

Unfälle durch Blitzeinwirkung

Pathophysiologie, Präklinische Notfallmedizin, Akut- und Spätfolgen

Dieses Merkblatt wendet sich an medizinisches Personal sowie an fachkundige Laien. Es fasst aus der Sicht unterschiedlicher medizinischer Fachdisziplinen und der Veterinärmedizin den Kenntnisstand zu Unfällen durch Blitzeinwirkung zusammen. Das dargestellte Wissen und die Empfehlungen dienen der Beurteilung der Lage nach einem Blitzunfall. Für Therapie, Nachsorge und Begutachtung gelten die Leitlinien der medizinischen Fachgesellschaften sowie anerkannte medizinische Standards.

1 Naturphänomen Blitz

Blitze werden durch die Trennung von elektrischen Ladungsträgern in Gewitterwolken verursacht. Dabei können Spannungen Wolke – Wolke oder Wolke gegen Erde in Höhe von mehreren zehn Millionen Volt auftreten [7][38]. Kommt es zu einer Entladung, fließen Ströme bis zu 200.000 Ampere. Dabei führt die schlagartig erfolgende Erhitzung (einige 10.000 °C) der Luft durch den Blitzstrom zu einer Explosion des Funkenkanals [39].

Einem äußerst kurzen, aber heftigen Ladungsaustausch folgen häufig weitere Entladungen im selben Blitzkanal als Folgeblitze mit hohen Strömen (mehrere tausend Ampere) [40]. Ferner treten auch so genannte Langzeitströme mit im Vergleich dazu niedrigem Strom (einige hundert Ampere), aber langer Zeitdauer von bis zu 500 ms auf. Diese transportieren große Ladungsmengen und sind damit für Brände und Personenschäden von hoher Bedeutung [41].

Inhalt

1 Naturphänomen Blitz	1
2 Gefährdung durch Blitze	1
3 Pathophysiologie	2
4 Tod	2
5 Präklinische Notfallmedizin	3
5.1 Kardiopulmonale Reanimation	3
5.2 Eigenschutz	3
5.3 Massenanfall von Verletzten	3
6 Akut- und Spätfolgen	3
6.1 Indikation zur stationären Aufnahme und Intensivtherapie	3
6.2 Effekte auf das Herz	3
6.3 Effekte auf das zentrale und periphere Nervensystem	4
6.4 Effekte auf das Hör- und Gleichgewichtsorgan	5
6.5 Effekte auf die Augen	5
7 Vergleichende Erkenntnisse aus der Veterinärmedizin	5
Autoren	6
Literatur und weiterführende Links	6

2 Gefährdung durch Blitze

Eine unmittelbare Gefährdung von Personen (und Tieren)¹ besteht immer durch [75]

- ⇨ direkten Blitzeinschlag (Abbildung 1),
- ⇨ Blitzüberschlag (Abbildung 2), z. B. von Bäumen oder Holzmasten,
- ⇨ Berührungsspannung: Beim Berühren von metallenen Objekten wie Flutlicht- oder Fahnenmasten, Blitzableitern usw. fließt ein Teil des Blitzstromes durch die Person (Abbildung 3),
- ⇨ Schrittspannung: Ausgehend von der Einschlagstelle breitet sich der Blitzstrom im Erdboden aus. Die daraus resultierende „Schritt“-Spannung wird durch die Beine überbrückt, so dass ein Teil des Stroms durch den Körper fließt (Abbildung 4),
- ⇨ Explosion oder Brand, wenn die vom Blitz getroffenen Objekte explodieren oder sich entzünden.

Die Häufigkeit der auftretenden Blitzwirkungen ist in folgender Tabelle aufgeführt [76].

Tabelle: Rangfolge der Auswirkungen

Feuer/Explosion („heißer“ Blitz)
Sprengwirkung (ohne Feuer)
Überspannung (erzeugt in einer E-Anlage)
Direkter Einschlag (in ein Objekt oder eine Person)
Überschlag (zu einem Objekt oder einer Person)
Schrittspannung (erzeugt durch den sich bildenden Spannungstrichter)
Berührungsspannung (wenn die Person ein leitfähiges Objekt berührt)
Elektromagnetischer Impuls (elektronische Bauteile können zerstört werden)

¹ Mit Ausnahme von Kapitel 7 beziehen sich die weiteren Ausführungen auf Personen.



