

Notfallmedizin *up2date*

4 • 2017

Pädiatrische Notfälle 5

Elektronfälle im Kindes- und Jugendalter

Dominique Singer

VNR: 2760512017152374882
DOI: 10.1055/s-0042-123162
Notfallmedizin up2date 2017; 12 (4): 411–429
ISSN 1611-6550
© 2017 Georg Thieme Verlag KG

Unter dieser Rubrik sind bereits erschienen:

Alpine pädiatrische Notfälle A. G. Brunello, A. Trippel, I. Breitenmoser, R. Albrecht, H. Frima, C. Sommer, C. Mann
Heft 2/2017

Management thermischer Verletzungen im Kindesalter
I. Königs, M. Fattouh Heft 1/2017

Die kardiopulmonale Reanimation von Kindern (Paediatric Life Support) C. Eich, B. Landsleitner Heft 1/2016

Transporte zur ECMO im Kindesalter J.-B. Kleber, T. Schaible
Heft 4/2015

Kindesmisshandlung und -vernachlässigung B. Herrmann
Heft 3/2014

Der plötzliche Säuglingstod – Was muss der Notarzt beachten?
J. Spherhake Heft 2/2014

Akutes Leberversagen bei Kindern und Jugendlichen – Wann tritt es auf, was ist zu tun? R. Ganschow, F. Brinkert, E. Grabhorn Heft 1/2014

Das 1 × 1 der häufigsten Kindernotfälle J. Keil, M. Olivieri, F. Hoffmann Heft 2/2013

Respiratorische Notfälle im Kindesalter C. Dohna-Schwake
Heft 3/2012

Psychologische Aspekte pädiatrischer Notfallsituationen
Pädiatrische Notfälle H. Karutz, R. D'Amelio, F.-G. Pajonk
Heft 2/2012

Analgesie und Narkose im Kindesalter J. Kaufmann, M. Laschat, F. Wappler Heft 1/2012

Notfälle aus der Perspektive der Kinder- und Jugendpsychiatrie und -psychosomatik I. Al-Ameery, D. Brockmann, N. Helle, J. Kleinhanns, K. Lorenzen, C. Bindt Heft 4/2011

Verbrühungen und Verbrennungen im Kindesalter
A. Hennenberger Heft 3/2011

Lebensrettende Maßnahmen bei Neugeborenen und Kindern – neue Leitlinien T. Höhn, M. Sasse Heft 1/2011

Akute Hauterkrankungen im Kindesalter S. Vöhringer, K. Lau, H. Ott Heft 4/2010

Notfalltransporte im Kindesalter F. Tegtmeyer, T. Fischer
Heft 3/2010

Volumentherapie im Kindesalter W. Osthaus, R. Sümpelmann
Heft 2/2010

Herzrhythmusstörungen im Kindesalter J. Janoušek, R. Gebauer, M. Weidenbach Heft 1/2010

Das polytraumatisierte Kind M. Müller, L. Besch, A. Seekamp
Heft 3/2009

Notfälle bei behinderten Kindern T. Bast, H. Ludwig, K.-H. Mücke, W. Voss, K. Brockmann Heft 2/2009

Die foudroyante Sepsis im Kindesalter M. Hufnagel, P. Henneke, M. Krüger, R. Berner Heft 2/2008

Ertrinkungsunfälle im Kindesalter D. Singer Heft 4/2007

Unerwarteter Tod im Säuglingsalter – Schicksal oder Misshandlung? H. Schiffmann Heft 2/2007

Erstversorgung und Reanimation von Neugeborenen
G. Hansmann, C. Bühner, M. Dzierko, T. Höhn Heft 1/2007

Akute Bewusstseinsstörungen im Kindesalter
A. Merckenschlager, T. Kapellen, W. Siekmeyer Heft 2/2006

Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern C. Eich Heft 1/2006

ALLES ONLINE LESEN



Mit der eRef lesen Sie Ihre Zeitschrift: online wie offline, am PC und mobil, alle bereits erschienenen Artikel. Für Abonnenten kostenlos!
<https://eref.thieme.de/notfall-u2d>

JETZT FREISCHALTEN



Sie haben Ihre Zeitschrift noch nicht freigeschaltet? Ein Klick genügt:
www.thieme.de/eref-registrierung

Elektronfälle im Kindes- und Jugendalter

Dominique Singer



Kinder und Jugendliche gehören zu den Hauptrisikogruppen für Elektronfälle. Hier sind Niederspannungsunfälle, Hochspannungsunfälle und Blitzunfälle zu unterscheiden. Dieser Artikel beleuchtet die Pathomechanismen, einige Notfallszenarien sowie die rettungsdienstlichen Erstmaßnahmen.

ABKÜRZUNGEN

ALS	Advanced Life Support
BLS	Basic Life Support
CK	Kreatinkinase
FI-Schalter	Fehlerstromschalter
Hz	Hertz
I	Stromstärke
kA	Kiloampere
kV	Kilovolt
kΩ	Kiloohm
LDH	Laktatdehydrogenase
mA	Milliampere
MV	Megavolt
R	Widerstand
RDC	Residual Current Device
Schuko	Schutzkontakt
V	Volt
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e. V.

Einleitung

Elektronfälle gehören zu den selteneren und daher mit gewissen Unsicherheiten behafteten Notfallereignissen. Dies gilt auch deshalb, weil das Verständnis der zugrunde liegenden Mechanismen einige physikalische bzw. elektrotechnische Vorkenntnisse voraussetzt, die nicht allen freiwilligen Helfern oder professionellen Rettern geläufig sind. Und es gilt umso mehr, als zu den Hauptrisikogruppen für Elektronfälle Kinder und Jugendliche gehören, deren Notfallversorgung ohnehin angstbesetzt ist und die sonst weniger in technische Notfälle verwickelt sind.

Daher soll das Thema Elektronfälle im Kindesalter hier zum Anlass genommen werden, zunächst die Pathomechanismen des Elektronfalls allgemein zu erörtern und dann verschiedene typische Notfallszenarien – nicht nur, aber auch im Kindes- und Jugendalter – zu betrach-

ten. Abschließend sollen die Grundlagen der Rettung und Reanimation bzw. der traumatologischen Erstversorgung sowie die Bedeutung von Prävention und Eigenschutz aufgezeigt werden.

Epidemiologie

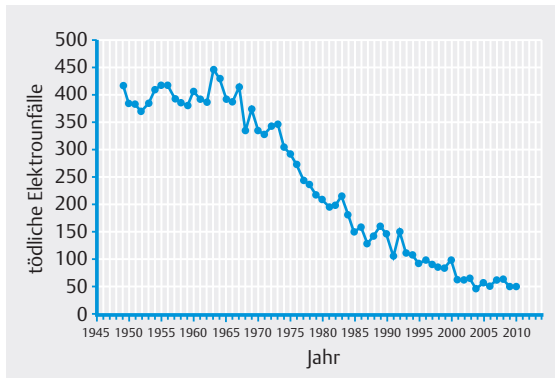
Zu Elektronfällen gibt es nur wenige verlässliche epidemiologische Daten. Am ehesten verwertbar sind die Zahlen der Berufsgenossenschaften, die vergleichsweise detaillierte Statistiken über Arbeitsunfälle führen. Daneben besteht eine Dunkelziffer, da für Elektronfälle, die sich im Haushalt und in der Freizeit ereignen, keine Meldepflicht besteht und einige möglicherweise auch übersehen werden.

Merke

Betrachtet man die verfügbaren Angaben aus der offiziellen Todesursachenstatistik, so wird deutlich, dass die Häufigkeit von tödlichen Elektronfällen von den 1960er-Jahren bis heute – bedingt durch striktere Sicherheitsvorschriften und verbesserte Schutzeinrichtungen – kontinuierlich abgenommen hat (► Abb. 1).

Grob geschätzt muss davon ausgegangen werden, dass sich gegenwärtig in Deutschland noch 50–100 Todesfälle durch Stromeinwirkung pro Jahr ereignen (S. Altmann, persönl. Mitteilung, Leipzig 2014, u. [1]).

Aus größeren Fallserien, beispielsweise einer mehrjährigen Auswertung der Berliner Charité [2], geht außerdem hervor, dass es zwei Häufigkeitsgipfel gibt, einen ersten im Kleinkindesalter und einen zweiten im Adoleszenten- bzw. jungen Berufstätigkeitsalter. Dabei ist bemerkenswerterweise – ähnlich wie es auch von Ertrinkungsunfällen bekannt ist [3] – schon im Kleinkindesalter das männliche Geschlecht häufiger betroffen als das weibliche.



► **Abb. 1** Epidemiologische Daten: Jährliche Anzahl der Stromtoden von der Nachkriegszeit bis in die Gegenwart. Die Zahlen vor 1989 sind Summenwerte aus BRD und DDR, danach Angaben des Statistischen Bundesamtes für Gesamtdeutschland. Man beachte die kontinuierliche Abnahme tödlicher Elektrounfälle seit den 1960er-Jahren. Über diese Zahlen hinaus besteht eine Dunkelziffer nicht erfasster oder übersehener Unfallereignisse.

Das Risiko, von einem Blitz getroffen zu werden, hängt naturgemäß von geografischen Faktoren (Gewitterhäufigkeit) und von der individuellen Lebensweise bzw. beruflichen Exposition (Freizeitsportler, Landarbeiter) ab. Die Letalität von Blitzunfällen wird auf 25% geschätzt; im Schnitt ereignen sich in Deutschland 5–10 tödliche Blitzunfälle pro Jahr [4, 5].

Physikalische Grundlagen

Grundsätzlich werden in der Elektrotechnik drei Spannungsbereiche unterschieden (► **Tab. 1**):

- Als **Kleinspannungen** werden Wechselspannungen bis 50 V (bzw. Gleichspannungen bis 120 V) bezeichnet, die üblicherweise (wenn auch nicht ausnahmslos) beliebig lange berührt werden könnten, ohne dass nachteilige Auswirkungen zu befürchten wären (Berührungsspannung).
- Unter **Niederspannungen** versteht man Wechselspannungen bis 1000 V (bzw. Gleichspannungen bis 1500 V).
- Unter **Hochspannungen** werden Wechselspannungen über 1000 V (bzw. Gleichspannungen über 1500 V) zusammengefasst.

In der Praxis wird die Grenze allerdings oft bei 500 V gezogen, sodass Unfälle im U-Bahn-Gleisbett (750 V Gleichstromschiene) bereits zu den Hochspannungsunfällen gezählt werden.

- **Blitze** stellen nach dieser Einteilung einen Sonderfall der Hochspannungsunfälle dar, nicht nur wegen ihrer natürlichen Genese, sondern auch wegen der Kombination exzessiv hoher Spannungen mit einer extrem kurzen Einwirkdauer (s. u.).

Ungeachtet dieser zunächst übersichtlich erscheinenden Einteilung hängt die biologische Stromwirkung neben der Spannung von einer ganzen Reihe weiterer physikalischer Faktoren ab.

So ist Wechselspannung, wie aus den vorgenannten Grenzen ersichtlich ist, gefährlicher als Gleichspannung, weil sie durch die repetitiven Umpolungen einen besonderen arrhythmogenen Reiz auf das Myokard ausübt. Hier spielt auch die Wechselspannungsfrequenz eine Rolle, wobei die in den europäischen Stromnetzen üblichen 50 Hz ausgerechnet besonders proarrhythmisch sind. Niedrigere Frequenzen (wie die 16,7 Hz im Eisenbahnhochspannungsnetz) haben einen vergleichsweise geringeren rhythmusstörungs auslösenden Effekt, höhere entwickeln vornehmlich Wärmewirkungen (Diathermie).

Neben Höhe und Art der Spannung sind die elektrischen Widerstände (bzw. Impedanzen) außerhalb und innerhalb des Körpers von Bedeutung, aus denen sich – nach dem Ohm'schen Gesetz (s. Infobox „Hintergrundwissen“) – die Stromstärke ableitet.

