



Schweizerische
Gesellschaft
für Rechtsmedizin
SGRM

Société Suisse
de Médecine Légale
SSML

Società Svizzera
di Medicina Legale
SSML

Sektion Medizin

section médecine forensique

***Arbeitsgruppe Qualitätsmanagement
in der Forensischen Medizin***

Schädigung durch elektrischen Strom

Ausgabe vom 17. September 2010



INHALTSVERZEICHNIS

1	VORWORT.....	3
2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN	4
2.1	Begriffe / Definitionen	4
2.2	Grundlagen	6
2.2.1	Blitzschlag	8
2.3	Stromwirkungen im Einzelnen.....	10
2.3.1	Elektrothermische Wirkungen (Joule'sche Wärme).....	10
2.3.1.1	Makroskopische Befunde	11
2.3.1.2	Mikroskopische Befunde.....	11
2.3.2	Elektrospezifische Wirkungen (Depolarisation)	11
2.3.3	Wirkungs- und Gefährdungsbereiche	12
3	PRAKTISCHE VORGEHENSWEISE	13
3.1	Inspektion	13
3.1.1	Fundsituation	13
3.1.2	Äussere Besichtigung	13
3.1.2.1	Hochspannung	13
3.1.3	Innere Besichtigung	14
3.1.3.1	Asservierung	14
3.2	Interpretation / Kriminalistische Überlegungen	14
3.2.1	Spezialfall "Stromtod im Wasser" (Leiche in der Badewanne)	15
3.3	Weiteres Vorgehen	15
4	LITERATUR / MITGELTENDE UNTERLAGEN	16



1 VORWORT

Dieses Dokument wurde von den Mitgliedern der Arbeitsgruppe "Qualitätsmanagement in der Forensischen Medizin" der Sektion Medizin der Schweizerischen Gesellschaft für Rechtsmedizin (SGRM) erarbeitet. Es handelt sich um ein Konsenspapier und dient der Harmonisierung von Arbeitsabläufen und der Terminologie innerhalb der SGRM. Gleichzeitig definiert es die Minimalanforderungen und stellt damit die Grundlage für das Qualitätsmanagement in der Forensischen Medizin dar.

Mitglieder der Arbeitsgruppe:

- Herr Dr. St. Bolliger, IRM Bern
- Herr Dr. M. Bollmann, CURML Lausanne
- Herr Dr. D. Eisenhart, IRM St.Gallen
- Frau Dr. K. Gerlach, IRM Basel
- Herr Prof. R. Hausmann, IRM Basel
- Herr Dr. V. Martos, IRM Zürich
- Frau Dr. B. Schrag, CURML Genève
- Herr Prof. Th. Sigrist, IRM St.Gallen
- Herr Prof. M. Thali, IRM Bern
- Herr Dr. B. Vonlanthen, IRM Zürich
- Herr Dr. D. Wyler, IRM Chur

In diesem Dokument gilt für Personen die geschlechtsneutrale Formulierung; der Einfachheit halber wird zumeist die männliche Form angewandt.

Danksagung

Die Arbeitsgruppe bedankt sich bei den Herren Dr. sc. forens. Beat P. Kneubuehl (Zentrum Forensische Physik / Ballistik, IRM Bern), Dr. sc. tech. M. Lory und eidg. dipl. Elektroinstallateur H. Strebel (beide Forensisches Institut, Zürich) für die fachliche Durchsicht dieses Dokuments.



2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

2.1 Begriffe / Definitionen

Elektrische Einheiten

Ampère: SI-Einheit der elektrischen Stromstärke (I), gemessen in Ampère (A) resp. Milliampère (mA), benannt nach André Marie Ampère (1775-1836).

Volt: SI-Einheit der elektrischen Spannung (U), gemessen in Volt (V) resp. Millivolt (mV), benannt nach Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio, Graf von Volta (1745-1827).

Ohm: SI-Einheit des elektrischen Widerstands (R), gemessen in Ohm (Ω) resp. Milliohm ($m\Omega$), benannt nach Georg Simon Ohm (1789-1854).

Hertz: SI-Einheit für die Frequenz (f), d.h. für die Anzahl Schwingungen (bei Wechselstrom Richtungswechsel) pro Sekunde, gemessen in Hertz (Hz), benannt nach Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894).

Elektrische Spannungsbereiche

Niederspannung: < 1000V (1kV)

Hochspannung: > 1000V (1kV)

Höchstspannung: > 100'000V (100kV)

Elektrischer Strom

Elektrischer Strom ist die Bezeichnung für eine gerichtete Bewegung freier Ladungsträger (Übertragung von elektrischer Energie); die Ladungsträger können Elektronen oder Ionen sein.

Gleichstrom (engl. Direct Current, abgekürzt DC): Elektrischer Strom, der über die Zeit seine Richtung nicht ändert.

Wechselstrom (engl. Alternating Current, abgekürzt AC): Elektrischer Strom, der über die Zeit die Richtung fortlaufend (in der Regel periodisch) ändert. Die Frequenz gibt dabei an, wie oft sich die Stromrichtung pro Sekunde ändert.