Abbildung 1

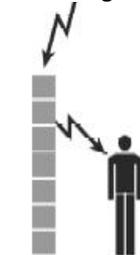


Abbildung 2

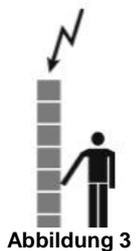


Abbildung 3

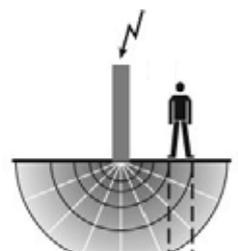


Abbildung 4

Schutzmöglichkeiten sollten aufgesucht werden, sobald Donner wahrgenommen wird [27][44][60]. Dann ist ein Gewitter weniger als 10 km entfernt (Zeitabstand Blitz-Donner ca. 30 s). Wurde eine halbe Stunde lang kein Donner wahrgenommen, kann davon ausgegangen werden, dass das Gewitter vorüber ist. Die Personen können die Schutzbereiche dann verlassen.

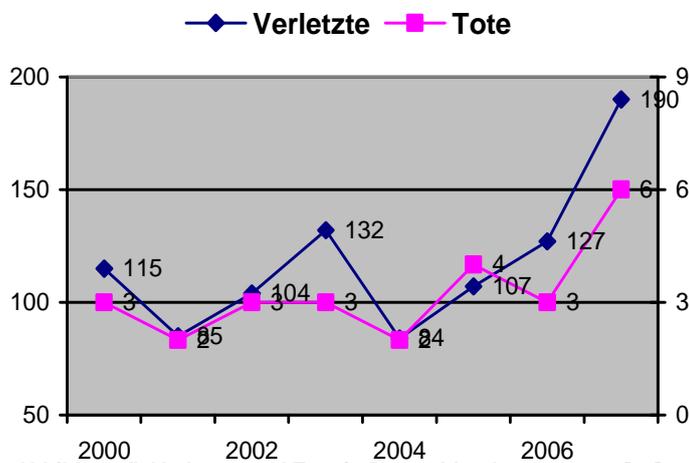


Abbildung 5: Verletzte und Tote in Deutschland 2000 - 2007 [76]

Todesfälle durch Blitzschlag sind in Deutschland seltener geworden (Abbildung 5). Im Gegensatz zu freien Flächen, Seen oder Wäldern bieten Gebäude mit Blitzschutzanlage sowie geschlossene Fahrzeuge einen sicheren Schutz. Sind diese nicht vorhanden, sollten folgende Bereiche aufgesucht werden:

- Gebäude ohne Blitzschutzanlage,
- große Zelte mit Metallgestänge und Erdungsspießen,
- Umgebung von Gebäuden oder Metallmasten.

Dabei sollten Personen von Wänden und Metallteilen nach Möglichkeit einen Abstand von mindestens 3 m einhalten.

3 Pathophysiologie

Dem Körper wird bei einem Blitzeinschlag auf unterschiedliche Weise Energie zugeführt [8][55][67]-[69][82]. Der „Blitzstrom“ ist für die Reiz- und Wärmewirkung im Gewebe verantwortlich. Kenngrößen sind vor allem

- die den Körper durchfließende Stromstärke, im Fall des Stoßstromcharakters eines Blitzes zusätzlich durch dessen Ladung gekennzeichnet,
- die Dauer der Durchströmung sowie
- der Stromweg mit seinen unterschiedlichen spezifischen Gewebewiderständen im Körper z. B. von Knochen, Haut, Muskeln, Nerven und Blut oder der Körperoberfläche (Kleidung, Haut) [10][11][54][56].

Der mit dem unmittelbaren oder sehr nahen Blitzeinschlag verbundene Lichtbogen führt der Körperoberfläche von außen Strahlungsenergie in Form von Wärme- und intensiver Lichtstrahlung zu. Besonders

davon betroffen sind die Haut, Augen sowie entflammbare Kleidung.

Schließlich kann mechanische Energie durch plötzlich entstehende Druckunterschiede (Knallgeräusch >145 db) oder sekundär entstehende Explosionen akute Traumen setzen [2].



Abbildung 6

4 Tod

Todesfälle nach Blitzeinwirkung sind selten, wenn vor Ort schnell und richtig geholfen wird [43][66][81]-[84]. Der Tod kann unmittelbar oder nach einem zeitlichen Intervall auftreten. Dabei muss betont werden, dass in einigen Fällen bei der Obduktion todesursächliche Befunde nicht erhoben werden können. Dieses ist auch nicht verwunderlich, da Herzrhythmusstörungen, die in der Literatur als Todesursache an erster Stelle genannt werden, durch morphologische Untersuchungen nicht nachzuweisen sind [82]. In derartigen Fällen können thermische Läsionen an der Kleidung oder an mitgeführten Gegenständen zum Nachweis eines blitzbedingten Todes beitragen.