HINTERGRUNDWISSEN

Das Ohm'sche Gesetz

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

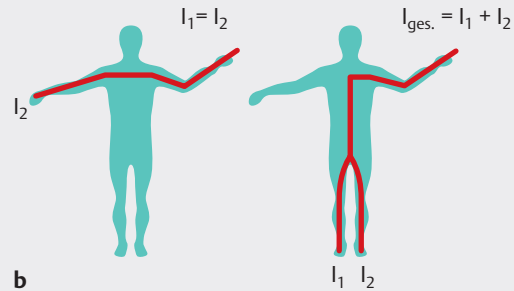
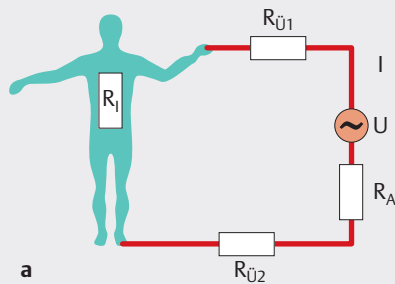
Der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers beträgt rund 1 k Ω , bei einem unmittelbaren Kontakt mit einer Steckdosenspannung von 220 Volt ergäbe sich rein rechnerisch also eine Stromstärke von 220 mA, die sich aber durch vor- oder nachgeschaltete Widerstände entsprechend reduzieren kann (► **Abb. 2 a**).

► **Tab. 1** Technische Einteilung der elektrischen Spannung.

	Wechselspannung	Gleichspannung
Kleinspannung	≤ 50 V	≤ 120 V
Niederspannung	≤ 1000 V (1 kV)	≤ 1500 V (1,5 kV)
Hochspannung	> 1000 V (1 kV)	> 1500 V (1,5 kV)

$$R_{\text{ges.}} = R_A + R_{\text{Ü1}} + R_{\text{Ü2}} + R_i$$

$$I = U/R_{\text{ges.}}$$



► **Abb. 2** Physikalische Gesetze.

a Nach dem Ohm'schen Gesetz ergibt sich die Stromstärke aus dem Quotienten aus Spannung und Widerstand, in Serie geschaltete Widerstände addieren sich zu einem Gesamtwiderstand. Beim Elektrounfall ergibt sich der Gesamtwiderstand aus dem Widerstand im Außenstromkreis (R_A), aus den Übergangswiderständen an der Stromein- und -austrittsstelle ($R_{\text{Ü1}}$, $R_{\text{Ü2}}$) sowie dem Körperinnenwiderstand (R_i), der beim Menschen ca. 1 k Ω beträgt.

b Nach dem Kirchhoff'schen Verzweigungsgesetz (Knotenregel) addieren sich die Stromstärken in Parallelstromkreisen zu einer Gesamtstromstärke im Hauptstromkreis. Dadurch kann beim Stromfluss von einer Hand zu beiden Füßen eine höhere (durch den Rumpf fließende) Stromstärke zustande kommen als beim Stromfluss von einer Hand zur anderen.

Neben der Stromstärke an sich spielt für den biologischen Effekt auch die Stromflussdichte, also die Stromstärke pro Flächeneinheit, eine Rolle: Wenn der Strom über eine sehr kleine Kontaktfläche ein- oder austritt, entsteht – ähnlich wie bei einem medizinisch genutzten Elektrokauter – eine erhebliche Joule'sche Wärme mit der Folge lokaler Verbrennungen. Weitere Determinanten der Gefährlichkeit sind der Stromweg, von dem es abhängt, ob das Myokard überhaupt im Stromkreis liegt, sowie die Stromflussdauer, mit der die Wahrscheinlichkeit ansteigt, dass der elektrische Reiz in die vulnerable Periode der Herzaktion trifft und Kammerflimmern auslöst (s. Infobox).

INFOBOX

Technische Determinanten der biologischen Stromwirkung

- Höhe der Spannung:
 - Kleinspannung
 - Niederspannung
 - Hochspannung
- Art der Spannung:
 - Gleichspannung
 - Wechselspannung
- Wechselspannungsfrequenz
- Widerstand
 - innere/äußere/Übergangs-Widerstände
- Stromstärke/Stromflussdichte
- Stromweg
- Stromflussdauer

Die Vielzahl an Einflussfaktoren erklärt, warum es sehr schwer fällt, Elektrounfälle systematisch zu erfassen. Im Folgenden soll daher, um eine gewisse Übersichtlichkeit zu wahren, an der traditionellen Einteilung in Niederspannungs-, Hochspannungs- und Blitzunfälle festgehalten werden.

Niederspannungsunfälle

Zu den Niederspannungsunfällen zählen die typischen Haushalts- und Freizeitunfälle, oft in Hobbykellern, Badezimmern oder Gartenanlagen, aber auch Arbeitsunfälle durch unsachgemäße Montage- und Installationsarbeiten.

Aus berufsgenossenschaftlichen Statistiken geht hervor, dass die Niederspannungsunfälle mit 95% den mit Abstand größten Teil aller gewerblichen Elektrounfälle ausmachen, wohingegen sich die Hochspannungsunfälle nur auf knapp 5% belaufen [1]. Betrachtet man jedoch die tödlichen Ausgänge, so verteilen sich diese je zur Hälfte auf Nieder- und Hochspannung, woraus zu folgern ist, dass die Niederspannungsunfälle – ohne ihre Gefährlichkeit zu verharmlosen – insgesamt eine erheblich geringere Letalität aufweisen (► **Tab. 2**, mod. nach [1]).

Technische Einflussfaktoren

Stromflussweg

Die Gefährlichkeit eines Niederspannungsunfalls wird u. a. durch den Stromflussweg bestimmt, und zwar nicht nur – wie schon erwähnt – über die Frage, ob der Herzmuskel überhaupt durchströmt wird, sondern auch we-

INFOBOX

Die vulnerable Periode der Herzaktion

Als vulnerabel wird diejenige Periode der Herzaktion bezeichnet, in der durch einfallende Erregungen – seien es Extrasystolen oder Stromschläge – besonders leicht kritische Herzrhythmusstörungen ausgelöst werden können (► **Abb. 3**, mod. nach [1, 29]).

Herzkammern

Im EKG fällt die vulnerable Periode mit der aufsteigenden Flanke der T-Welle, entsprechend der beginnenden Erregungsrückbildung der Herzkammern, zusammen. In dieser Phase der Herzaktion sind Teile des Ventrikelmuskels noch erregt/refraktär und andere bereits wieder erregbar, sodass eine frühzeitig einfallende neue Erregung der soeben abklingenden unmittelbar hinterherlaufen (sog. Reentry-Mechanismus) und dadurch eine kreisende Erregung hervorrufen kann. Das resultierende Kammerflimmern kommt funktionell einem Herzstillstand gleich.

Vorhöfe

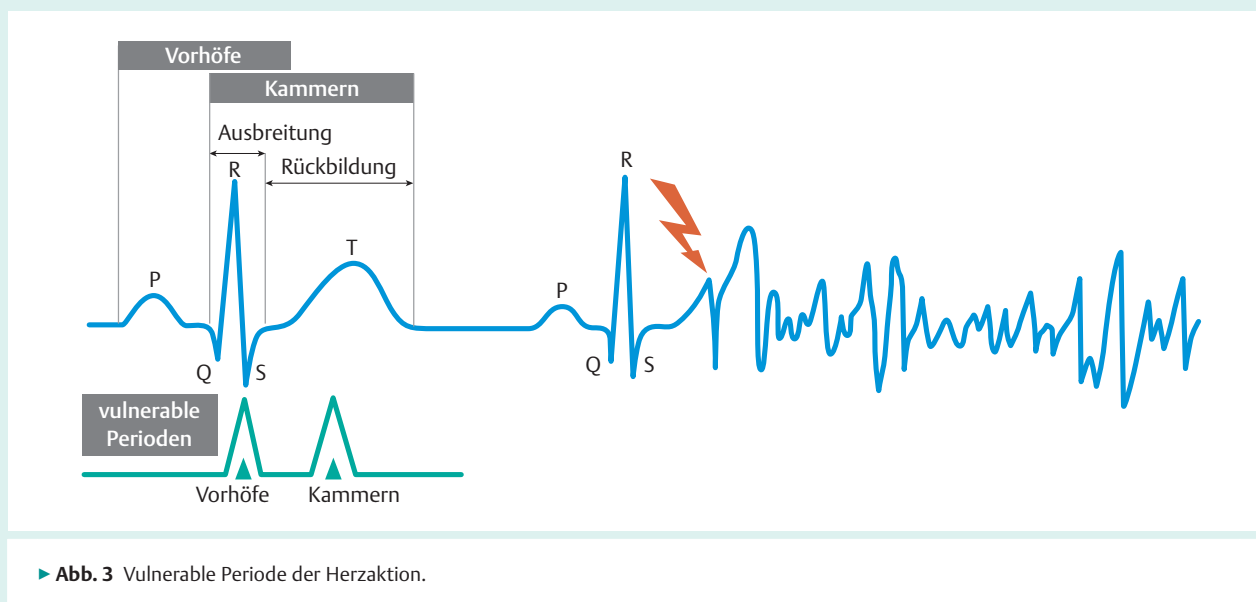
Wie für die Herzkammern gibt es auch für die Vorhöfe eine vulnerable Periode. Sie findet sich während der beginnenden Erregungsrückbildung des atrialen Myokards, welche im EKG jedoch in der Erregungsausbreitung über die Kammern (QRS-Komplex) untergeht; auch sind supraventrikuläre Arrhythmien im Allgemeinen weniger bedrohlich als ventrikuläre.

Art der Spannung

Der Umstand, dass elektrische **Wechselspannung**, was die Auslösung kardialer Rhythmusstörungen anbelangt, gefährlicher ist als Gleichspannung, hängt mit den Kondensatoreigenschaften erregbarer biologischer Membranen zusammen, die folglich (nur) für Wechselstrom durchlässig sind und durch ihn repetitiv umgepolt werden (es handelt sich um den gleichen Grund, aus dem eine biphasische Defibrillation effektiver ist als eine monophasische). An jedem Kondensator nimmt mit steigender Frequenz zwar die Anzahl der Potenzialverschiebungen zu, aber deren Höhe ab. Bei einer Wechselspannung von 220 V und 50 Hz scheint am menschlichen Myokard gerade eine maximal arrhythmogene Kombination aus Anzahl und Höhe der Umpolungen erreicht zu sein.

Dauer des Stromflusses

Der Einfluss der Stromflussdauer ergibt sich u. a. aus der statistischen Wahrscheinlichkeit, dass ein elektrischer Schlag in die vulnerable Periode der Herzaktion trifft (Prinzip russisches Roulette). Andererseits ist das Kammermyokard zwar vorzugsweise, aber nicht ausschließlich in der vulnerablen Periode extern erregbar, sodass bei ausreichend hohen Stromstärken die Bedeutung der Stromflussdauer in den Hintergrund tritt.



► **Abb. 3** Vulnerable Periode der Herzaktion.

► **Tab. 2** Häufigkeit und Gefährlichkeit von Elektrounfällen in Abhängigkeit von der Spannung: Während Niederspannungsunfälle den mit Abstand größten Anteil aller (gewerblichen) Elektrounfälle ausmachen, verteilen sich die Todesfälle zu etwa gleichen Teilen auf Nieder- und Hochspannungsunfälle. Dies belegt die weitaus höhere vitale Gefährdung, die von Hochspannungs- im Vergleich zu Niederspannungsunfällen ausgeht.

Spannung	Anteil Unfälle (%)	Anteil Todesfälle (%)
Niederspannung	95,2	54,7
Hochspannung	4,8	45,3

► **Tab. 3** Gefährlichkeit und Häufigkeit von Elektrounfällen in Abhängigkeit vom Stromflussweg: Gegenüber Hand–Hand-Unfällen ist die Letalität bei Hand–Füße- bzw. Hände–Fuß- oder gar Hände–Füße-Unfällen – entsprechend den höheren Stromstärken – erhöht. Trotz der vergleichsweise geringeren Letalität machen Hand–Hand-Unfälle aber aufgrund der höheren Gesamthäufigkeit etwa die Hälfte der (gewerblichen) Stromtodesfälle aus.