Beim "Haushaltsstrom" handelt es sich um einen sinusförmigen Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Effektivspannung von ca. 230 V.

Drehstrom: Wechselstrom mit drei Phasen (stromführende Leitungen). Der Begriff 'Drehstrom' ist aus der Erzeugung abgeleitet; dabei werden drei Spulen im 120° -Abstand rund um ein sich drehendes Magnetfeld angeordnet. Dadurch entstehen drei, um 120° phasenverschobene, sinusförmige Wechselspannungen mit einer Effektivspannung von gegenseitig 400 V.



Erdung / Potentialausgleich	Die Gesamtheit aller miteinander verbundenen Erder und Erdungsleitungen, einschliesslich metallene Wasserleitungen, Fundamentarmierungen, metallene Umhüllungen von Kabeln, Erdseile und andere metallene Leitungen.
Frequenz / Periode	Frequenz ist bei Wechselstrom die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit (Einheit: Hertz, Hz). Die Periode ist der Kehrwert davon und entspricht der Dauer einer positiven und negativen Halbschwingung.
FI / FI-Schutzschalter	<p>FI: Fehlerstrom (F für Fehler, I als Formelzeichen des elektrischen Stromes).</p> <p>FI-Schutzschalter: Einrichtung in Niederspannungsnetzen zur Erfassung einer Differenz zwischen einflussendem und rückfliessendem Strom. Er unterbricht einen unzulässig hohen Berührungsstrom gegen Erde und schützt so vor lebensgefährlichem Stromschlag.</p>
Kontaktstellen / Leiter	<p>Phase (P): Stromführender Leiter.</p> <p>Neutralleiter (N): Den Stromkreis schliessender aktiver stromführender Leiter.</p> <p>Erdleiter (PE): Schutzleiter (PE: Protective Earth), im Normalfall nicht stromführender, stromableitender Leiter, Verbindung zur Erde.</p>
Leiter / Nichtleiter	<p>Leiter sind Stoffe, die den Strom (I) leiten, z.B. Metalle, Graphit, Salzlösungen, Wasser (bedingt).</p> <p>Nichtleiter sind Stoffe, die den Strom nicht oder praktisch nicht leiten (Nichtleiter = Isolatoren), z.B. Glas, Plastik, Holz, Luft.</p>
Metallisation	Niederschlag von Metall (Verdampfung oder Elektrolyse). Deshalb kann Nachweis von Metallpartikeln ein wichtiger Hinweis auf Stromeinwirkung sein.
Nieder- / Hochspannungsanlage	<p>Niederspannungsanlage: Elektrische Anlage mit einer Nennspannung von höchstens 1000 V Wechselspannung resp. 1500 V Gleichspannung.</p> <p>Hochspannungsanlage: Elektrische Anlage mit einer Nennspannung von mehr als 1000 V Wechselspannung oder 1500 V Gleichspannung.</p>
Schwach- / Starkstromanlage	<p>Schwachstromanlage: Elektrische Anlage, die normalerweise keine Ströme führt, welche für Personen oder Sachen gefährlich sind.</p> <p>Starkstromanlage: Elektrische Anlage, die mit Strömen</p>



betrieben wird, welche Personen gefährden oder Sachbeschädigungen verursachen können.

Stromdichte

Die Stromdichte kennzeichnet die Verteilung des Stromes im Leiter. Sie ist definiert als Stromstärke (elektrische Ladung) pro Fläche. Die Stromdichte ist besonders an der Stromübertrittsstelle bedeutungsvoll, da sich ein Leiter umso mehr erwärmt, je grösser die Stromdichte ist.

Stromkreis

Ununterbrochene Abfolge von leitenden Stoffen zwischen den beiden Anschlüssen (Polen, Kontaktstellen) einer Stromquelle. Der Strom fliesst immer in einem Kreis.

Stromkreis-Schluss

Kurzschluss: Durch einen Fehler oder über einen Lichtbogen entstandene Verbindung zwischen stromführendem Leiter (Phase) und Nullleiter, wenn sich im Fehlerstromkreis kein Widerstand befindet.

Erdschluss: Durch einen Fehler oder über einen Lichtbogen entstandene Verbindung zwischen einem stromführenden Leiter (Phase) und Erde oder einem geerdeten Teil (Wasserhahn, Radiator).

Strommarke

Durch elektrischen Strom hervorgerufene makroskopische Hautveränderung mit charakteristischem histologischen Bild.

Stromquelle

Gerät, das elektrische Ladung erzeugt (Generator) oder elektrostatisch aufgeladener Ladungsträger (Akkumulator / Kondensator).

Stromübertrittsstelle(n)

Kontaktstelle(n) des menschlichen Körpers mit Stromleitern (oder Lichtbogen), d.h. mit der Phase und dem Nullleiter resp. der Erde.

Stromweg(e)

Idealisierte Beschreibung oder Darstellung des Weges resp. der Wege im menschlichen Körper, entlang derer der elektrische Strom zwischen den Stromübertrittsstellen (Kontaktstellen) fließen kann.