Abbildung 7

Der bekannteste morphologische Befund ist die verästelte Blitzfigur auf der Haut, die bei 20-30 % der Fälle zu beobachten ist (Abbildung 6, [12]), aber mit zunehmender Leichenliegezeit abblasst bzw. verschwindet [12][82][84]. Neben der Blitzfigur können bei der Leichenschau Verbrennungen der Haut, angelegte Haare, bevorzugt gruppiert angeordnete Zerreißen der Bekleidung [69] sowie Schmelzefekte von körpernahen Metallteilen (z.B. Kette, Gürtelschnalle) diagnoseführend sein (Abbildung 7 u. 8²).

Da zerrissene Bekleidung und mechanische Begleitverletzungen mitunter den Anschein eines Tötungsdeliktes erwecken [82], sollte ein Blitzinformationssystem [76] genutzt werden, um den zeitlichen und örtlichen Zusammenhang mit dem Blitzeinschlag zu bestätigen.



Abbildung 8

² Zur Verfügung gestellt von Dr. Schwark, Institut für Rechtsmedizin am Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel

5 Präklinische Notfallmedizin

5.1 Kardiopulmonale Reanimation

Nach einem Blitzunfall gilt es, dass Nicht-Betroffene und Rettungskräfte die Notfallsituation frühzeitig erkennen und zügig lebensrettende Maßnahmen ergreifen [59]. Die Mortalität verletzter Personen wird übereinstimmend mit etwa 10–30 % beschrieben [16][21][68], vollständige Daten für Deutschland fehlen jedoch.

Aus Fallberichten kann geschlossen werden, dass eine sofortige kardiopulmonale Reanimation nach Blitzunfall mit gutem Erfolg möglich ist und sie im Vergleich zum Kreislaufstillstand anderer Genese bessere Erfolgsaussichten hat [32][42][53][59][62]-[64][73]. Selbst bei Wiederbelebungsmaßnahmen, die nicht unmittelbar nach dem Unfallereignis eingeleitet werden konnten, sind bei prolongierter Reanimationsdauer erfolgreiche Verläufe dokumentiert.

Grundsätzlich werden die Basis- und erweiterten Maßnahmen der Reanimation nach den internationalen Reanimationsleitlinien [13][18][51] durchgeführt.

5.2 Eigenschutz

Im Unterschied zum Elektrounfall an Nieder- und Hochspannungsanlagen besteht bereits unmittelbar nach einem Blitzeinschlag Spannungsfreiheit! Eine andauernde Durchströmung des Opfers oder zu Hilfe eilender Personen ist damit im Gegensatz zu Unfällen an Spannung führenden technischen Anlagen ausgeschlossen. Die verunglückte Person darf sofort berührt werden.

Bei allen rettungsdienstlichen Maßnahmen unter freiem Himmel hat der Eigenschutz der Helfer Priorität. Bei fortbestehender Gewittergefahr sollten die Helfer ein Einsatzfahrzeug oder Gebäude alsbald aufsuchen, um in vor Blitzeinschlag geschützter Umgebung die Reanimationsmaßnahmen am Patienten suffizient fortzuführen. Kann aufgrund der Umstände eine adäquate Therapie z.B. bewusstloser Patienten in unwegsamem Gelände nicht gewährleistet werden, ist die Rettung mit wenigen basalen Maßnahmen indiziert, bei Kreislaufstillstand gegebenenfalls nur durch Thoraxkompressionen [51][85].

5.3 Massenanfall von Verletzten

Im Unterschied zu einem Massenunfall mit rein traumatischem Hintergrund (z. B. Verkehrsunfall) hat die Behandlung bewusstloser Personen nach einem Blitzunfall Priorität [1][14][17][21][31][62]. Dies ergibt sich durch die prinzipiell bessere Prognose im Fall eines ausgelösten Kreislaufstillstandes.

6 Akut- und Spätfolgen

Nicht immer sind Blitzfiguren oder Strommarken sichere Kennzeichen einer Blitzeinwirkung [82]. Die Einwirkung von elektrischer, thermischer und/oder mechanischer Energie kann in erster Linie zu Bewusstlosigkeit, akuten Lähmungen, Herzrhythmusstörungen, Verbrennungen, Hör- und Sehstörungen, direkten Organschäden, Blutungen, Schockzuständen oder anderen Traumafolgen führen [26][82]. Besondere Beachtung sollten Effekte auf das zentrale und periphere Nervensystem finden. In Kap. 6.3 werden diese ausführlicher behandelt.