Stromflussweg	Anteil Todesfälle (%)	Letalität (%)
Hand–Hand	48,5	2,8
Hand–Füße (bzw. Hände–Fuß)	10,7	6,1
Hände–Füße	11,8	18,7

gen unterschiedlicher resultierender Stromstärken [6]. Im Vergleich zu dem Stromflussweg von Hand zu Hand kann, wenn der Strom beispielsweise über eine Hand ein- und über beide Füße austritt, eine mindestens doppelt so hohe Stromstärke resultieren (► **Abb. 2b**). Physikalische Grundlage hierfür ist das Kirchhoff'sche Verzweigungsgesetz (Knotenregel), dem zufolge sich die Teilstromstärken in Parallelstromkreisen zu einer Gesamtstromstärke im Hauptstromkreis addieren.

Folgerichtig belegen Unfallstatistiken, dass der Stromflussweg Hand–Füße bzw. Hände–Fuß (oder gar Hände–Füße) mit einer höheren Letalität behaftet ist als der Stromflussweg Hand–Hand (► **Tab. 3**, mod. nach [7]). Gleichwohl überwiegen an der Gesamtheit der tödlich verlaufenden Elektrounfälle die Hand–Hand-Unfälle [7], was auf deren höhere absolute Häufigkeit, mitbedingt durch die in diesen Fällen fehlende Schutzwirkung von sog. Fehlerstromschaltern (s. u.), zurückzuführen ist.

Stromflussdauer

Neben der sich aus dem Stromweg ergebenden herzwirksamen Stromstärke spielt die Stromflussdauer eine entscheidende Rolle für die Risikobewertung. Dieser Zusammenhang ist sowohl tierexperimentell untersucht als auch durch sorgfältige Rekonstruktion gut dokumentierter Elektrounfälle bestätigt worden: Danach stieg mit einer Zunahme der Durchströmungsdauer von 300 ms auf 3 s die Letalität bei Niederspannungsunfällen von 1,3 auf 5,8% und bei Hochspannungsunfällen von 9,4 auf 24,2% [7]. Dies hat, wie schon weiter oben angedeutet, vor allem damit zu tun, dass mit längerer Expositionsdauer das Risiko zunimmt, dass der Strom auf die sog. vulnerable Periode der elektrischen Herzaktion trifft, in der

Kammerflimmern und damit ein funktioneller Herz-Kreislauf-Stillstand besonders leicht ausgelöst werden kann (s. o. Infobox u. ► **Abb. 3**).

Der Umstand, dass eine Restletalität auch bei Einwirkdauern besteht, die rein elektrotechnisch betrachtet noch unerschwellig sein sollten, beruht darauf, dass es durch Stromschläge mitunter zu unkontrollierten Schreckreaktionen kommt, die – etwa durch einen unglücklichen Sturz – ihrerseits tödlich enden können.

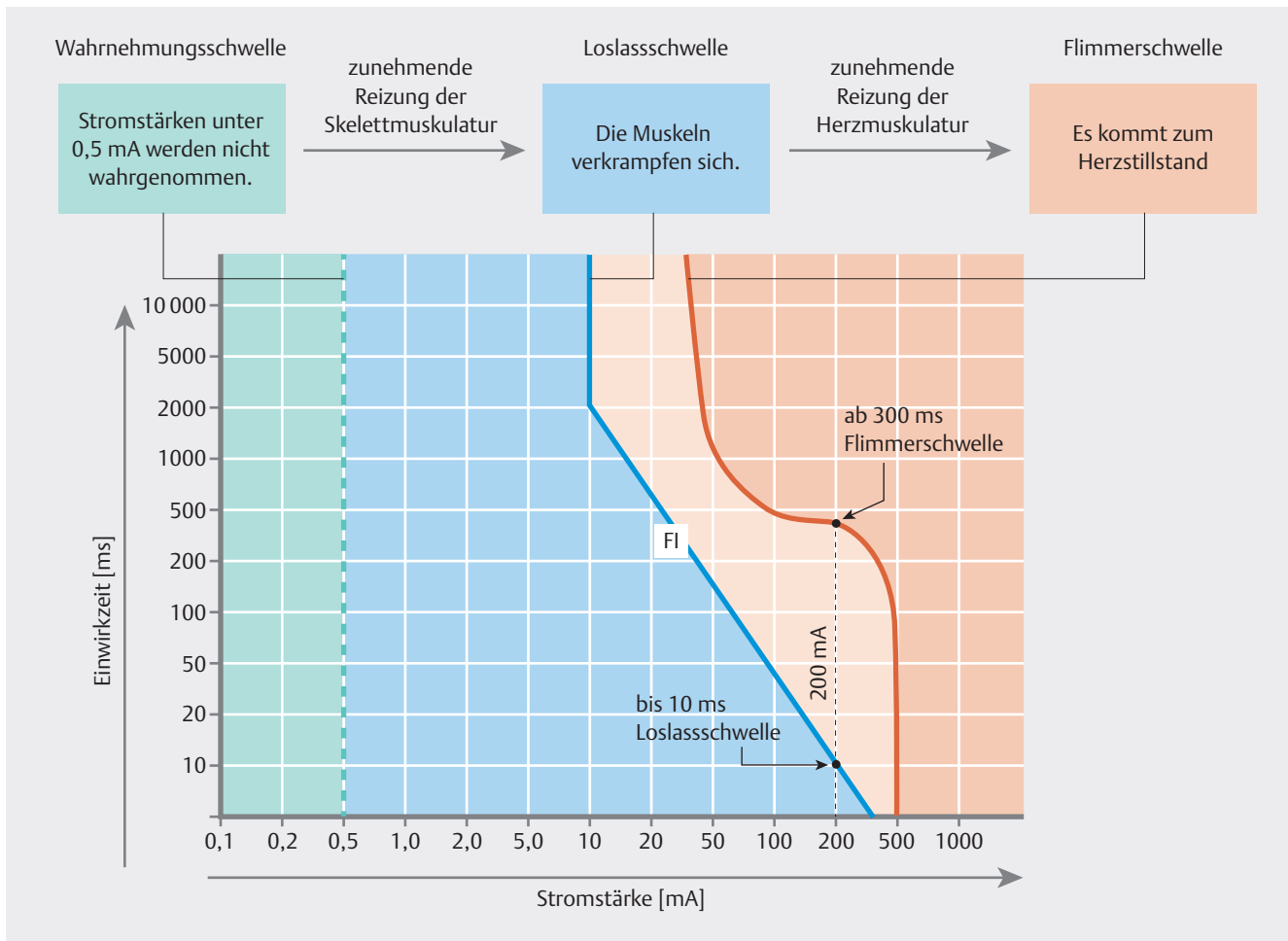
Schwellenomogramm

Der kombinierten Bedeutung von Stromstärke einer- und Stromflussdauer andererseits wird in einem elektrotechnischen Nomogramm Rechnung getragen, in dem auf der Abszisse die Stromstärken und auf der Ordinate die Expositionszeiten aufgetragen und in das drei Grenzlinien eingezeichnet sind (► **Abb. 4**):

- die Wahrnehmungsschwelle,
- die Loslassschwelle und
- die Flimmerschwelle.

Unterhalb der **Wahrnehmungsschwelle** von 0,5 mA kann eine Stromquelle ohne subjektive Missempfindungen oder objektive Risiken berührt werden. Oberhalb dieser Grenze wird bereits ein mehr oder weniger deutliches Kribbeln spürbar, jedoch sind noch keine schädlichen physiologischen Auswirkungen zu erwarten, die spannungsführenden Teile können jederzeit willentlich losgelassen werden.

Jenseits der **Loslassschwelle** findet sich dann zunächst ein vergleichsweise schmaler Bereich, in dem Muskelkontraktionen, begleitet von noch unkritischen kardialen



► **Abb. 4** Effekte des elektrischen Stroms in Abhängigkeit von Stromstärke und Einwirkzeit. Während die Wahrnehmungsschwelle bei einer Stromstärke von 0,5 mA erreicht wird, sind die Loslass- und die Flimmerschwelle zusätzlich stark von der Stromflussdauer abhängig. Eine Stromstärke von 200 mA liegt bei 10 ms noch auf der Loslass-, bei 300 ms jedoch bereits auf der Flimmerschwelle. Jenseits von 500 mA kann unabhängig von der Expositionszeit Kammerflimmern auftreten. Fehlerstromschalter (FI-Schalter) sorgen dafür, dass akzidentelle Körperströme unterhalb der Loslassschwelle bleiben.

Arrhythmien, einsetzen, wobei diese Muskelkontraktionen sowohl Atemstörungen (durch Verkrampfung der Interkostalmuskulatur) verursachen als auch dazu führen können, dass die stromführenden Teile krampfhaft umklammert werden. Alle diese Störungen bleiben jedoch normalerweise reversibel.

Jenseits der **Flimmerschwelle** droht dagegen ein Herz- und Atemstillstand, begleitet von mehr oder weniger ausgeprägten Verbrennungen, und somit eine irreversible oder gar letale Schädigung.

Bemerkenswerterweise lassen sich sowohl die Loslass- als auch die Flimmerschwelle nicht einer bestimmten Stromstärke zuordnen, sondern hängen stark von der Expositionszeit ab. Besonders deutlich wird dies am Beispiel einer Stromstärke um 200 mA, also genau derjenigen Stromstärke, die bei direkter Berührung des Körpers (Innenwiderstand ca. 1 k Ω) mit einer Steckdosenspannung

(von 220 V) zustande käme (s.o.): Während sich diese Stromstärke bei einer Expositionszeit von 10 ms noch eben auf der Loslassschwelle befindet, wird mit derselben Stromstärke bei einer Durchströmungsdauer von 300 ms bereits die Flimmerschwelle erreicht. So kann infolge des krampfhaften Umklammerns stromführender Teile auch eine Stromexposition tödlich enden, die bei kurzer Einwirkung bzw. raschem Loslassen hätte überlebt werden können.

Schutzvorrichtungen

Aufgrund der Bedeutung der Expositionszeit zielen moderne technische Schutzvorrichtungen darauf ab, nicht nur die Stromstärke zu begrenzen, sondern vor allem deren Einwirkdauer in einem unterkritischen Bereich zu halten. Hierzu dienen die sog. Fehlerstromschalter (FI-Schalter), die auch als Residual Current Devices (RCD) bezeichnet werden und von den sogenannten Schutzleitern unterschieden werden müssen:



► **Abb. 5** Strommarken an der Hand eines Kleinkindes (mit freundlicher Genehmigung von Dr. I. Königs, Altonaer Krankenhaus, Hamburg).

Schutzleiter

Durch die herkömmlichen Schutzleiter werden metallische Gehäuseteile von Haushaltsgeräten geerdet, sodass bei einem Isolationsfehler, durch den diese unter Spannung geraten könnten, sofort ein Kurzschlussstrom auftritt, der auch zum Herausspringen der Sicherung führt. Die Schutzwirkung wird noch dadurch verstärkt, dass beim Einführen des Gerätesteckers in die Steckdose die Schutzkontakte als erstes geschlossen werden und damit die Sicherungserdung vorauseilend hergestellt wird.

Fehlerstromschalter (FI-Schalter)

Durch Fehlerstromschalter, deren Einbau mittlerweile in allen Haushalten vorgeschrieben ist, wird ein zusätzlicher Schutz für den Fall gewährleistet, dass die Schutzleiter nicht oder nicht korrekt angebracht sind (eine nicht seltene Ursache von Elektrounfällen im häuslichen Bereich!), oder dass ein Kontakt mit stromführenden Teilen außerhalb des isolierenden und/oder geerdeten Gehäuses auftritt (z. B. mit einem an der Eintrittsstelle in einen Haarföhn gebrochenen und dadurch freiliegenden Netzkabel).

Merke

Fehlerstromschalter (FI-Schalter) sorgen dafür, dass akzidentelle Körperströme unterhalb der Loslassschwelle bleiben.

Eine solche Residual Current Device (RCD) besteht im Kern aus zwei gegensinnigen Ankerwicklungen, die in den zu- bzw. abführenden Schenkel eines Stromkreises geschaltet werden. Bei korrekter Funktion eines Elektrogerätes sind die Stromstärken in beiden Schenkeln des Stromkreises gleich, sodass sich die resultierenden Induktionseffekte gegenseitig aufheben. Liegt dagegen ein Isolationsfehler vor, und kommt ein Mensch mit dem Leiter in Berührung, so fließt ein zusätzlicher Strom über die exponierte Person gegen Erde ab. Daraus folgt, dass die Stromstärke im abführenden Schenkel des Stromkreises geringer ist als im zuführenden Schenkel, in dem der Summenstrom aus Geräte- und Fehlerstrom fließt. Durch diese unterschiedlichen Stromstärken resultiert in den gegensinnigen Ankerwicklungen des RCD-Relais ein elektromagnetischer Nettoeffekt, durch den der Stromkreis allpolig unterbrochen wird.