2.2 Grundlagen

Entscheidend für die biologische Wirkung ist der **Stromfluss**. Bei Verdacht auf eine schädigende Elektrisierung lautet die zentrale Frage, ob überhaupt elektrischer Strom durch den menschlichen Körper geflossen sein konnte.

Voraussetzungen dafür, dass der Mensch durch elektrische Stromwirkung geschädigt oder getötet werden kann, sind:

- eine Stromquelle,



- mindestens 2 Kontaktstellen (Übertrittstellen), die mit der Stromquelle verbunden sind (Ausnahme: Lichtbogen bei Hochspannung),
- Verlauf des Stromwegs (Verbindung zwischen den Kontaktstellen) durch eine lebenswichtige Körperregion, i.d.R. durch die Herzgegend; die Körperlängsdurchströmung ist wesentlich gefährlicher als die Querdurchströmung,
- Spannungsgefälle (Potentialdifferenz) zwischen den Kontaktstellen,
- ununterbrochene Abfolge von stromleitenden Stoffen (Leiter) zwischen den Kontaktstellen entsprechend einem geschlossenen Stromkreis (durch Kurzschluss oder Erdschluss).

Die **Wirkung** einer Elektrisierung auf den Organismus hängt im Wesentlichen von folgenden Faktoren ab:

- Stromstärke (abhängig von der Spannung und vom Widerstand),
- Stromweg durch den Körper,
- Durchströmungsdauer (Einwirkzeiten unter 100 ms sind in der Regel ungefährlich, weiterführende Angaben finden sich in den technischen Berichten IEC 60479-1 und 60479-2, International Electrotechnical Commission)
- Zeitpunkt des Stromstosses in Bezug auf die vulnerable Phase der Herzaktion,
- Lebensalter (mit zunehmendem Alter steigt die Letalität).

Häufigste **Stromquelle** ist das Stromnetz (Nutzstrom aus der Steckdose, "Haushaltstrom"), seltener ein Akkumulator (Strom aus Batterie) oder ein Kondensator (Entladung, Funkenschlag, Lichtbogen aus entgegengesetzten Ladungsträgern, z.B. Blitz).

In Haushalten erfolgt die Elektrizitätsversorgung in Form von Drehstrom mit drei Phasen, einem Neutralleiter (= Nullleiter) und einer Erdung. Die drei Phasen werden als L1, L2, L3 bezeichnet. Sie sind gegenseitig um 1/3 Periode versetzt. Der Neutralleiter hat theoretisch ein Potential von 0 Volt; durch "Netzverschmutzungen" (elektronische Bauteile) hat jedoch der Neutralleiter stets ein geringes Spannungspotential. Deshalb wird er als aktiver Leiter deklariert. Zwischen einer Phase und dem Neutralleiter besteht eine sinusförmige Wechselspannung von ca. 230 V bei einer Frequenz von 50 Hz. Steckdosen und Licht führen normalerweise nur eine der drei Phasen, den Neutralleiter und die Erdung.

Die meisten Fälle einer Schädigung infolge elektrischer Stromwirkung kommen durch einen **Erdschluss** zustande, indem der Körper den Stromkreis durch Kontakt mit dem stromführenden Leiter (Phase) und der Erde resp. einem geerdeten Gegenstand schliesst. Wesentlich seltener ist ein **Kurzschluss**, wobei der Körper den Stromkreis durch Überbrückung der Phase mit dem Nullleiter schliesst. Der FI-Schutz beendet einen Erdschluss innert maximal 400 ms (normalerweise 20 - 40 ms).

Die **Stromstärke (I)** wird nach dem Ohm'schen Gesetz durch das Verhältnis der Spannung (U) zum Widerstand (R) bestimmt. Die Wechselbeziehung lautet:

$$U = R \times I \quad I = \frac{U}{R}$$

Im Haushalt ist die elektrische Spannung in der Regel vorgegeben (230V); sie bleibt hoch und bricht durch einen Kurz- oder Erdschluss üblicherweise nicht zusammen. Demzufolge wird der Strom im Wesentlichen durch den **Widerstand (R)** bestimmt, welcher sich aus dem Übergangswiderstand (zwischen Körper und Erde) und dem Körperwiderstand zusammensetzt.

- **Übergangswiderstand:** Bei einem Erdschluss hängt der Übergangswiderstand ab von der Kleidung, speziell den Schuhsohlen, und von der Isolationsstärke der Unterlage (Bodenbeschaffenheit).
- **Körperwiderstand:** Der Körperwiderstand wird zum grössten Teil durch den Hautwiderstand an den Stromübertrittsstellen bestimmt; der Widerstand im Körperinnern ist vergleichsweise gering. Der Hautwiderstand ist abhängig von der Dicke und vom Zustand der Hornschicht (der Hautwiderstand fällt mit abnehmender Dicke und zunehmender Feuchtigkeit)