Ergibt die ärztliche Untersuchung ein komplexes pathophysiologisches Verletzungsmuster, ist die Einbeziehung unterschiedlicher medizinischer Fachrichtungen geboten.

6.1 Indikation zur stationären Aufnahme und Intensivtherapie

Multiple Verletzungen sind relativ häufig. Indikationen für eine stationäre Überwachung sind [20][45][50][52][59]:

- Bewusstseinsverlust, Verwirrtheit oder Krampfanfälle,
- Herzrhythmusstörungen,
- Verletzungen (Frakturen, Dislokationen, Luxationen, offene Wunden usw.),
- äußere Verbrennungen durch den Lichtbogen und/oder Strommarken, die tiefere Gewebeschäden vermuten lassen, sowie
- subjektive Beschwerden wie Benommenheit, Atemnot, Herzschmerzen, Amnesie.

Besteht Verdacht auf ausgedehnte, oberflächlich zunächst nicht sichtbare Schädigungen der Skelettmuskulatur, kann sich ein Crush-Syndrom mit sekundärem Nierenversagen entwickeln. Obwohl im Gegensatz zum Hochspannungsunfall in der Regel nicht so großflächige und schwere Verbrennungen auftreten, ist die thermische Wirkung auf Haut und innere Organe nicht zu unterschätzen. Eine engmaschige Kontrolle wegen der Gefahr von Spätfolgen ist geboten.

Werden durch den Blitzschlag auch Explosionen oder Brände ausgelöst, besteht die Gefahr der Inhalation toxischer Gase und Dämpfe. Kennzeichen wie versengte Haare, Wimpern, Schmauchspuren im Gesicht bis hin zu Verbrennungen können darauf aufmerksam machen.

6.2 Effekte auf das Herz

Nach Blitzschlag kann ein myokardiales Trauma (funktionelle Störung bis hin zu seltenen thermischen Schädigungen) vorliegen. Deshalb sollte so früh wie möglich ein EKG abgeleitet werden. Bei guten Re-

animationschancen kann von folgenden akuten Dysfunktionen ausgegangen werden:

- Eine respiratorische Paralyse führt durch Apnoe / Anoxie in wenigen Minuten zum Herzstillstand. Ventrikuläre Asystolie kann aber auch ursächlich durch eine strombedingte passagere Blockierung nervaler Strukturen herbeigeführt werden (Depolarisationseffekt von Zellmembranen) [24][25].
- Herzkammerflimmern wird ausgelöst, wenn der Stromstoß direkt in die vulnerable Phase der Herzrhythmicität (T-Zacke im EKG) fällt oder der nachfolgende bis zu ca. 500 ms dauernde Gleichstromanteil über eine Schwellenabsenkung Flimmern in den darauf folgenden relativen Refraktärphasen auslöst [4][57][58].

Über folgende kardiale Störungen wird nach EKG-Monitoring übereinstimmend berichtet [4][11][55][56][61][69][71]:

- Arrhythmien (komplexe ventrikuläre Ektopien, Vorhofflattern und -flimmern),
- Unspezifische QT-, ST-Veränderungen bis hin zu infarktähnlichen Abbildungen.

Die Überwachung/Nachsorge derartiger Störungen ist obligat. Die anfangs im EKG deutlich gewordenen Veränderungen einschließlich der infarktähnlichen Stromkurvenbilder lassen sich nach einer Woche bis maximal einigen Monaten nicht mehr nachweisen. Bei Patienten mit unauffälligem EKG, Beschwerdefreiheit und ohne kardiopulmonale Reanimation ist eine weitere kardiale Überwachung nicht indiziert [55].

6.3 Effekte auf das zentrale und periphere Nervensystem

Das zentrale, periphere und autonome Nervensystem können durch hohe impulsförmige Ströme temporär aber auch langfristig nachhaltig geschädigt werden. Abhängig von der zugeführten Energiemenge sind initial akute neurologische Schäden nicht auszuschließen. In der Vergangenheit wurden sie eher unterdiagnostiziert, zumal deren genaue Pathogenese bisher nicht bekannt ist [48][49]. Am eindruckvollsten sind Keraunoparalyse (Blitzlähmung), Bewusstlosigkeit unterschiedlicher Dauer, Verwirrtheit, sensible Störungen, Rindenblindheit aber auch Kreislaufstillstand durch Schädigung des autonomen Nervensystems.