Über einen Testknopf kann ein solcher Fehlerstrom simuliert und die Funktionsfähigkeit des Schalters (nur des Schalters!) überprüft werden. Die modernen FI-Schalter sind so ausgelegt, dass sie bei Fehlerströmen von 30 mA innerhalb von maximal 300 ms (bei höheren Stromstärken entsprechend schneller) ansprechen und damit unter der Loslassschwelle des soeben erläuterten Nominogramms bleiben.

Das bedeutet, dass in der Regel auch bei direktem Kontakt mit der Phase einer Steckdose ein Schutz bestehen sollte, der allerdings nie 100%ig sein kann. Überdies ist zu beachten, dass aufgrund des Funktionsprinzips der RCD die Schutzwirkung nur dann besteht, wenn ein Fehlerstrom gegen Erde abfließt.

Cave

Kommt etwa ein Kind über zwei spitze Gegenstände in der rechten und in der linken Hand mit den beiden Polen einer Steckdose in Berührung, so fließt von Hand zu Hand ein regulärer Strom (die Stromstärken im zu- und abführenden Schenkel sind gleich!), sodass der Fehlerstromschalter nicht auslösen wird. Dieser Umstand kann u. a. dazu beitragen, dass Hand-Hand-Unfälle, wie oben erwähnt, weiterhin den größten Teil der tödlich verlaufenden Elektrounfälle ausmachen (s. o.).

Unfallmechanismen und -folgen

Vor der flächendeckenden Einführung von FI-Schaltern war der Abfluss eines Fehlerstroms gegen Erde der wohl häufigste Unfallmechanismus bei Niederspannungsunfällen. Er kommt immer dann zustande, wenn eine Person mit spannungsführenden Teilen in Berührung kommt und sich zugleich auf nicht gut isolierendem Untergrund befindet. Beispiele sind der Kontakt mit defekten Stromkabeln im Garten oder Badezimmer oder das versehentlich in eine Badewanne gestürzte (bzw. vorsätzlich hineingeworfene!) Elektrogerät (vgl. auch Fallbeispiel 1).

Dieser Unfallmechanismus hinterlässt in denjenigen Fällen, in denen der Strom über eine umschriebene Stelle des Körpers ein- oder austritt, sog. Strommarken, also lokale Verbrennungen infolge der resultierenden Joule'schen Wärme bei hoher Stromflussdichte (s.o.) (► **Abb. 5**) [4, 8].

■ Cave

Die Strommarken können mitunter sehr diskret (etwa unter dem Nagelbett versteckt) sein und daher bei einer nicht äußerst gewissenhaft durchgeführten Leichenschau übersehen werden, was ggf. zum Nichterkennen einer drohenden Gefahr für weitere Personen oder gar eines nicht akzidentellen Unfallmechanismus (Tötungsdeliktes) führen kann.

Ein besonderer Unfallmechanismus bei älteren Säuglingen und jüngeren Kleinkindern ist, bedingt durch das für diese Altersgruppe typische orale Erkundungsverhalten, der Biss auf Elektrokabel, durch den schwere Verbrennungen mit resultierenden großflächigen Nekrosen in der Mundregion entstehen können, die dann erhebliche plastisch-chirurgische Probleme nach sich ziehen [9].

Erwähnenswert, wenn auch für das Kindesalter weniger bedeutsam, ist außerdem der Umstand, dass es schon im Niederspannungsbereich zu Spannungsüberschlägen (Lichtbögen) kommen kann; ursächlich hierfür sind meist unsachgemäße Montagearbeiten an Schalt- oder Verteilerkästen. Die Exposition gegenüber solchen Funkenentladungen führt durch die große Hitzeentwicklung zu strahlungswärmebedingten Oberflächenverbrennungen (sog. flash burns), von denen oft auch die Augen (Kerato-

conjunctivitis photoelectrica, Verblitzung) betroffen sind (S. Altmann, persönl. Mitteilung, Leipzig 2014).

Neben diesen lokalen (thermischen) Folgen können Niederspannungsunfälle, sofern sie nicht unmittelbar tödlich enden, eine Reihe systemischer Konsequenzen haben, die allerdings nur bedingt Outcome-relevant sind. In einer größeren türkischen Analyse von 31 überlebten und 5 nicht überlebten Niederspannungsunfällen im Kindesalter (< 17 Jahre) waren nur die schwere initiale Bewusstseinsstörung, der schwere initiale Schockzustand (mit begleitender Tachykardie und LDH-Erhöhung) und der langdauernde Intensivaufenthalt signifikant mit einem späteren letalen Ausgang korreliert; hingegen bestand weder bezüglich initialer kardialer Arrhythmien noch hinsichtlich myokardspezifischer Laborwerte wie CK oder Troponin T ein Unterschied zwischen überlebenden und nicht überlebenden Patienten [10].

■ Merke

Es sind also weniger einzelne stromspezifische (Labor-)Symptome als vielmehr die basalen Vitalparameter des Patienten nach der Erstversorgung, die den Schweregrad und das Outcome nach Niederspannungsunfällen im Kindesalter determinieren: Je schwerer die initiale Beeinträchtigung, desto ungünstiger das Outcome.

Hochspannungsunfälle

Hochspannungsunfälle ereignen sich an Transformatorstationen, Hochspannungsmasten oder Oberleitungen der Eisenbahn.

Durch die sehr hohen Spannungen und die entsprechend hohen Stromstärken kommt es hier zu schwersten Verbrennungen bzw. – bedingt durch die schlagartige Verdampfung von Wasser – zum explosiven Zerplatzen der Gewebe. Gleichzeitig sind die Einwirkzeiten oft sehr kurz, und die arrhythmogenen Effekte stehen nicht im Vordergrund, sodass die thermomechanischen Auswirkungen die elektrophysiologischen Folgen überwiegen können und ein primäres Überleben mit schweren Verbrennungen zwar nicht wahrscheinlich, aber auch nicht unmöglich ist.

Während der direkte Kontakt mit einem hochspannungsführenden Leiter – etwa der sog. Sammelschiene eines Umspanntransformators – durch die schlagartig auftretende Verkohlungs- und Zerplatzung des Körpers praktisch immer tödlich endet (S. Altmann, persönl. Mitteilung, Leipzig 2014), kommt es bei unvorsichtiger Annäherung an Hochspannungsleitungen oftmals schon vor deren unmittelbarer Berührung zu einem Lichtbogenüberschlag.

FALLBEISPIEL 1

In der Rubrik Nachrichten aus Leipzig berichtete die Regionalausgabe der Bild-Zeitung am 9. Juni 1992 unter der Schlagzeile *Stromschlag unter der Dusche – Stefanie (3) tot* von einem besonders tragischen Elektrounfall im Kleinkindesalter. Opfer war ein 3-jähriges Mädchen, das an einem Sonntagmorgen, nachdem es mit der Brause in der Hand fröhlich unter der Dusche geplanschelt hatte, von seinen Eltern leblos aufgefunden wurde. Der herbeigerufene Notarzt konnte nur noch den Tod feststellen.

Nach den polizeilichen Ermittlungen hatte ein Wasserstrahl aus der Brause die einzige nicht mit einer Kindersicherung versehene Steckdose des Haushalts im Badezimmer getroffen und den Strom über das in der Wanne befindliche Mädchen abgeleitet.

Durch Absicherung des Stromkreises mit einem FI-Schalter bzw. Residual Current Device (RCD) wäre dieser Unfall wahrscheinlich zu verhüten, durch eine (ggf. unter telefonischer Anleitung) umgehend eingeleitete kardiopulmonale Reanimation das Kind möglicherweise zu retten gewesen.

DEFINITION

Lichtbogen

Als Lichtbogen bezeichnet man eine Funkenentladung, die sich im Umkreis von hochspannungsführenden Leitern gegenüber geerdeten Gegenständen oder Personen ereignen kann.

Merke

Bei 15-kV-Bahnoberleitungen ist daher ein minimaler (!) Sicherheitsabstand von 1,5 m, bei 110-kV-Überlandleitungen von 3 m einzuhalten (► Tab. 4).

Der Lichtbogen führt zu einem Starkstromdurchtritt durch den Körper, der im Allgemeinen mit deutlichen Verbrennungen (Strommarken) an der Ein- und Austrittsstelle einhergeht [6]. Zugleich tritt eine Bewusstlosigkeit mit oder ohne Herzstillstand ein, die allein durch das Herabstürzen von einem z. B. in betrunkenem Zustand erklimmenen Hochspannungsmast zum Tode führen kann. In vielen Fällen bleibt das Unfallopfer aber an dem Hochspannungsmasten hängen oder auf dem z. B. im Rahmen einer Mutprobe bestiegenen Eisenbahnwaggon liegen (vgl. auch Fallbeispiel 2), was die Rettungsmannschaften in eine schwierige Situation bringt.

Cave

Anders als im Haushalt darf nämlich bei Hochspannungsunfällen nicht davon ausgegangen werden, dass durch den entstandenen Kurzschluss die Sicherung im Elektrizitätswerk herausgesprungen ist.

Vielmehr kommt es hier, ggf. nach kurzer Pause, zu einer automatischen Wiedereinschaltung der Spannung, so dass für das Notfallteam bei Erklettern eines Hochspannungsmastes oder Rettung von einem Eisenbahnwaggon die gleiche Gefahr (eines Lichtbogenüberschlages) wieder besteht.

PRAXISTIPP

Technische Rettung

Es ist also zwingend erforderlich, dass Rettungsmaßnahmen erst begonnen werden, nachdem von qualifiziertem und eigens dafür ausgerüstetem Personal der Energieversorger und/oder der Feuerwehr die Hochspannung abgeschaltet und die Oberleitung zusätzlich vor und hinter dem Unfallort geerdet wurde [11].

► **Tab. 4** Empfohlene Mindestsicherheitsabstände zu Hochspannungsleitungen (zur Vermeidung von Lichtbogenüberschlag)

Art der Hochspannungsleitung	empfohlener Mindestsicherheitsabstand
15 kV – Bahnoberleitung	1,5 m
110 kV – Überlandleitung	3,0 m

FALLBEISPIEL 2

Am 16. August 2012 berichtete die Neue Osnabrücker Zeitung unter der Überschrift *Stromschlag: Junge Frau schwer verletzt. Wieder Unfall am Rangierbahnhof – Auf Waggon geklettert – Lebensgefährliche Verbrennungen* von einem 21-jährigen Mädchen, das nach einem Diskothekenbesuch trotz fehlenden Alkoholkonsums mit seinem neuen Freund auf einen Eisenbahnwagen klettern wollte und sich dabei durch einen Lichtbogenüberschlag schwerste Brandverletzungen zuzog.

Der Fall Vanessa, so der Name des betroffenen Unfallopfers, ist später zum Gegenstand eines Aufklärungsfilms der Bundespolizei unter dem Titel *Achtung Bahnstrom! 15000 Volt sind tödlich. Sucht Euch was anderes!* gemacht worden. Der Film ist unter der URL https://www.bundespolizei.de/Web/DE/Service/Mediathek/Videos/Bahnstrom/bahnstrom-hauptfilm_video.html online abrufbar und wird von einem Begleitheft für den Schulunterricht [12] sowie Informationsflyern für Jugendliche und Erwachsene ergänzt.

Mit dieser Aufklärungskampagne soll nicht nur jugendlichem Leichtsinn entgegengewirkt, sondern auch verhindert werden, dass sich Begleitpersonen bei dem Versuch, einer verunglückten Person zu Hilfe zu kommen, aus Unkenntnis selber in akute Lebensgefahr bringen.

Für das bewusstlos oder gar mit Herz-Kreislauf-Stillstand in dem Hochspannungsmast hängende oder auf dem Eisenbahnwaggon liegende Unfallopfer kann das bedeuten, dass – auch wenn eine Wiederbelebung theoretisch noch möglich gewesen wäre – praktisch jede Hilfe zu spät kommt.