Im Einzelfall ist der Gesamtwiderstand dafür entscheidend, ob und wie stark ein Stromschaden auftritt. Die physikalischen Regeln von seriellen resp. parallelen Widerständen sind zu beachten

seriell: $R_{TOT} = R_1 + R_2 + R_3 \dots$

parallel: $1/R_{TOT} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$

	Widerstand	von bis
Körper	R_K	ca. 500 Ω (ca. 300 Ω bei hoher Frequenz)	ca. 1500 Ω
Haut	R_H	wenige Ω (nasse Haut)	ca. 4000 Ω (trockene, schwielige Haut: bis 1 Mio. Ω)
Kleider-Boden	R_B	wenige Ω (nasser Betonboden)	10'000 Ω , 10 ⁵ -10 ⁹ Ω (Anti-elektrostatische Sicherheitsschuhe)
Total	$R_{tot} = R_K + R_H + R_B$	ca. 500 Ω	ca. 15'500 Ω

Strom	$I = 230 \text{ V} / R_{tot}$	460 mA	15 mA
--------------	-------------------------------	--------	-------

2.2.1 Blitzschlag

Blitze sind natürlich vorkommende Entladungen, entweder zwischen unterschiedlich geladenen Wolken (Wolkenblitz) oder zwischen einer Wolke und der Erde (Erdblitz).

➤ **Physikalische Parameter:**

Die Spannung beträgt mehrere hundert Millionen Volt, die Stromstärke bis zu 100'000 Ampère. Im Blitzkanal werden Temperaturwerte von über 20'000°C erreicht. Die Dauer des Stromflusses beträgt etwa 40-200 ms.

➤ **Übertragungswege:**

Bei einem Blitzunfall kann die Energieübertragung auf den Menschen direkt oder indirekt erfolgen. Die Kenntnis der verschiedenen Übertragungsformen kann bei der Rekonstruktion von Blitzunfällen helfen und hat Bedeutung bei Diagnostik und Therapie von Blitzschäden.

Cave: Verläufe von Blitzströmen in Gebäuden, Böden, Gegenständen etc. sind häufig schwer zu erkennen, weshalb ein Sachverständiger beigezogen werden sollte. Blitz-Informationendienste (in der Regel kostenpflichtig) können wichtige Angaben zur genauen Lokalisation, Uhrzeit, Blitzstärke und Polarität liefern.

<i>Energieübertragungswege</i>		<i>Kurzbeschreibung</i>
Direct strike (direct hit)	Direkter Treffer	Ein Anteil des Stromes verläuft durch den Körper; daher höchstes Gefährdungspotential, aber nicht zwangsläufig tödlich (wegen Skin-Effekt läuft der Hauptteil ausserhalb des Körpers); häufig schwere innere Schädigungen.
Contact voltage	Kontakteffekt	Blitzschlag in ein Objekt, das vom Opfer berührt wird; der Stromweg führt vom getroffenen Objekt zum Körper des Opfers.
Side splash (splash, side flash)	Überschlageseffekt (Übersprungeffekt)	Häufigste Form der Energieübertragung, Blitzschlag in einen nahe gelegenen Gegenstand (z.B. Baum) mit „Überschlagen“ der elektrischen Energie; ähnlich ausgedehnte Verletzungen wie bei direktem Treffer.
Ground strike (stride potential, step voltage, grounding, ground current effect)	Blitzschritteffekt (Schrittspannungseffekt)	Schädigung durch abgenommene Schrittspannung bei Blitzeinschlag in den Boden nahe des Menschen (bis 200 m Entfernung); Stromfluss wegen Potenzialdifferenz zwischen den Beinen beim Gehen oder Stehen mit gespreizten Beinen; Stromverlauf über die Beine kann zu plötzlichem Zusammenbrechen führen.
Telephone- / wire-mediated lightning injury	Telefon- bzw. Leitervermittelter Blitzunfall	Schädigung bei Benutzung eines Telefons oder anderen Elektrogerätes oder durch Nähe zu einem elektrischen Leiter nach Blitzschlag in den Leiter.

➤ **Morphologische Befunde:**

Zu den charakteristischen Befunden bei Blitzschlagopfern gehören dendritisch verästelte Hautrötungen (Lichtenbergsche „Blitzfigur“). Häufig findet man auch diskontinuierliche Verbrennungen an der Körperoberfläche, die postmortal braun vertrocknen können. Lähmungen und mechanische Sekundärverletzungen sind häufig. Getragene Metallgegenstände (Halsschmuck, Ringe, Gürtelschnalle u.a.) können sich abzeichnen.

2.3 Stromwirkungen im Einzelnen

Im Wesentlichen ist zu unterscheiden zwischen elektrothermischen und elektrospezifischen Wirkungen

2.3.1 Elektrothermische Wirkungen (Joule'sche Wärme)

Wenn Strom fließt, wird elektromagnetische Energie teilweise in thermische Energie umgewandelt (im elektrischen Widerstand). Deshalb kann die Haut an der Stromübertrittsstelle einen Hitzeschaden in Gestalt einer **Strommarke** nehmen: Grad I (Rötung und leichte Schwellungen), Grad II (Blasenbildung), Grad III (Verbrennungsnekrose, oft trichterförmig) oder Grad IV (Verkohlung).