Direkte Blitzeinschläge in den Schädel sind mit einer besonders hohen Letalität behaftet. Dabei können sich Kontusionsherde, Einblutungen oder eine subarachnoidale Blutung zeigen [2]. Es kann zu länger dauernden Myelonschäden kommen, wenn der Hauptladungsfluss über das Rückenmark geht. Es scheint so, dass der Strom die präformierten Lei-

tungsschienen - Zentrales Nervensystem, Myelon, periphere Nerven, aber auch Gefäßbahnen - bevorzugt. Dies liegt sicher auch an der guten Isolierung des Körpers durch das subkutane Fettgewebe [80].

Wird der Blitzschlag überlebt, dauert die Verwirrtheit zwischen wenigen Minuten bis zu Stunden, sie bessert sich nur langsam. Meist besteht eine Amnesie retro- aber auch antegrad zum Ereignis. Manche Patienten berichten, sie hätten einen Knall gehört, dann sei alles weiß gewesen, sie hätten nichts mehr gesehen und könnten sich an nichts mehr erinnern [48]. Sie klagen in der Post-akut-Phase über Gedächtnis- und Konzentrationsstörungen. Diese sind ernst zu nehmen, zumal die Symptome - oft unspezifisch - als solche vom Umfeld, den Behandlern oder auch Gutachtern unterschiedlich wahrgenommen werden. CT- und MR-Befunde sind in der Regel unauffällig [15].

Die korrekte Erfassung neuropsychologischer Langzeitschäden erfordert eine differenzierte Diagnostik, keinesfalls ist z.B. ein Mini-Mental-Test ausreichend. Überwiegend sind temporale und frontale Funktionen betroffen. Die Schwere der neuropsychologischen Defekte wird oft unterschätzt, bis zu 100 % Minderung der Erwerbsfähigkeit sind möglich. Ihre rechtzeitige Erfassung ermöglicht eine erstaunlich erfolgreiche, gezielte und frühzeitige Rehabilitation.

Zu beachten ist, dass der Befund häufig von einer ausgeprägten Posttraumatischen Belastungsreaktion und/oder Depression überlagert wird. Dabei ist es nicht immer klar, ob die Depression eine direkte organische Folge des Blitzschlages ist oder ob es sich um eine depressive Reaktion auf das Ereignis bzw. die eingetretenen Defizite handelt. Abzutrennen davon sind nachvollziehbare Angststörungen wie Keraunophobie oder auch die Angst vor Stromschäden im Allgemeinen. Verhaltenstherapeutische Maßnahmen sind dann obligat und rechtzeitig einzuleiten [29].

Im Bereich des peripheren Nervensystems klagen einige Patienten bereits sehr früh über unspezifische, schwer beschreibbare sensible Störungen. Die Bestimmung der motorischen und sensiblen Leitungsgeschwindigkeiten, der sensibel evozierten Potenziale und der motorisch evozierten Potenziale sind, abgesehen bei schweren lokalen Schädigungen, zunächst unauffällig und daher kaum wegweisend. Da normale Leitungsgeschwindigkeiten und Latenzen gemessen werden, wird vom Untersucher zunächst ein unauffälliger Befund erhoben und eine psychische Komponente unterstellt. In diesem Fall darf aber nicht ausgeschlossen werden, dass es auch zu einer Schädigung der dünnen, unbemerkten Fasern gekommen ist. Da diese z.B. auch für die Temperatur- und Schmerzleitung mitverantwortlich sind, kann der

Schaden nur über eine differenzierte neurophysiologische Diagnostik erfasst werden (z.B. Quantitative Sensible Testung, Mikroneurographie).

Zusammenfassend: Die neurologisch / psychiatrische Diagnostik sollte von Ärzten oder Psychologen durchgeführt werden, die mit der Problematik „Blitzunfall“ bereits hinreichende Erfahrungen sammeln konnten. Wesentliche Schädigungen sind dann nicht zu übersehen und es wird verhindert, dass der Patient nach einem derartigen für ihn fast immer traumatischen Ereignis als Simulant angesehen wird.

6.4 Effekte auf das Hör- und Gleichgewichtsorgan

In mehr als der Hälfte aller Blitzunfälle treten Läsionen des Hör- und/oder Gleichgewichtsorgans auf [3][74]. Verantwortlich ist meistens die Druckwelle, die sich bei einem in der Nähe des Kopfes einhergehenden Einschlags entwickelt.

Die otologischen Verletzungen sind auf Barotraumen, Verbrennungen oder vasomotorische Effekte zurückzuführen [36][47]. Sie waren bei nahezu allen Betroffenen mit weiteren Läsionen (z. B. Hautverbrennungen) kombiniert [74]. Am häufigsten wurden Trommelfellrupturen mit nachfolgenden Komplikationen wie zum Beispiel Schwerhörigkeit beschrieben [74][78][79].