Blitzunfälle

Physikalische Kenngrößen

Blitze sind elektrostatische Entladungen, die sich zwischen geladenen Wolken und der Erdoberfläche ereignen. Bekanntlich sind Blitze mit Gewittern assoziiert, jedoch besteht eine Gefahrenzone für Entladungen in einem Umkreis von 10–15 km um das Epizentrum des Gewitters (s. Infobox „Praxistipps“), was auch vollkommen unerwartete Blitzeinschläge in einiger Entfernung von herauf- oder abziehenden Gewittern erklärt [4].

PRAXISTIPPS**Abschätzung von Entfernung und Gefahrenpotenzial eines Gewitters**

- Wegen der Schallgeschwindigkeit von ca. 340 m/s in Luft legt der Donner (das aus der schlagartigen Ausdehnung der erhitzten Luft resultierende Explosionsgeräusch) in 3 s ca. 1 km zurück. Wird das Zeitintervall zwischen Blitz und Donner durch 3 geteilt, ergibt sich somit die ungefähre Entfernung des Gewitters in km.
- Ab einer Intervalldauer von 30 s (≤ 10 km) besteht eine potenzielle, bei einer Intervalldauer von 10 s oder weniger (≤ 3 km) eine unmittelbare Gefahr.

Diese Entladungen stellen einen Sonderfall von Hochspannungsunfällen dar, indem sie einerseits mit exorbitanten Spannungen und Stromstärken verbunden sind, aber andererseits mit extrem kurzen Kontaktzeiten einhergehen (s. Infobox „Hintergrundwissen“), woraus sich die Chance ergibt, auch einen Blitzschlag zu überleben.

HINTERGRUNDWISSEN**Elektrothermische Kennzahlen von Blitzentladungen**

- Spannung: 0,5 MV – 2 MV – 50 MV – 100 MV
- Stromstärke: 20 kA – 100 kA – 300 kA
- Temperatur: 25 000 °C – 30 000 °C – 50 000 °C
- Kontaktzeit: 0,02 ms – 0,1 ms – 1,0 ms

Unfallmechanismen

Zu beachten ist, dass Blitze zwar bevorzugt, aber keineswegs immer am höchsten Punkt der Umgebung einschlagen, sodass man beispielsweise auch neben Häusern oder im Inneren eines Stadions, mitunter sogar innerhalb von Gebäuden vom Blitz getroffen werden kann. Besonders gefährdet sind aber selbstverständlich Personen, die sich aus beruflichen oder privaten Gründen in freier Landschaft aufhalten (Landarbeiter, Bergwanderer, Golfspieler etc.).

- Dabei kann der Blitz nicht nur die Person direkt treffen (direct hit/strike), sondern auch von Arbeitsgeräten oder benachbarten Bäumen auf die Person, die das Gerät bedient (contact voltage) oder neben dem Baum steht (side splash/flash), übertreten.
- Da sich um den Einschlagspunkt des Blitzes herum ein elektrisches Feld ausbreitet, kann man im breitbeinigen Stand außerdem eine sog. Schrittspannung abgreifen (ground strike/step voltage), was Unfälle er-

klärt, bei denen von einem Blitzeinschlag auf ein Fußballfeld oder in ein Zeltlager mehrere Personen betroffen waren und danach unterschiedlichste Verletzungsmuster aufwiesen [13–15].

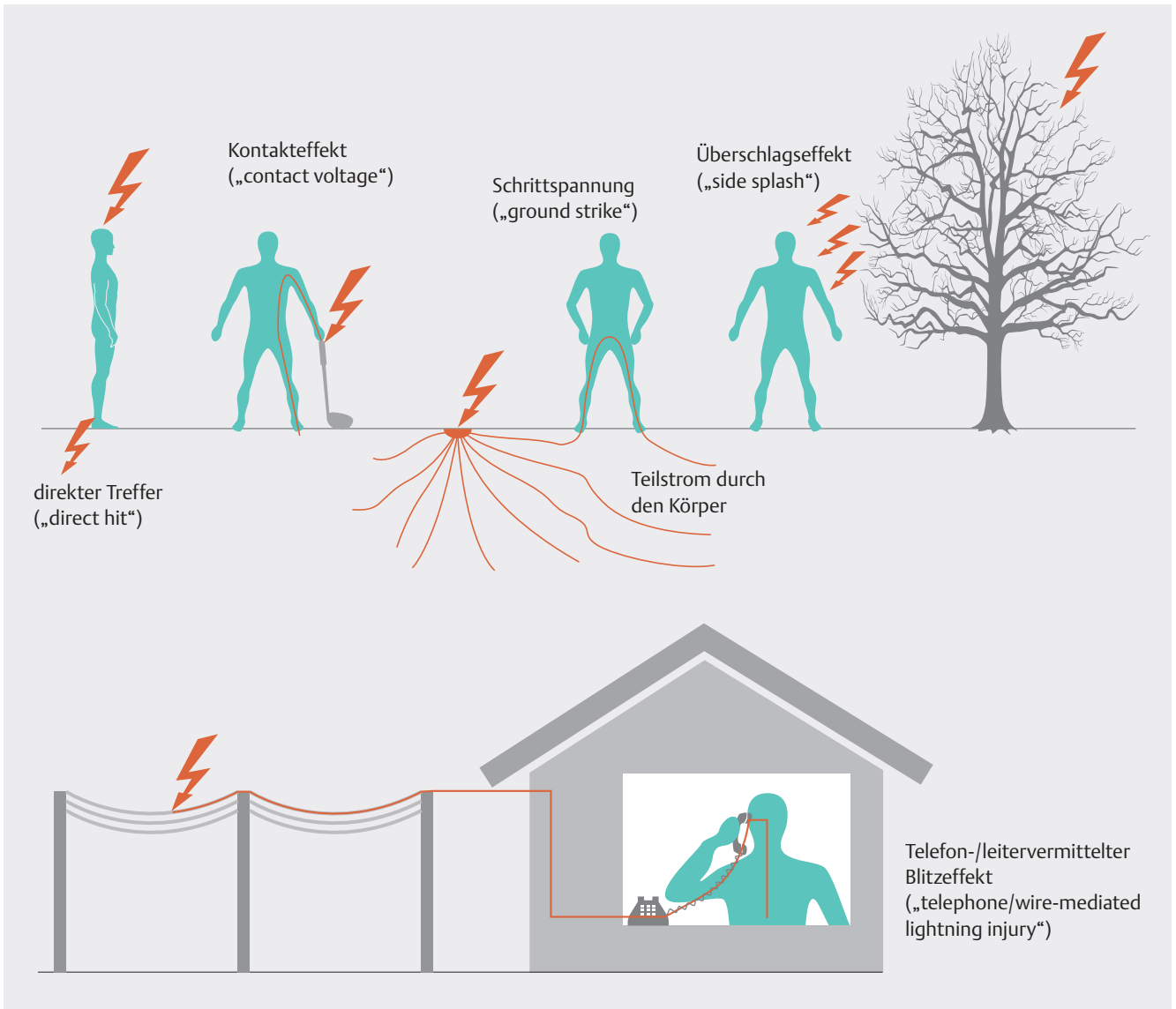
- Einen weiteren Mechanismus bei Blitzunfällen stellt schließlich die über Telefon- oder andere Elektroleitungen erfolgende Energiefortleitung bis ins Innere von Gebäuden dar (telephone/wire-mediated lightning injury) [4, 5, 16, 17] (► **Abb. 6**).

Ein Spannungsüberschlag bewirkt, dass man in unmittelbarer Nähe von hohen Bäumen nicht geschützt ist. Die Schrittspannung kann dazu führen, dass von einem Blitzeinschlag z. B. auf einem Fußballfeld mehrere umstehende Personen gleichzeitig geschädigt werden.

PRAXISTIPPS

- Besten Schutz vor Blitzen bieten Kraftfahrzeugkarosserien, die als Faraday'scher Käfig wirken und die Spannung von den Insassen fernhalten, wobei es im Falle eines Blitzeinschlages dennoch zu Schäden, vor allem am Gehör (Knalltrauma), kommen kann [18].
- Alternativ sollte man sich ins Innere eines (mit einem Blitzableiter ausgestatteten) Hauses begeben, anstatt sich im Bereich einer Einfahrt oder an einem Fenster aufzuhalten.
- Im freien Gelände wird empfohlen, Abstand von Bäumen zu wahren und sich nach Möglichkeit zusammengekauert in eine Bodenvertiefung zurückzuziehen (Ein-Punkt-Haltung), keinesfalls jedoch im (breitbeinigen) Stand das Geschehen zu beobachten [8].

Neben den vielfältigen und nicht immer logisch vorher-sagbaren Expositionsmöglichkeiten zeichnen sich Blitzunfälle auch dadurch aus, dass der Stromfluss im oder am Körper ungewöhnliche Wege nehmen kann (s. a. Fallbeispiel 3). Da der menschliche Körper einen vergleichsweise hohen Widerstand darstellt, kommt es vor, dass der Blitz z. B. an der durchnässten Kleidung entlang des Rückens verläuft und dabei charakteristische dendritische oder spiderförmige Verbrennungsfiguren, auch Lichtenberg'sche Blitzfiguren genannt, hinterlässt [19]. Auch dann kann sich neben den oberflächlichen Verbrennungen ein sog. Parallelstromkreis durch den Thorax ausbilden, der zum Herzstillstand führt, welcher in diesen Fällen eher durch eine Asystolie als durch Kammerflimmern bedingt ist.



► **Abb. 6** Fünf Arten der Energieübertragung beim Blitzschlag: Direkter Treffer (direct hit/strike), Kontakteffekt (contact voltage), Schrittspannung (ground strike/step voltage), Überschlagseffekt (side splash/flash), und telefon-/leitervermittelter Blitzeffekt (telephone/wire-mediated lightning injury). Der Spannungsüberschlag bewirkt, dass man in unmittelbarer Nähe von hohen Bäumen nicht geschützt ist; die Schrittspannung kann dazu führen, dass von einem Blitzeinschlag z. B. auf einem Fußballfeld mehrere umstehende Personen gleichzeitig geschädigt werden.

Unfallfolgen

Ebenso wie bei Starkstromunfällen an Bahnüberleitungen kann sich speziell bei Eintritt am Kopf – neben schwersten lokalen Läsionen – auch eine elektrogene Bewusstlosigkeit oder gar eine (möglicherweise über Stunden anhaltende) sog. Blitzlähmung (Keraunoparalyse) ausbilden.

Nicht immer spielen sich Blitzunfälle im Beisein anderer Personen ab, die das Geschehen beobachten. Ebenso kann es vorkommen, dass bewusstlose Personen, etwa gestürzte Radfahrer – mit oder ohne Herzstillstand – aufgefunden werden, ohne dass sich die Unfallursache sofort erschließt. In diesen Fällen können eine sorgfältige Beobachtung der Umwelt (Wetterleuchten? Donnergerol-

len?) sowie das gezielte Absuchen der Körperoberfläche nach möglicherweise versteckten Verbrennungsfiguren oder Strommarken wegweisend sein.

Wird ein Blitzunfall überlebt, so sind neben den lokalen Verbrennungsfolgen und der Schädigung der Sinnesorgane (Seh- und Hörstörungen) auch längerdauernde neurologische (Paresen, Parästhesien) und psychiatrische Folgeerscheinungen (z.B. Konzentrationsstörungen, Affektlabilität, posttraumatische Belastungsstörungen) – auch im Kindes- und Jugendalter – möglich [5, 17, 20].

FALLBEISPIEL 3

Für einen im Jahr 1981 in der Zeitschrift Notfallmedizin (perimed-Verlag) erschienenen kasuistischen Beitrag unter dem Titel *Das Blitztrauma* [17] sind von den Autoren mehrere Blitzunfälle bei Kindern und jungen Erwachsenen zusammengetragen worden. Darunter befand sich der Fall eines 9-jährigen Mädchens, welches auf dem Schulweg auf einer (von mehreren Häusern, Baukränen und einem Kirchturm umgebenen!) Wiese von einem Blitz getroffen wurde, der über den Schulranzen eintrat und oberhalb der Schuhsohle vom seitlichen Fußrand auf den Erdboden übersprang. Außerdem wurde von einem 8-jährigen Jungen berichtet, der in einem Fußballtor gestanden hatte, als unvermittelt ein Blitz niederging, welcher – wie sich später rekonstruieren ließ – über das Sternum ein- und den Penis austrat. Beide Fälle endeten tödlich.