Die Einflussgrößen für die Entstehung bzw. Morphologie einer Strommarke sind:

- **Stromdichte:** Die lokal im Gewebe freigesetzte Wärmeenergie steigt mit zunehmender Stromdichte (Stromstärke pro Fläche). Bei grosser Kontaktfläche (v.a. im Wasser, Badewanne) ist die Stromdichte an der Übertrittsstelle niedrig, weshalb eine Strommarke fehlen kann;
- **Durchströmungs- bzw. Kontaktdauer:** Je länger Strom fließt, desto eher kommt es zur Ausbildung einer Strommarke;
- **Widerstand** (bzw. Stromstärke): Der anfänglich hohe Widerstand der Haut sinkt unmittelbar nach Beginn der elektrischen Durchströmung ab; dann kommt es zum "Durchschlag" der Haut, die damit ihre Schutzfunktion weitgehend verliert;
- **Form bzw. Oberflächenrelief** des stromführenden Leiters;
- **Hautbeschaffenheit:** An der stark verhornten Leistenhaut (Fuss- und Handinnenflächen) treten Strommarken makroskopisch als grauweiße Hautaufwerfungen mit gelbbraunen bis zu schwarz verkohlten Anteilen in Erscheinung. Im Gegensatz dazu weist dünn-schichtig verhornte Felderhaut oft nur uncharakteristische Läsionen auf.

Bei hoher Spannung und kleinem Abstand kann der Strom auch ohne direkten Kontakt des Stromleiters mit der Haut in Form eines **Lichtbogens** fließen. Dabei wird die isolierende Luft infolge Ionisation durchgeschlagen und somit leitend überbrückt. Als Faustregel gilt: Pro 1000V kann ca. 1cm übersprungen werden. Im Kernbereich eines Lichtbogens kann die Temperatur einige Tausend Grad Celsius betragen, weshalb regelmässig Metall an der Oberfläche des Stromleiters (Kupfer, Messing, Eisen) verdampft und sich an der Strommarke niederschlägt (**Metallisation**).

Metallisationen kommen auch bei relativ kleinen Strommarken (im Nutzsprungsbereich) vor, weil auch hier kaum sichtbare "Mini-Lichtbogen" auftreten können.

Die Metallisation ist ein wichtiger Hinweis auf eine erfolgte Stromeinwirkung (im Vergleich zur reinen Hitzeveränderung); sie ist aber kein vitales Zeichen. Die forensisch-kriminalistische Bedeutung liegt in der Möglichkeit einer **Metall-Analyse** (Hinweis auf verwendeten Stromleiter \Rightarrow ev. Hinweis auf Tötungsdelikt resp. Täter bei fehlendem Stromleiter).

Bei einem Stromüberschlag (Lichtbogen) können Brandspuren an der **Bekleidung** entstehen (Schuhe, v.a. Sohlen, Socken, Jackenärmel) u/o **Schmelzeffekte** an Metallteilen (Knöpfe, Gürtelschnalle, Schmuckstücke). Durch Verpuffung (Verdampfung von Flüssigkeit an der Körperoberfläche) kann die Leiche partiell entkleidet werden.



2.3.1.1 Makroskopische Befunde

In der Mehrzahl der Stromtodesfälle findet sich eine mehr oder weniger deutlich ausgeprägte Strommarke. Sie kann aber auch fehlen, insbesondere bei grossflächigem Leiterkontakt und niedrigem Übergangswiderstand (Kontakt Freileiter mit einer in der Hand gehaltenen Stange sowie Berührung des geerdetem Metallgerüsts mit verschwitztem T-Shirt).

Bisweilen sind Strommarken lupenklein oder zeigen das Bild einer uncharakteristischen Hautvertrocknung. Zudem ist der makroskopische Befund von der Beschaffenheit der Haut abhängig, die topographisch variiert (stark verhornte Leistenhaut an Handflächen und Fusssohlen, wenig verhornte Felderhaut). Qualitative Unterschiede finden sich vor allem im Bereich des wallartigen Randes einer Strommarke, welcher an der Felderhaut nur wenig oder gar nicht zur Ausbildung kommt.

Die "typische" Strommarke weist zentral eine hellbraun bis schwarz verfärbte Eindellung oder eine schwärzlich verfärbte Nekrose auf, welche von einem porzellanfarbenen, blasenartig aufgeworfenen Randwall und einem rötlichen Randsaum umgeben ist. Oft kommen randständige radiäre Falten vor. Falls ein grösserer Lichtbogen auftritt, ist ein Metallniederschlag (Metallisation) als graue bis schwarze Verfärbung sichtbar.

2.3.1.2 Mikroskopische Befunde

Bei der mikroskopischen Untersuchung von **Strommarken** sind charakteristische Veränderungen in den verschiedenen Hautschichten nachweisbar:

- Stratum basale: Spindelförmige Ausziehung (Elongation) der Zellkerne;
- Stratum basale und Stratum spinosum: Fischzugartige Anordnung ("Palisadenstellung") der Zellen mit Ausrichtung zum Koagulationszentrum hin;
- Stratum corneum: Blasen- und Wabenbildung.