Unfälle an schnurgebundenen Telefonen verursachen typischerweise Verbrennungen des äußeren Gehörganges, Perforationen des Trommelfells, persistierenden Tinnitus, bilaterale Taubheit, Vertigo und/oder Nystagmus [46].

6.5 Effekte auf die Augen

Nahezu allen Schäden des Auges gemeinsam ist eine zunächst erhebliche Sehminderung. Photochemische Reaktionen führen zu meist irreparablen Schädigungen aller vorderen Augenabschnitte, Glaskörper und Netzhaut. Beschrieben wurden auch Netzhautblutungen, Maculaforamina, arterielle und venöse Zentralverschlüsse sowie Netzhautablösungen infolge von Lochbildungen [5][9][23][28]. Geringe Läsionen können folgenlos ausheilen, tiefergehende Schädigungen lassen sich durch augenärztliche Intervention bessern. Am häufigsten sind Hornhaut und Linse betroffen [33]-[35].

Mögliche Schäden sind:

- Lider: Arborisiertes Erythem, Muskelrisse, Verbrennungen, Ankyloblepharon, Kontusionsherde, Pigmentstörungen [23].
- Augenmuskeln: Störungen des binocularen Sehens, Nystagmus, akutes Schielen mit permanenter Diplopie.

- Keratoconjunctivitis: Verblitzung mit conjunctivaler Reizung und Keratitis superficialis, schmerzhafte Schädigung des Hornhautepithels, Narbenbildungen der Hornhaut [34][37][54].
- Augencontusion: Durch die Druckwelle kann es zu einer Prellung des Auges mit Vorderkammer- und Netzhautblutungen, Pupillenstörungen und Gewebszerreißen tieferer Abschnitte kommen. Contusionscataract, Sekundärglaucom, Glaskörpereinblutungen und Netzhautablösungen infolge Lochbildung wurden als direkte oder spätere Folgen beschrieben [28][35][54][65][74].
- Blitzstar: Diese mit einer gewissen Latenz auftretenden Trübungen betreffen meist beiderseits alle Abschnitte, vor allem hintere Rinde und Kapsel [23][33][65].

7 Vergleichende Erkenntnisse aus der Veterinärmedizin

Unfälle mit einzelnen Tieren sind eher selten. In der Regel handelt es sich um Tiermassenunfälle auf der Weide. Kühe, Pferde, Schafe drängen sich schutzsuchend unter Bäume oder am Koppelzaun zusammen. Großtiere sind besonders gefährdet, weil sie 4-füßig auf dem Boden stehen und höheren Schrittspannungen als der stehende Mensch ausgesetzt sind. Selten finden sich Blitzmarken, dann bevorzugt am Kronsaum (Übergang zum isolierenden Hornschuh). Für tödliche Unfälle in Stallanlagen (Schweine, Kühe) sind in erster Linie Berührungsspannungen verantwortlich.

Beim direkten Blitzeinschlag sind starke Muskelreaktionen, aber auch immer eine direkte Durchströmung des Herzens sowie von Nervenstrukturen zu erwarten, ebenso bei einer Quer- oder Längsdurchströmung infolge der Schrittspannung. Folglich stürzen z. B. Rinder sofort um. Lähmungen der Extremitäten und der Atmung sowie kardiale und ZNS-Störungen führen in der Regel zum sofortigen Tod. Nach Obduktionen waren sichere Myokardläsionen nicht nachweisbar. Dagegen wird berichtet von stark ausgeprägter Tympanie (Blähungen) z. T. mit blutigem Schaum, der aus den Körperöffnungen austritt, sowie Aftervorfall. Unterhautgefäße sowie alle Organe einschließlich des Gehirns erschienen stark mit schlecht geronnenem Blut gefüllt. Diese Bereiche waren zudem oft mit Hämorrhagien durchsetzt. Die Trachea kann Schaum und Blut enthalten. In manchen Fällen lagen auch Knochenbrüche (Schädel oder Gliedmaßen) vor [6].

Von geringeren Störungen erholen sich die Tiere mit wenigen Ausnahmen. Bei ihnen werden vorübergehende bis persistierende Dysfunktionen beschrieben. Zu den Erscheinungsbildern gehören dann vor allem

Benommenheit, Berührungsempfindlichkeit, Nystagmus, Sehstörungen, Gesichtasymmetrie (Fazialislähmung), abnorme Haltung von Kopf oder Hals (Akzessoriuslähmung), Ataxie oder völlige Lähmung der Gliedmaßen. Rinder erscheinen „wie verrückt“, denn sie zeigen plötzlich starke Erregung, Brüllen, Zittern, Herumwerfen des Kopfes, wildes Ausschlagen, Aufbäumen oder Hochspringen, plötzlichen Harnabgang oder abruptes Niedergehen und Strecken der Gliedmaßen. Am Herzen wird über totalen AV-Block, Sinusknotenausfall mit nachfolgender Kammerautomatik, ST-Streckenhebung, schenkelblockartige Verbreiterungen der QRS-Komplexe, multifokale ventrikuläre Extraschläge bei extremer Bradykardie und Kammerflattern, WENCKEBACHsche Periodik berichtet [22].