Zwei weitere Fälle, in denen junge Erwachsene – einmal auf einem Bergswanderweg, ein andermal im Inneren eines Gebäudes (!) – vom Blitz getroffen worden waren, wurden zwar überlebt, waren jedoch durch langanhaltende neurologische Folgeprobleme belastet.

Reanimation, Erstversorgung und Monitoring

Wiederbelebung

Was die Wiederbelebung angeht, so ist dem Elektrounfall, neben anderen physikalischen Notfällen, in den internationalen bzw. europäischen Reanimationsleitlinien ein eigenes Kapitel gewidmet [21].

Zwar bestehen im grundsätzlichen Prozedere bei elektrisch induziertem Herzstillstand (s. Infobox) keine Unterschiede gegenüber vergleichbaren Notfällen anderer Genese. Jedoch handelt es sich oft um jüngere und primär herzgesunde Patienten, was – rechtzeitigen Beginn und konsequente Ausführung der Reanimationsmaßnahmen vorausgesetzt – zu einer vergleichsweise günstigeren Prognose beiträgt.

INFOBOX

Elektrisch induzierter Herzstillstand

- typischerweise Kammerflimmern = shockable rhythm nach Wechselstromexposition im Niederspannungsbereich
- typischerweise tiefe Bradykardie/Asystolie = non-shockable rhythm nach Gleichstromexposition im Hochspannungsbereich

Besonders nach Blitzunfällen ist zudem zu bedenken, dass elektrogene Bewusstlosigkeit, Pupillenstarre und Atemlähmung einen terminalen Kreislaufstillstand selbst dann vortäuschen können, wenn in Wirklichkeit noch ein Minimalkreislauf (mit tiefer Bradykardie) erhalten ist. Dies hat zur Konsequenz, dass weite und lichtstarre Pupillen bei Blitzschlagopfern nicht zwingend als Zeichen eines Kreislaufstillstandes gewertet werden dürfen und dass die Wiederbelebung hier in herkömmlicher Weise mit initialen Beatmungshüben (um die atemstillstandsbedingte Hypoxie zu beseitigen) begonnen werden sollte.

PRAXISTIPP

Triage-Regel

Bei einem Massenansturm von Blitzunfallopfern (wie er in Wandergruppen oder auf Fußballplätzen vorkommen kann) sollten daher die leblosen Patienten mit oberster Priorität – noch vor den möglicherweise brandverletzten – versorgt werden [5, 22, 23].

Traumatologische Versorgung

Hinsichtlich der traumatologischen Erstversorgung stehen nach Elektrounfällen Verbrennungen im Mittelpunkt, die – gerade bei Hochspannungs- und Blitzunfällen – oftmals eine primäre oder sekundäre Verletzung der betroffenen Patienten an ein spezialisiertes Zentrum erfordern [4, 8]. Hier gelten für pädiatrische Patienten die Prinzipien und Probleme der Verbrennungsbehandlung im Kindesalter, wobei eine lokale Kühlung unter Vermeidung einer Hypothermie und eine ausreichende Volumensubstitution unter Vermeidung einer Überwässerung anzustreben sind [24].

Bei Strom- bzw. Hitzeeinwirkungen im Kopf-/Gesichtsbereich ist zudem eine rechtzeitige Intubation zu erwägen, bevor es durch eine rasch zunehmende Schleimhautschwellung zu einer Kompromittierung der Atemwege kommt [11].

Ferner ist zu bedenken, dass sich die Betroffenen durch tetanische Muskelkontraktionen oder Stürze knöcherne Verletzungen, auch der Wirbelsäule, zugezogen haben können, und dass selbst bei vergleichsweise umschriebenen Strommarken durch den Stromfluss entlang der Gefäß-Nerven-Bündel innere Verbrennungen mit nachfolgender Weichteilschwellung bis hin zum Kompartmentsyndrom auftreten können. Zudem können Elektrounfälle eine ganze Reihe weiterer Kollateralschäden verursachen, die ggf. im Rahmen entsprechender Fachkonsile ausgeschlossen bzw. abgeklärt werden müssen und in ► **Tab. 5** zusammengefasst sind.

Insgesamt zeichnet sich ein Alles-oder-Nichts-Prinzip ab, bei dem wenigen schwerwiegenden Fällen mit Reanimationspflichtigkeit und/oder traumatologischem Versorgungsbedarf eine große Zahl von glimpflich verlaufenen Elektrounfällen gegenübersteht, bei denen zwar von einem elektrischen Schlag berichtet wird, die Patienten aber – abgesehen von eventuell nachweisbaren minimalen Strommarken an der Ein- bzw. Austrittsstelle – äußerlich vollkommen unbeeinträchtigt wirken.

Klinisches Monitoring

Speziell mit Blick auf diese harmloseren Niederspannungsunfälle wurde in der Literatur vielfach behauptet, dass es auch bei primär unauffälligen EKG-Befunden noch zu bedrohlichen Spätarrhythmien kommen könnte, weswegen traditionell ein stationäres Monitoring auch für asymptomatische Patienten empfohlen wurde. Als ursächlicher pathophysiologischer Mechanismus wurde ein verzögert einsetzender und dann arrhythmogener Zelluntergang vorgeschädigter Myokardzellen postuliert. Da diese Frage von hoher Relevanz für das praktische Vorgehen in (pädiatrischen) Notfallambulanzen ist, sind ihr in jüngerer Zeit einige größere Studien gewidmet worden.

- In einer bereits 1995 erschienenen kanadischen Arbeit [25] wurden insgesamt 151 Kinder im mittleren Alter von 4,5 Jahren, in einer 2010 publizierten französischen Studie [26] 48 Kinder im mittleren Alter von 6,2 Jahren nach Haushaltsstromunfällen (Kanada: überwiegend 120 V, Frankreich: 220 V) retrospektiv untersucht. In beiden Untersuchungen wurden nur in Einzelfällen geringfügige primäre EKG-Auffälligkeiten ohne sicheren kausalen Bezug zu den Unfallereignissen (Sinustachykardie, partieller Rechtsschenkelblock) beobachtet. In keinem einzigen Fall kam es jedoch zu einer verzögert einsetzenden Rhythmusstörung, ebenso wenig wie eine umfangreiche Literaturrecherche Hinweise auf das Auftreten von Spätarrhythmien erbrachte.
- Zu dem gleichen Ergebnis gelangte auch die bereits erwähnte, 2013 erschienene retrospektive Analyse der Berliner Charité [2], in die 268 Patienten, darunter 115 Kinder (< 17 Jahre) eingeschlossen wurden. Während in dieser Studie immerhin bei gut 24% der Erwachsenen und knapp 29% der Kinder bei Krankenhausaufnahme leichtgradige EKG-Auffälligkeiten (Sinustachykardie, Sinusbradykardie, vereinzelte Extrasystolen) beobachtet wurden, kam es auch hier im Verlauf in keinem Fall zu interventionsbedürftigen kardialen Arrhythmien (obwohl sich unter diesen Patienten sogar 10 Hochspannungsoffer, 6 Erwachsene und 2 Kinder, befanden).

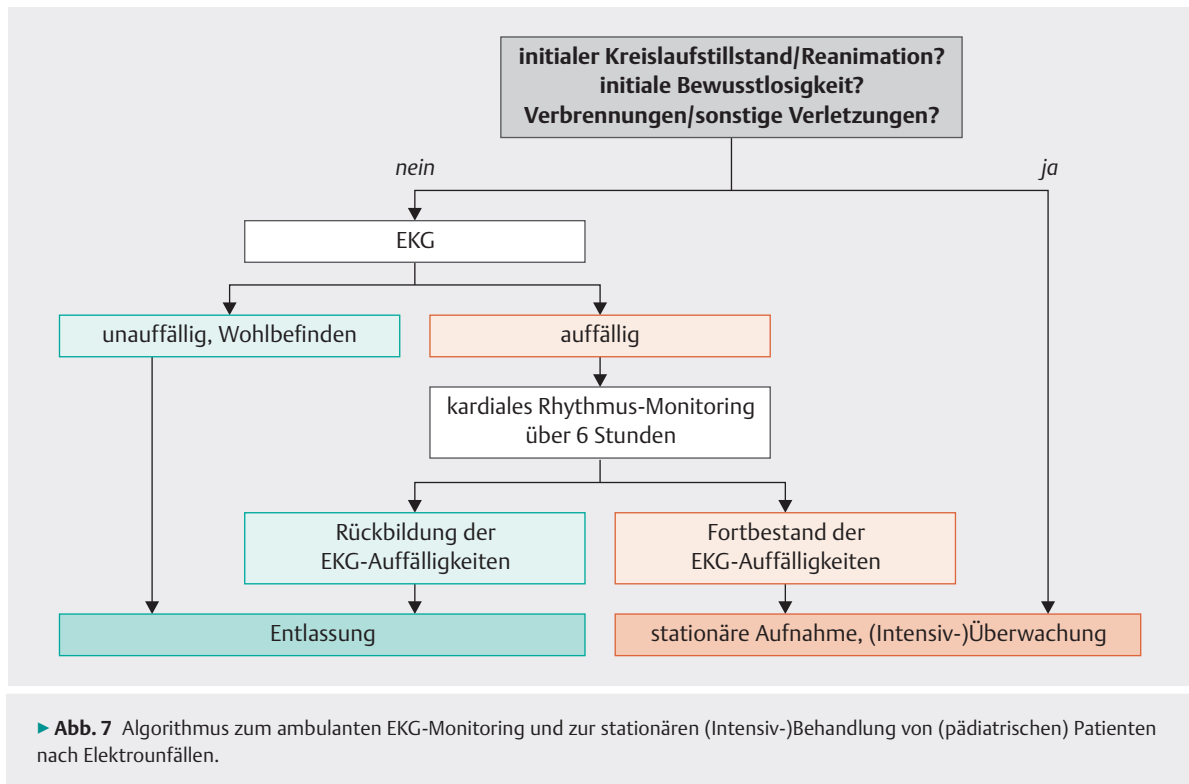
Ein von den Autoren der Berliner Studie vorgeschlagener Algorithmus zum klinischen Prozedere nach Elektrounfällen ist in leicht modifizierter Form in ► **Abb. 7** (mod. nach [2]) wiedergegeben.

► **Tab. 5** Spektrum möglicher Begleitverletzungen nach Elektrounfällen, approximativ gegliedert nach konsiliarischen Fachdisziplinen.

konsiliarische Fachdisziplin	Begleitverletzung
(pädiatrische) Kardiologie	Pseudoinfarkte Herzrhythmusstörungen myokardiale Pumpfunktionsstörungen arterielle Spasmen Gefäßrupturen Thrombosen
(pädiatrische) Nephrologie	Rhabdomyolyse Myoglobinurie Crush-Niere
Neurologie, Neuropädiatrie	Bewusstlosigkeit Amnesie Verwirrheitszustände Krampfanfälle Paresen (Atemlähmung) Parästhesien
Ophthalmologie	Verblitzung (Keratoconjunctivitis photoelectrica) Störungen der Pupillomotorik Katarakt Sekundärglaukom retinale Schädigung Visusverlust/Blindheit
Otorhinolaryngologie	Knalltrauma Trommelfellruptur Tinnitus Hörminderung/Taubheit
(Kinder- und Jugend-)Psychiatrie	Konzentrationsstörungen Schlafstörungen Affektlabilität depressive Störungen Angststörungen posttraumatische Belastungsstörungen
(pädiatrische) Traumatologie	diverse Frakturen und Luxationen Pneumothorax Milzruptur Leberruptur Kompartment-Syndrome

PRAXISTIPP

Aufgrund umfangreicher Literaturdaten ist heute davon auszugehen, dass bei einem klinisch asymptomatischen Patienten, der zudem ein unauffälliges Aufnahme-EKG aufweist, nicht mit dem Auftreten von Spätarrhythmien gerechnet werden muss und daher eine Entlassung nach Hause vertretbar erscheint. Dies bedeutet aber auch, dass Patienten nach Elektrounfall weiterhin zu einer gründlichen Untersuchung, einschließlich EKG-Ableitung, in der Klinik vorgestellt werden sollten.