In der tetanisch geschädigten **Muskulatur** der näheren Umgebung sind regelmässig Kontraktionsbandnekrosen und leere Sarkolemmschläuche nachweisbar.

2.3.2 Elektrospezifische Wirkungen (Depolarisation)

Elektrischer Strom kann bestimmte menschliche Gewebe (Skelettmuskeln, Herzmuskel, Nerven) mit folgenden Auswirkungen erregen:

- **Herz:** Auslösung unregelmässiger/unkoordinierter Tätigkeit (Rhythmusstörung), ev. Kammerflimmern (wirkt sofort tödlich);
- **Skelettmuskulatur:** Überdehnungen (mit Veränderungen an den Sarkomeren), Rupturen mit begleitenden Blutaustritten; Austritt von Muskelfarbstoff (Myoglobin), welcher in die Nieren gelangt und im schweren Fall zum (tödlichen) Nierenversagen (Crush-Niere) führen kann;
- **Atemmuskulatur** (Brust, Bauch): Starke Kontraktion mit Atembeschwerden, Blutrückstau und Entstehung von "Stauungsblutungen";
- **Nerven:** Reizung mit konsekutiver Kontraktion der innervierten Muskeln sowie den, unter 'Skelettmuskulatur' beschriebenen Auswirkungen;
- **Zentralnervensystem:** Inaktivierung der lebenswichtigen Zentren im Hirnstamm.

Niederfrequenter Wechselstrom (ca. 20-150 Hz) wird als gefährlicher eingestuft als Gleichstrom. Einerseits ist bei Wechselstromkontakt die Wahrscheinlichkeit eines Kammerflimmerns erhöht,



andererseits wird durch die wiederholte Depolarisation ein Muskeltetanus ausgelöst, welcher ein Loslassen des Leiters verunmöglichen kann (sog. Klebenbleiben).

2.3.3 Wirkungs- und Gefährdungsbereiche

Der durch den Körper fließende elektrische Strom vom Niederspannungsnetz (50 Hz, "Haushaltsstrom") löst bereits bei geringer Stromstärke (im Milliampère-Bereich) Störungen aus, bevor thermische Effekte (Strommarke) erzeugt werden:

bis	0,6 mA	nicht merkbar
bis	5 mA	Muskelkontraktionen / Loslassen möglich
bis	15 mA	Muskelschmerzen
ab	15 mA	Muskelschmerzen / Loslassen kaum möglich
ab	25 mA	Loslassen nicht mehr möglich
ab	50 mA	beginnende Störungen von Atmung, Puls, Blutdruck, ev. erste Herzrhythmusstörungen
ab	80 mA	Herzrhythmusstörungen, tödliches Kammerflimmern ist möglich
ab	120 mA	oft Kammerflimmern mit Todesfolge
ab	800 mA	regelmässig Kammerflimmern und Todeseintritt
ca.	2000 mA	Strommarken
ab	2000 mA	Verkochung, Verbrennungen, Asystolie

Ströme höherer Frequenz oder kürzerer Einwirkungszeiten wirken anders auf den Menschen. Diese Abhängigkeiten können im technischen Bericht der Norm IEC 60479-2 nachgelesen werden.

Daraus kann gefolgert werden:

Bei einer Stromstärke von:	
< 40 mA	keine Lebensgefahr
> 80 mA	Todeseintritt ist möglich
> 2000 mA	thermische Effekte (Strommarke)

Sicherungen lösen erst bei hoher resp. lange andauernder Stromstärke aus (z.B. 6 Ampère-Sicherung nach 5 Sekunden bei ca. 30 A = 30'000 mA). Intakte Sicherungen sind somit kein Ausschlusskriterium für einen Elektrotod.

FI-Schutzschalter reagiert bei Fehlerstrom (FI: 30 mA) durch Erdschluss und verhindert damit einen Stromschaden. Falls sich das Opfer im Stromkreis befindet aber keinen Erdkontakt hat, spricht der FI-Schutzschalter nicht an, sodass ein Stromtod möglich ist.

3 PRAKTISCHE VORGEHENSWEISE

3.1 Inspektion

3.1.1 Fundsituation

Da die Sicherungen nicht in jedem Fall den Stromfluss unterbrechen, ist am Fundort höchste Vorsicht geboten. Schon bei Verdacht auf das Vorliegen eines Stromtodes empfiehlt es sich, umgehend das Starkstrominspektorat und die Kriminaltechnik aufzubieten und mit der Leichenuntersuchung zuzuwarten.

Da ein Stromtod auch ohne äusserlich sichtbare Spuren oder Verletzungen (z.B. Strommarke) möglich ist, soll - abhängig von der jeweiligen Auffindesituation - an die Möglichkeit einer Elektrisierung gedacht werden. Daher muss in der Umgebung der Leichenfundstelle nach möglichen Stromquellen gesucht werden. Beispiele sind etwa:

- Elektrokabel, speziell Halten/Umfassung/Aufliegen eines stromführenden Leiters,
- elektrisch betriebenes Gerät,
- Isolationsdefekte an Kabeln oder Elektrogeräten,
- besondere Fundsituationen:
 - Leiche im Wasser (speziell Badewanne),
 - Leiche nahe einer Freiluftstromleitung,
 - Leiche im Bereich von Eisenbahn, Trafostation, Viehhütendraht,
- durchgebrannten Sicherungen in Wohnung / Haus / ausserhalb,
- Leiche im Freien nach Durchgang eines Gewitters (Blitzschlag ist möglich).