Autoren

Dieses Merkblatt entstand unter Mitarbeit von:

- C. J. Diepenseifen, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Universitätsklinikum
- Ing. (grad)/Dipl. Wirtsch.-Ing. (FH) W. Heuhsen, RBS + PWW GmbH, Berlin
- Dr. vet. med. M. Höltershinken, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Klinik für Rinder
- Prof. Dr.-Ing. J. Kupfer, Wissenschaftliches Beratungsbüro Elektropathologie, Berlin, Leiter VDE/ABB AK Blitzunfälle
- Prof. Dr. med. E. C. Reisinger, Universität Rostock
- Prof. Dr. med. B. Schalke, Universität Regensburg, Neurologische Klinik
- OA Dr. med. R. Sievers, Klinikum Nürnberg Süd, Schwerbrandverletzte
- Dr. med. R. A. Winn, Augenarzt, Kleinmachnow
- OA Dr. med. F. Zack, Universität Rostock, Institut für Rechtsmedizin
- Dr.-Ing. W. Zischank, Universität der Bundeswehr München, Neubiberg

Herausgeber

VDE e.V.

Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung (ABB)

Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt

www.vde.com/abb

1. Auflage 2-2012



Literatur und weiterführende Links

- [1] Andres, S., M. Tsokos u. K. Püschel: Nachweis der Stromwirkung und des Stromweges im Körper. Rechtsmedizin 2002; 12:1–9
- [2] Andrews, C., M. A. Cooper and R. Holle: Section V: Electrical Injuries by Source of Electricity or Mechanism of Injury. In: Fish, R. M. and L. A. Geddes (ed): Electrical Injuries: Medical and Bioengineering Aspects, 2nd ed.: Lawyers & Judge Publishing Company, inc., Tucson, AZ, USA, 2009; 373-397
- [3] Angerer, F., U. Hoppe u. B. Schick: Blitzeinschlag in einen PKW mit Schädigung des Hörorgans. HNO 2009; 57:1081-1084
- [4] Antoni, H.: Zur Pathogenese von Herzrhythmusstörungen in der Intensivmedizin. Darmstadt 1977; 11:1-18
- [5] Augustin, A.J., F. Koch u. T. Böker: Macular damage following lightning strikes. In: Ger. J. Ophthalmol. 1995; 7:4:214-216
- [6] Baumgärtner W. u. A.D. Gruber (Hrsg.): Allgemeine Pathologie für die Tiermedizin. Enke Verlag Stuttgart 2011; S. 63
- [7] Berger, K.: Blitzforschung und Personenblitz. Etz-Archiv 1971; 92:9ff
- [8] Berger, K., G. Biegelmeier u. H. Karobath: Über die Wahrscheinlichkeit und den Mechanismus des Todes bei Blitzeinwirkungen. SEV Bulletin 1978; 69:8:361-366
- [9] Biro, Z. and Z. Pamer: Electrical cataract and optic neuropathy. In: International Ophthalmology 1994; 18:1:43-47
- [10] Biegelmeier, G.: Wirkungen des elektrischen Stroms auf Menschen und Nutztiere – Lehrbuch der Elektropathologie. VDE-Verlag Berlin, Offenbach, 1986
- [11] Brinkmann, K. u. H. Schaefer (Hrsg.): Der Elektrounfall. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1982
- [12] Bouquegneau, Ch.: Doit-on craindre la foudre?. Vlg. EDP Sciences 2006
- [13] Bundesärztekammer: Reanimation – Empfehlungen für die Wiederbelebung. 5. überarbeitete Auflage. Deutscher Ärzte-Verlag Köln, 2011
- [14] Carte, A. E., R. B. Anderson and M. A. Cooper: A Large Group of Children Struck by Lightning. Annals of Emergency Medicine 2002; 39:6:665-670
- [15] Cherington, M., P. Yarnell and D. Hallmark: MRI in lightning encephalopathy Neurology 1993; 43:1437-1438
- [16] Cooper, M. A.: Emergent care of lightning and electrical injuries. Semin. Neurol. 1995; 15:268-278
- [17] David, P. M., L. Moskowitz and M. Hardel: Lightning Strikes at a Mass Gathering. Southern Medical Journal 1999; 92:6:708-710
- [18] Deakin C.D., J.P. Nolan, J. Soar, K. Sunde, R. W. Koster, G. B. Smith and G. D. Perkins: Erweiterte Reanimationsmaßnahmen für Erwachsene („advanced life support“) - Sektion 4 der Leitlinien zur Reanimation des European Resuscitation Council. Notfall+Rettenngsmed 2010; 13:559–620
- [19] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV) (Hrsg.): Information: Gewitter auf dem Vorfeld von Verkehrsflughäfen – Gefährdungen und Schutzmaßnahmen. Berlin, 2011
- [20] Dt. Gesellschaft für Verbrennungsmedizin: Empfehlungen der präklinischen Versorgung von Verbrennungspatienten. (in Zusammenarbeit mit dem Bundesarbeitskreis der Ärztlichen Leiter der Rettungsdienste Deutschland) Dortmund, 2006
- [21] Diepenseifen, C. J., J.-C. Schewe, F. Malotki u. H. Conrad: Blitzunfall bei Flugschau – Einsatztaktische Betrachtungen aus Sicht des Rettungsdienstes. Notfall & Rettungsmedizin 2009; 12:523-530
- [22] Dirksen, G., H.-D. Gründer u. M. Stöber (Hrsg.): Innere Medizin und Chirurgie des Rindes. 4. vollständig neu bearbeitete Auflage. Vlg. Georg Thieme Stuttgart, 2006; 1158-1162
- [23] Duke-Elder, St. and P.A. MacFaul: System of Ophthalmology. Mechanical Injuries. London 1972; 1:518-544

