb. 11). Bei Stromunfällen durch Hochspannung wird das Ausmaß der Schädigung primär oft unterschätzt. Dies liegt daran, dass die Ein-, bzw. Austrittsstellen nur einen kleinen Teil des geschädigten Gewebes repräsentieren und im Körperinneren durch den Stromfluss große Gewebemen- gen (Eisbergphänomen) geschädigt sein können. Dies betrifft häufig Hochspannungsunfälle, seltener Blitzunfälle, da bei letzteren der Patient oftmals nass ist und der Strom somit an der Oberfläche abgeleitet wird; dies erklärt auch das »Tannenbaummuster«. Die direkte Zuweisung in ein Zentrum für Schwerbrandverletzte ist indiziert bei einer Transportdauer unter 45 Minuten und stabilem Kreislauf, ansonsten ist die nächstgelegene Schwerpunkt- klinik als Zielklinik zu bevorzugen.

KLINISCHE WEITERVERSORGUNG. Eine klinische Behandlung Stromverunfallter ist notwendig bei Bewusstseinsveränderungen sowie Bewusstlosigkeit, vorhandener Herzrhythmusstörung, pathologischen Veränderungen im 12-Kanal-EKG (z. B. ST-Hebung), auffälligem klinischen Untersuchungsbefund oder Verbrennungen.

Ebenso sind Träger eines Herzschrittmachers oder implantierten Defibrillators (AICD) und Schwangere nach Stromunfall immer einer klinischen Untersuchung zuzuführen.

Klinisch symptomfreie Patienten nach Niederspannungsunfall mit unauffälligem Untersuchungsbefund und initial unauffälligem 12-Kanal-EKG bedürfen keiner stationären klinischen Weiterbehandlung.

Stromunfälle sind selten und müssen im Rettungsdienst primär zur Vermeidung einer Eigengefährdung als solche erkannt werden. Bei Hochspannungsunfällen (> 1 000 V) werden die Sicherungsmaßnahmen durch eine Fachkraft des Energieversorgers vorgenommen, bei Niederspannungsunfällen (< 1 000 V) selbstständig durch das Rettungsdienstpersonal. Das Ausmaß der Schädigung hängt von Stromstärke, -art, -frequenz, -weg und der Einwirkzeit ab. Im Niederspannungsbereich überwiegen Störungen durch die Reizwirkung des Stroms (Schmerz, Rhythmusstörungen, Bewusstseinsstörungen und Lähmungen). Bei höherer Stromstärke, so bei Hochspannung, oder langer Einwirkdauer überwiegen die thermischen Schädigungen mit dem Auftreten von schwersten Verbrennungen. Diese sind tief und führen zu zusätzlichen inneren Schädigungen. Bei allen Stromunfällen ist auf Begleitverletzungen zu achten und der Unfallmechanismus genau zu eruieren. Die Therapie erfolgt symptomatisch, schwere Verbrennungen erfordern die spezielle Therapie entsprechend dem Vorgehen bei Schwerbrandverletzten.