3.1.2 Äussere Besichtigung

Hautveränderungen sind bezüglich Lokalisation, Grösse und Beschaffenheit exakt zu beschreiben und mit ► *bildgebenden Verfahren* zu dokumentieren.

- Extremitätenhaut (Hände und Füsse) kommt bevorzugt als Stromübertrittsstelle in Frage; andere Körperstellen sind aber mit der gleichen Aufmerksamkeit zu inspizieren.
- Besonders kritisch sind warzenähnliche Hautveränderung zu werten, aber auch fleckige Rötungen und insbesondere blasenförmige Formationen der oberen Hautschicht oder gar trichter- oder kraterförmige Defekte mit oft braunem bis schwarzem Grund und randständigen radiären Falten.
- Da eine allfällige Metallisation auf die Stelle des Stromübertritts resp. des Kontakts mit dem Stromleiter hinweist, kann sie entscheidende kriminalistische (strafrechtliche) Bedeutung erlangen. Deshalb muss die Hautpartie mit der fraglichen Strommarke sehr vorsichtig behandelt werden (Spurenschutz).

3.1.2.1 Hochspannung

Bei einer Elektrisierung im Hochspannungsbereich sind die Folgen der thermischen Wirkung in der Regel ausgedehnter. Typischerweise sind Veränderungen wie folgt zu beobachten:

- An Bekleidung: Gruppierte Lückenbildungen (schrotschussartige Beschädigungen), Schmelzspuren an Kunstfasertextilien, punktförmige Löcher bzw. umschriebene Zerreissungen an der Schuhsohle;
- An metallischen Gegenständen (Schnallen, Druckknöpfe, Uhr, Schmuckgegenstände): Anschmelzungen, Schmelzungspuren (Schmelzperlen), Kontaktverbrennungen;
- Ansengung bis Verbrennung der Kopfhaare, Wimpern und Barthaare;
- "Krähenfüsse": Aussparungen von Verbrennungen und Metallisationen in den radiären Hautfalten der äusseren Augenwinkel;
- Flohstichartige Blutungen an den Augenbindehäuten und der Gesichtshaut;
- Ausgedehnte oberflächliche Verbrennungen an Rumpf und Extremitäten;
- Grau-schwarze Niederschläge (Metallisation) an exponierten Körperstellen;
- Verkohlung bzw. Verkochung von Weichteilen; Aufsprennung von Gelenken;
- Bei Blitzschlag: 'Blitzstrasse' mit Verbrennungen der Haut sowie der Anhangsgebilde (Augenbrauen, Wimpern, Scham- und Kopfhaare), 'Blitzfigur' in Gestalt einer baumartig verzweigten bzw. farnkrautförmigen Hautrötung.

3.1.3 Innere Besichtigung

Die Autopsie erfolgt nach den ständigen Richtlinien. Besondere Beachtung soll der Präparation und speziell der histologischen Untersuchung des Herzens gewidmet werden.

Bei rekonstruktiver Fragestellung soll eine Weichteil- und Extremitätenpräparation (inkl. Gelenkflächen) zur Darstellung der Stromwege durchgeführt werden.

3.1.3.1 Asservierung

Nebst den, im Rahmen einer Autopsie erhobenen Proben soll folgendes sichergestellt werden:

- Hautstück(e) mit Strommarke(n); Einfrieren, nicht in Formalin einlegen;
- darunter verlaufende Skelettmuskulatur (mit Formalin fixieren);
- ev. Gelenkfläche mit Durchschlagsdefekt.

3.2 Interpretation / Kriminalistische Überlegungen

Bei Hautveränderungen, die durch eine Blasenbildung oder eine kraterförmige Nekrose gekennzeichnet sind, kann es sich um eine Strommarke handeln. Zur weiteren Abklärung ist eine histologische Untersuchung erforderlich. Dabei sind die mikroskopischen Befunde einer pallisadenartigen Anordnung und fadenförmigen Elongation der Zellkerne der Basalzellschicht zwar typisch für eine elektrothermische Schädigung; sie sind aber nicht beweisend.

Die sog. Metallisation ist ein Hinweis auf Stromeinwirkung und kein vitales Zeichen.

Strommarken finden sich ausschliesslich an den Stromübertrittsstellen; sie sind somit an den Kontaktstellen mit dem stromführenden Leiter (das sind oft die Hände) bzw. an den Kontaktstellen gegen Erde (i.d.R. Füsse) lokalisiert.

Strommarken können sehr klein sein und an versteckten Stellen liegen (z.B. in Finger- oder Zehenbeugefalten).

Strommarken können uncharakteristisch aussehen oder fehlen, insbesondere bei breitflächigem Kontakt (Tod in der Badewanne).