Primäre Prävention und Eigenschutz

Merke

Abgesehen von einer angemessenen medizinischen Erstversorgung ist die entscheidende Maßnahme gegen Elektrounfälle – vor allem, aber nicht nur im Kindesalter – die vorbeugende Unfallverhütung, zu der letztlich auch der Eigenschutz bei der Rettung von Unfallopfern zählt.

Arbeitssicherheit

Die primäre Prävention von Elektrounfällen ist ein wichtiges Thema der industriellen Arbeitssicherheit. Von den Berufsgenossenschaften gibt es rigorose Vorschriften, was bei Montagearbeiten an elektrischen Anlagen zu tun und zu lassen ist. Mittels der sogenannten 5 Sicherheitsregeln der Elektrotechnik (s. Infobox „Praxistipp“) soll sichergestellt werden,

- dass niemals an spannungsführenden Elementen gearbeitet wird,
- dass ein unbeabsichtigtes Wiedereinschalten während der Installationsarbeiten verhindert wird (bzw. allenfalls ein Kurzschluss verursacht würde) und
- dass ein versehentliches Berühren benachbarter, noch unter Spannung stehender Teile ausgeschlossen ist [1, 8].

PRAXISTIPP

Die 5 Sicherheitsregeln der Elektrotechnik

- 1 – Freischalten.
- 2 – Gegen Wiedereinschalten sichern.
- 3 – Spannungsfreiheit feststellen.
- 4 – Erden und kurzschließen.
- 5 – Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken und abschränken.

Privathaushalte

In Privathaushalten kommt es vor allem darauf an, dass veraltete Elektroinstallationen ersetzt werden und die gesamte Wohnung mit Schutzkontaktsteckdosen und Fehlerstromschaltern ausgestattet wird. Auch wenn dies gewährleistet ist, sollten in Gefahrenzonen wie Badezimmern überhaupt keine mobilen netzbetriebenen Elektrogeräte (die beispielsweise in die Badewanne stürzen könnten) zum Einsatz kommen.

Zum Schutz von Kindern sind Steckdosensicherungen verbreitet (bzw. mittlerweile bereits in viele Steckdosen integriert), die ein Bohren in den Kontaktöffnungen verhindern. Aber auch die von ungeschützt herumliegenden Kabeln (Unfälle beim Zerschneiden oder Zerbeißen!) oder diskonnektierten Verlängerungsschnüren (fehlende Steckdosensicherung!) ausgehenden Gefahren sollten bedacht werden.

Hochspannungsanlagen

In Hochspannungsanlagen, die üblicherweise gut abgeschirmt sind, werden die meisten Unfälle durch jugendlichen Leichtsinn – nicht selten unter Alkoholeinfluss – verursacht und sind daher nur bedingt vermeidbar. Ein Ansatz sind Präventionkampagnen wie die in Fallbeispiel 2 erwähnte [12]. Ein mit der nötigen Umsicht vermeidbarer Unfallmechanismus ist auch der versehentliche Kontakt mit Hochspannungsleitungen beim herbsteiligen Drachensteigen-Lassen.

Prävention von Blitzunfällen

Zur Prävention von Blitzunfällen gibt es diverse Merkblätter des deutschen VDE (Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e. V.) und anderer internationaler Organisationen, die unter anderem darauf abzielen, dass heraufziehende Gewitter bei Sportveranstaltungen von den verantwortlichen Übungsleitern ernstgenommen und die meist jugendlichen Spieler zum rechtzeitigen Verlassen des Spielfeldes und zum Aufsuchen geschützter Orte angeleitet werden (s. Infobox „Praxistipp“) [16, 23, 27, 28]. Außerdem sind bei Großveranstaltungen im Freien Vorkehrungen für eine zügige Evakuierung größerer Menschenmengen und ggf. auch eine simultane Erstversorgung mehrerer Blitzschlagopfer zu treffen [4, 22].

PRAXISTIPP

Die sogenannte 30-30-Regel zur Verhütung von Blitzunfällen bei Sportveranstaltungen

- Zeitintervall zwischen Blitz und Donner < 30 Sekunden (entsprechend einer Entfernung < 10 km)
→ Sportfeld sollte verlassen werden.
- Zeitintervall seit Durchzug der Gewitterfront > 30 Minuten
→ Sportbetrieb kann wieder aufgenommen werden.

Maßnahmen zum Eigenschutz

Merke

Falls es zu einem Unfall gekommen ist, hat der Eigenschutz Priorität [11], wobei auch hier zu allererst der Stromfluss sicher unterbrochen werden sollte.

Niederspannungsunfälle

Bei Niederspannungsunfällen bedeutet die Unterbrechung des Stromflusses, dass Netzschalter ausgeschaltet, Stecker herausgezogen und/oder Sicherungen inaktiviert und – wichtig! – gegen versehentliches Wiedereinschalten gesichert werden. Wo dies nicht möglich ist, kann man den Verletzten vorsichtig unter **Verwendung isolierender Materialien** (Besenstiel, Lederhandschuhe, Gum-

misohlen, Holzplanken) von der Stromquelle trennen. Erst dann kann, sofern erforderlich, ohne Gefährdung der eigenen Sicherheit mit Wiederbelebungsmaßnahmen nach den Basic/Advanced Life Support (BLS/ALS-) Prinzipien begonnen werden.

Hochspannungsunfälle

Bei Hochspannungsunfällen muss – soweit die Mindestsicherheitsabstände nicht eingehalten werden können (was z. B. auf Eisenbahnwaggons praktisch nie der Fall ist) – zunächst die Abschaltung und Sicherungserdung der Oberleitungen durch Fachpersonal der Elektrizitätsversorger und/oder der Feuerwehr abgewartet werden, bevor man sich dem Verletzten nähern darf.

Cave

Sollte eine heruntergerissene Hochspannungsleitung am Bogen liegen, so bildet sich um den Auflagepunkt herum ein sog. Spannungstrichter aus, dessen Betreten wegen des Abgreifens von Schrittspannungen (ähnlich wie bei Blitzunfällen) lebensgefährlich ist, weshalb hier ein Sicherheitsabstand von > 10–20 m empfohlen wird.

Exponierte Personen können sich, soweit dazu in der Lage, ggf. durch bipedales Hüpfen oder aller kleinste Schritte mit geschlossenen Beinen selber aus der Gefahrenzone retten [8].

Blitzunfälle

Nach Blitzunfällen ist eine unmittelbare Berührung der betroffenen Unfallopfer selbstverständlich gefahrlos möglich; allerdings sollte die anhaltende Gefährdung durch das aktuelle Gewitter beachtet und die Gefahrenzone möglichst umgehend verlassen werden [23].

Zusammenfassung

Kinder- und Jugendliche gehören zu den Hauptrisikogruppen für Elektrounfälle. Je nach der ursächlichen Spannung lassen sich drei typische Unfallszenarien unterscheiden: Niederspannungsunfälle, Hochspannungsunfälle und Blitzunfälle. Bei der Rettung hat der Eigenschutz Vorrang. Zu den Pathomechanismen tragen neben der elektrischen Spannung zahlreiche weitere technische und biologische Faktoren bei. Es zeichnet sich eine Art Alles-oder-Nichts-Prinzip ab, wobei in schweren Fällen Herzrhythmusstörungen, Verbrennungen sowie multiple äußere und innere Verletzungen vorkommen, bei unbeeinträchtigten Patienten jedoch keine kardialen Spätarrhythmien zu befürchten sind.

KERNAUSSAGEN

- Kinder und Jugendliche gehören zu den Hauptrisikogruppen für Elektrounfälle.
- Elektrounfälle sind trotz der vermeintlich übersichtlichen Gliederung in Niederspannungs-, Hochspannungs- und Blitzunfälle von zahlreichen weiteren Determinanten abhängig.
 - Im **Niederspannungsbereich** ist es neben der – aus Körperinnenwiderstand und Stromflussweg resultierenden – Stromstärke vor allem die Stromflussdauer, die über das kardiale Risiko (Auslösung von Kammerflimmern speziell in der vulnerablen Periode der Herzaktion) entscheidet.
 - Im **Hochspannungsbereich** stehen schwerste, oft unmittelbar tödliche Verbrennungen durch Lichtbogenüberschlag im Vordergrund.
 - Bei **Blitzunfällen** sind neben dem direkten Einschlag auch indirekte Einwirkungen möglich, die bisweilen ganze Personengruppen betreffen können. Neben charakteristischen Hautverbrennungen treten hier akute zentrale Ausfallserscheinungen sowie chronische neurologische und psychiatrische Folgekomplikationen auf.
- Insgesamt zeichnet sich eine Zweiteilung in sofort tödliche bzw. mit schweren Verletzungen einhergehende und eher glimpflich verlaufende Elektrounfälle (Alles-oder-Nichts-Prinzip) ab.
- Die Reanimation von Elektrounfallopfern ist selbst nach Blitzschlag grundsätzlich erfolgversprechend.
- In der traumatologischen Erstversorgung stehen Verbrennungen und elektrothermische Weichteilschäden im Vordergrund.
- Bei klinisch asymptomatischen Patienten, die auch keine initialen EKG-Auffälligkeiten aufweisen, ist ein stationäres Monitoring zur Erfassung von Spätarrhythmien entbehrlich.
- Essenziell zur Eindämmung von Elektrounfällen im Kindes- und Jugendalter sind präventive Maßnahmen; hierzu gehört letztlich auch der Eigenschutz, der bei der Rettung von Elektrounfallopfern Vorrang hat.

Danksagung

Herrn Prof. (em.) Dr.-Ing. habil. Siegfried Altmann aus Leipzig ([https://de.wikipedia.org/wiki/Siegfried_Altmann_\(Ingenieurwissenschaftler\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Siegfried_Altmann_(Ingenieurwissenschaftler))), <http://profaltmann.24.eu/>) sei für die großzügige Überlassung von umfangreichem Informationsmaterial herzlich gedankt.

Interessenkonflikt

Der Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt vorliegt.

Autorinnen/Autoren



Dominique Singer

Prof. Dr. med., Facharzt für Physiologie, Facharzt für Kinder- und Jugendmedizin, Neonatologe und Pädiatrischer Intensivmediziner. Prof. Singer ist Ärztlicher Leiter der Sektion Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin am Zentrum für Geburtshilfe, Kinder- und Jugendmedizin – Kinderklinik des Universitätsklinikums Eppendorf (UKE) Hamburg.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Dominique Singer

Sektion Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin
Zentrum für Geburtshilfe, Kinder- und Jugendmedizin –
Kinderklinik
Universitätsklinikum Eppendorf
Martinistraße 52
20246 Hamburg
dsinger@uke.de

Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen

Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen für diesen Beitrag ist Prof. Dr. med. Dominique Singer, Hamburg.