Die Strommarke ist die Folge eines thermischen Effekts und nicht Zeichen vitaler Reaktion; die postmortale Entstehung ist möglich.

Die vom Strom getroffene Person bewegt sich meist stark und unkontrolliert.

Sicherungen brennen erst bei hoher Stromstärke durch (i.d.R. ab 30 Ampère = 30'000 mA); intakte Sicherungen sind somit kein Ausschlusskriterium für einen Elektrotod.

FI-Schutzschalter (30 mA) reagieren ab einem Fehlerstrom von ca. 20 mA (je nach Typ) durch Erdschluss innert nützlicher Zeit und verhindern damit einen Stromschaden. Falls sich das Objekt im Stromkreis befindet, aber keinen Erdkontakt hat, spricht der FI-Schutzschalter wegen fehlender Differenz zwischen einfließendem und rückfließendem Strom nicht an, und der Stromtod wird möglich.

Die Diagnose eines Stromtodes ist oft eine Ausschlussdiagnose.

3.2.1 Spezialfall "Stromtod im Wasser" (Leiche in der Badewanne)

Strommarken treten beim Stromtod im Wasser manchmal nicht auf, ausser bei direktem Körperkontakt mit dem Stromleiter (z.B. Brauseschlauch aus Metall, Wasserhahn, Abfluss, Mischbatterie, Haltegriff).

Strom fliesst nur dann, wenn der Stromkreis geschlossen ist (i.d.R. durch einen Erdschluss): Stromquelle \Rightarrow Badewasser \Rightarrow Mensch \Rightarrow Badewasser \Rightarrow Brauseschlauch (mit Metallhülse) oder Metallabflussrohr. Befindet sich der Mensch ausserhalb des Stromkreises, kann er verschont bleiben (z.B. Kind auf der "Liege-Seite" der Badewanne).

Der fließende Strom ist in aller Regel zu gering, als dass die Sicherung durchbrennen würde. Intakte Sicherungen schliessen deshalb einen Stromtod im Wasser nicht aus. Ein FI-Schutz ist in der Nasszone obligatorisch. Dieser schützt vor Elektrisierung in der Badewanne.

Besonders schwierig ist der Nachweis einer Tötung durch Elektrisierung in der wasservollen Badewanne mit anschliessender Beseitigung der Stromquelle. Verdacht entsteht beim Fehlen von Ertrinkungsbefunden (\blacktriangleright *Ertrinken*), insbesondere wenn das Opfer vorgängig betäubt worden ist (Alkohol, Drogen, Medikamente). Daher ist die Autopsie durch chemisch-toxikologische Analysen zu ergänzen. Die Abklärung des kriminalistischen Umfelds ist Aufgabe der Polizei.

3.3 Weiteres Vorgehen

Der frühzeitige Beizug des Spezialisten des Starkstrominspektorats oder eines unabhängigen elektrotechnischen Sachverständigen ist unumgänglich.

4 LITERATUR / MITGELTENDE UNTERLAGEN

Fachinformationen

- Brinkmann K. u. Schaefer H. (1982) Der Elektrounfall. Springer-Verlag
- Püschel K, Brinkmann B (1979) Zur Histomorphologie vitaler Muskelreaktionen nach Stromschädigung. Beitr Ger Med 37: 141-146
- Brinkmann B, Madea B (2003) Handbuch gerichtliche Medizin. Springer-Verlag
- Madea B (2003) Praxis Rechtsmedizin. Springer-Verlag
- Zack F, Schniers E, Wegener R (2004) Blitzunfall. Rechtsmedizin 14: 396-401

Gesetzliche Grundlagen

- Bundesgesetz vom 24. Juni 1902 betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen (Elektrizitätsgesetz, EleG, SR 734.0): http://www.admin.ch/ch/d/sr/c734_0.html
- Verordnung vom 30. März 1994 über elektrische Schwachstromanlagen (Schwachstromverordnung, SR 734.1): http://www.admin.ch/ch/d/sr/c734_1.html
- Verordnung vom 30. März 1994 über elektrische Starkstromanlagen (Starkstromverordnung, SR 734.2): http://www.admin.ch/ch/d/sr/c734_2.html
- Verordnung vom 7. Dezember 1992 über das Eidgenössische Starkstrominspektorat (SR 734.24): http://www.admin.ch/ch/d/sr/c734_24.html
- Verordnung vom 7. November 2001 über elektrische Niederspannungsinstallationen (Niederspannungs-Installationsverordnung, NIV, SR 734.27): http://www.admin.ch/ch/d/sr/c734_27.html

Links

- Eidgenössisches Starkstrominspektorat ESTI: <http://www.esti.admin.ch/de/>
- SEV Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik: <http://www.electrosuisse.ch/>
- International Electrotechnical Commission, technische Berichte IEC 60479-1 und 60479-2 (Wirkung des Stromes auf den Menschen), bestellbar unter <http://www.iec.ch>
- Blitz-Informationsdienst von Siemens: <http://www.industrysolutions.siemens.com/blids/de/>