Literatur

- [1] Fachbereich Elektrotechnik, Hrsg. Gefahren des elektrischen Stroms (Arbeitsschutz konkret). Köln: BG ETEM (Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse); o.J.
- [2] Searle J, Slagman A, Maaß W et al. Kardiales Monitoring nach Stromunfall – Analyse von 268 Patienten an der Charité. Dtsch Arztebl 2013; 110: 847–853. doi:10.3238/arztebl.2013.0847
- [3] Singer D. Ertrinkungsunfälle im Kindesalter. Notfallmed up2date 2007; 2: 301–324
- [4] Spelten O, Hinkelbein J. Strom- und Blitzunfälle im Rettungsdienst. Notfallmed up2date 2013; 8: 41–52
- [5] Zack F, Rothschild MA, Wegener R. Blitzunfall – Energieübertragungsmechanismen und medizinische Folgen. Dtsch Arztebl 2007; 104: A3545–A3549
- [6] Moser T. Bei Stromunfällen entscheidet die Erste Hilfe. Notfallmedizin 1984; 10: 1008–1026
- [7] Kieback D. Stromunfälle, Herzkammerflimmern und Letalität (Monografie). Köln: BG Elektro Textil Feinmechanik; 2009
- [8] Beck A, Krischak G, Bischoff M. Stromunfall und Verbrennung. Notfallmed up2date 2008; 3: 25–40
- [9] Thomas SS. Electrical burns of the mouth: still searching for an answer. Burns 1996; 22: 137–140
- [10] Gokdemir MT, Kaya H, Sögüt Ö et al. Factors affecting the clinical outcome of low-voltage electrical injuries in children. Pediatr Emerg Care 2013; 29: 357–359

- [11] Lederer W, Kroesen G. Notfallmedizinische Versorgung von Blitz- und Stromschlagverletzungen. *Anaesthesist* 2005; 54: 1120–1129
- [12] Bundespolizei. Achtung Bahnstrom! 15000 Volt sind tödlich – sucht Euch was anderes! (Begleitheft zum gleichnamigen Aufklärungsfilm) Bundespolizeipräsidium (Abteilung Kriminalitätsbekämpfung, Polizeiliche Kriminalprävention). Potsdam 2015. Im Internet: https://www.bundespolizei.de/Web/DE/02Sicher-im-Alltag/04Sicher-auf-Bahnanlagen/02_Bahnstrom/bahnstrom_begleitheft_file.pdf?__blob=publicationFile&v=4; Stand: 15.11.2017
- [13] Carte AE, Anderson RB, Cooper MA. A large group of children struck by lightning. *Ann Emerg Med* 2002; 39: 665–670
- [14] Fahmy FS, Brinsden MD, Smith J et al. Lightning: the multisystem group injuries. *J Trauma* 1999; 46: 937–940
- [15] Zack F, Rummel J, Püschel K. Blitzschläge auf Fußballplätzen. Eine unterschätzte Gefahr. *Rechtsmedizin* 2009; 19: 77–82. doi:10.1007/s00194-009-0588-1
- [16] Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung (ABB). Unfälle durch Blitzeinwirkung. Pathophysiologie, präklinische Notfallmedizin, Akut- und Spätfolgen. Frankfurt: Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.; 2012. www.vde.com/blitzunfaelle
- [17] Sasse W, Stellpflug H. Das Blitztrauma. *Notfallmedizin* 1981; 7: 178–193
- [18] Angerer F, Hoppe U, Schick B. Blitzeinschlag in einen PKW mit Schädigung des Hörorgans. *HNO* 2009; 57: 1081–1084
- [19] Schmidhauser T, Azzola A. Images in clinical medicine. Lichtenberg figures. *N Engl J Med* 2011; 365: e49. doi:10.1056/NEJMicm1106008
- [20] Silva LM, Cooper MA, Blumenthal R et al. A follow-up study of a large group of children struck by lightning. *S Afr Med J* 2016; 106: 929–932
- [21] Truhlář A, Deakin CD, Soar J et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015, Section 4. Cardiac arrest in special circumstances. *Resuscitation* 2015; 95: 148–201
- [22] Delaney JS, Drummond R. Mass casualties and triage at a sporting event. *Br J Sports Med* 2002; 36: 85–88
- [23] Zafren K, Durrer B, Herry JP et al. Official guidelines of the International Commission for Mountain Emergency Medicine and the Medical Commission of the International Mountaineering and Climbing Federation (ICAR and UIAA MEDCOM). *Resuscitation* 2005; 65: 369–372
- [24] Königs I, Fattouh M. Management thermischer Verletzungen im Kindesalter. *Notfallmed up2date* 2017; 12: 95–111
- [25] Bailey B, Gaudreault P et al. Cardiac monitoring of children with household electrical injuries. *Ann Emerg Med* 1995; 25: 612–617
- [26] Claudet I, Maréchal C, Debuissou C et al. Risque de trouble du rythme et électrisation par courant domestique (Risk of arrhythmia and domestic low-voltage electrical injury). *Arch Pédiatr* 2010; 17: 343–349
- [27] Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung (ABB). Fußball bei Gewitter? Richtiges Verhalten im Freien. Frankfurt: Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.; 2013. www.vde.com/blitzunfaelle
- [28] Zimmermann C, Cooper MA, Holle RL. Lightning safety guidelines. *Ann Emerg Med* 2002; 39: 660–664
- [29] Antoni H. Zur Pathogenese von Herzrhythmusstörungen in der Intensivmedizin. *Intensivmedizin* 1977; 21: 62

Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/s-0042-123162>
 Notfallmedizin up2date 2017; 12: 411–429
 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
 ISSN 1611-6550

Punkte sammeln auf CME.thieme.de



Diese Fortbildungseinheit ist 12 Monate online für die Teilnahme verfügbar. Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, finden Sie unter cme.thieme.de/hilfe eine ausführliche Anleitung. Wir wünschen viel Erfolg beim Beantworten der Fragen!

Unter [eref/thieme/ZZWHPP1](https://eref.thieme.de/ZZWHPP1) oder über den QR-Code kommen Sie direkt zum Artikel zur Eingabe der Antworten.

VNR 2760512017152374882



Frage 1

Eine der folgenden Aussagen zur Epidemiologie von Elektrounfällen trifft *nicht* zu. Welche?

- A Elektrounfälle zeigen eine zweigipfelige Häufigkeitsverteilung im Kleinkindes- und jungen Erwachsenenalter.
- B Wie im Erwachsenenalter (Haushaltsunfälle) ist auch schon im Kindesalter das weibliche Geschlecht bevorzugt betroffen.
- C Niederspannungsunfälle haben bei weitaus größerer Häufigkeit eine deutlich geringere Letalität als Hochspannungsunfälle.
- D Unter den Niederspannungsunfällen haben Hand-Hand-Unfälle zwar den größten Anteil an der Gesamtmortalität, Hand-Füße-Unfälle aber eine höhere Letalität.
- E In Deutschland ereignen sich gegenwärtig ca. 50–100 tödliche Elektrounfälle pro Jahr.

Frage 2

Welche Aussage zu technischen Grundbegriffen trifft *nicht* zu? In der Elektrotechnik bezeichnet man ...

- A eine Gleichspannung von 24 V (Autobatterie) als Kleinspannung.
- B eine Wechselspannung von 220 V (Steckdose) als Niederspannung.
- C eine Wechselspannung von 120 kV (Überlandleitung) als Hochspannung.
- D einen „Kurzschluss“ auch als Fehlerstrom.
- E einen Fehlerstromschalter (FI-Schalter) auch als Residual Current Device (RCD).

Frage 3

Welche Aussage trifft *nicht* zu? Zu den Determinanten der biologischen Stromwirkung gehört ...

- A die Spannung
- B der Widerstand
- C die Wechselspannungsfrequenz
- D der Ökostromanteil
- E die Stromflussdauer

Frage 4

Eine der folgenden Aussagen ist *unzutreffend*. Welche? Zu den spezifischen Wirkungen des elektrischen Stroms gehört/gehört ...

- A thermische Effekte an der Ein- und Austrittsstelle, speziell bei hoher Stromflussdichte (sog. Strommarken).
- B die Auslösung von Muskelkontraktionen mit krampfhaftem Festhalten der stromführenden Teile und ggf. peripherem Atemstillstand.
- C die Auslösung von Kammerflimmern speziell in der sog. vulnerablen Phase der Herzaktion.
- D periphere (Kribbelparästhesien) und zentrale (Bewusstseinsstörungen) neurologische Symptome.
- E ein Schädel-Hirn-Trauma durch Sturz vom Hochspannungsmast.

Frage 5

Welche Aussage zu Niederspannungsunfällen trifft zu?

- A Das Risiko von Elektrounfällen im Haushalt hat, bedingt durch die moderne Elektronik, in den letzten Jahren stark zugenommen.
- B An modernen Schutzkontaktsteckdosen (Schuko-Steckdosen) besteht grundsätzlich keine Gefahr mehr, einen elektrischen Schlag zu erleiden.
- C Fehlerstromschalter (FI-Schalter) lösen binnen kürzester Zeit aus, wenn Strom über einen Menschen gegen Erde abfließt.
- D Das Durchbeißen eines stromführenden Elektrokabels verursacht dank der herauspringenden Sicherungen meist keine ernsthaften Verletzungen.
- E Lichtbögen kommen nur an Eisenbahnüberleitungen, nicht jedoch an Haushalts- oder Werkstatt-Schaltkästen vor.

► Weitere Fragen auf der folgenden Seite ...

Punkte sammeln auf CME.thieme.de

Fortsetzung...

Frage 6

Welche Aussage zu Hochspannungsunfällen trifft *nicht* zu?

- A Auch Hochspannungsunfälle können überlebt werden.
- B Es überwiegen thermische Effekte durch die enorme Hitze einwirkung und das Verkochen von Gewebsflüssigkeit.
- C Nicht selten kommen sekundäre Verletzungen, z.B. durch das Herabstürzen von Eisenbahnwagen oder Hochspannungsmasten, hinzu.
- D Auch wenn eine Oberleitung nicht direkt berührt wird, kann es durch Lichtbogenüberschlag zu schwersten elektrothermischen Verletzungen kommen.
- E Wenn eine Person auf einem Eisenbahnwaggon von einem Lichtbogen getroffen wurde, kann man davon ausgehen, dass die Oberleitung durch den Kurzschluss im E-Werk spannungsfrei ist.

Frage 7

Welche Aussage zu Blitzunfällen trifft zu?

- A Blitze entfalten schädliche Wirkungen durch ihre meist längere Einwirkdauer.
- B Da Blitze stets am höchsten Punkt einschlagen, sollte man bei Gewitter die Nähe von Bäumen suchen.
- C Durch Abgreifen von Schrittspannungen in dem sich um einen Blitzeinschlag herum ausbildenden elektrischen Feld können mehrere Personen gleichzeitig geschädigt werden.
- D Auch wenn das auslösende Ereignis nicht beobachtet wurde, ist eine bewusste Person aufgrund ihrer schweren Brandwunden sofort als Blitzschlagopfer erkennbar.
- E Wird ein Blitzschlag überlebt, kommt es nach Abheilen lokaler Verbrennungen meist zu einer Restitutio ad integrum.

Frage 8

Was ist bei der Reanimation/Erstversorgung nach Elektrounfällen zu beachten?

- A Eigenschutz hat Vorrang.
- B Opfer von Blitzunfällen dürfen wegen der erfolgten elektrischen Aufladung erst nach einer Abklingphase von drei Minuten berührt werden.
- C Herzstillstände infolge von Elektrounfällen zeichnen sich im Gegensatz zu internistischen Ursachen durch ein besonders ungünstiges Outcome aus.
- D Für die Ersteinschätzung von Patienten nach Hochspannungsunfällen gilt die Faustregel „kleine Strommarke – geringe Weichteilschädigung“.
- E Bei der notwendigen Triage nach Blitzunfällen von Fußballmannschaften oder Wandergruppen haben die brandverletzten vor den bereits leblosen Personen Priorität.

Frage 9

Eine der folgenden Aussagen zur klinischen Behandlung nach Elektrounfällen trifft *nicht* zu. Welche?

- A Je schwerer die initiale Beeinträchtigung, desto ungünstiger das Outcome.
- B Durch ein differenziertes Enzymprofil lassen sich kardiales Risiko und Outcome zuverlässig abschätzen.
- C Ein EKG sollte Bestandteil der Erstuntersuchung von Kindern nach Elektrounfällen sein.
- D Bei initial unauffälligem klinischem und EKG-Befund sind sog. Spätarrhythmien nach heutigem Wissensstand nicht zu befürchten.
- E Patienten mit ausgedehnten Verbrennungen sollten in Spezialzentren behandelt werden.

Frage 10

Welche der folgenden Maßnahmen ist *ungeeignet* zur Vermeidung von Elektrounfällen?

- A Einbau von RCD (Residual Current Devices) in Haushaltsstromkreise.
- B Absicherung von Schutzkontaktsteckdosen durch zusätzliche Kindersicherungen.
- C Verzicht auf netzbetriebene Elektrogeräte in Badezimmern.
- D Mindestabstand von 1 m zu Hochspannungsleitungen.
- E Konsequentes „Freischalten“ und „Sichern gegen Wiedereinschalten“ bei Montagearbeiten und bei der Rettung von Unfallopfern.