- [24] Duppel, H., M. Löbermann u. E. C. Reisinger: Aus heiterem Himmel vom Blitz getroffen. Dtsch. med. Wochenschr. 2009; 134:23:1214-1217
- [25] Eber, B., G. Himmel, B. Schubert, J. Zeuscher, J. Dusleag u. H. Antoni: Myokardiale Schädigung nach Blitzschlag. Zeitschrift für Kardiologie 1989; 78:402-4047
- [26] Edelstein, J., W. Peters and R. Cartotto: Lightning injury: A review and case presentations. In: Canadian. Journal of Plastic Surgery. 1994; 2:164-168
- [27] Edlich, R.F., H.M. Farinholt, K.L. Winters, L.D. Britt and W.B. Long: Modern concepts of treatment and prevention of lightning injuries. In: Journal of Long-Term Effects of Medical Implants 2005; 15:2:185-196
- [28] Espallat, A., R.Jr. Janigian and K. To: Cataracts, bilateral macular holes, and rhegmatogenous retinal detachment induced by lightning. In: American Journal of Ophthalmology 1999; 127:2:216-217
- [29] Faust, V.: Blitzschlag und seelische Folgen. Arbeitsgemeinschaft Psychosoziale Gesundheit 2009, Online First
- [30] Fish, R. M.: Electric Injury, Part I: Treatment Priorities, Subtle Diagnostic Factors and Burns. The Journal of Emergency Medicine 1999; 17:6:977-983
- [31] Flemming, A. u. H. A. Adams: Rettungsdienstliche Versorgung beim Massenanfall von Verletzten (MANV). Intensivmedizin 2007; 44:452-459
- [32] Fontanarosa, P. B.: Electrical shock and lightning strike. Ann. Emerg. Med. 1993; 22:378-387
- [33] Gupta A., S. Sengupta and R. Babu: Bilateral cataract following lightning injury. In: European Journal of Ophthalmology 2006; 16:4:624-662
- [34] Gruber, A. u. J. Faulborn: Keratitis photoelectrica. Med. Uni. Graz, 2004
- [35] Handa, J.T. and G.J. Jafe: Lightning maculopathy: A case report. In: Retina 1994; 14:2:169-172
- [36] Hanson, G.C. and G. R. Mcllwraith: Lightning injury: Two case histories and a review of management. Br. Med. J. 1973; 4:271-274
- [37] Hashemi, H., M. Jabbarvand and M. Mohammadpour: Bilateral electric cataracts: Clinicopathologic report. In: Journal of cataract and refractive surgery 2008; 34:8:1409-1412
- [38] Hasse, P., J. Wiesinger u. W. Zischank: Handbuch für Blitzschutz und Erdung. 5. Auflage Richard Pflaum Verlag GmbH&Co KG München, 2006
- [39] Heidler, F. u. K. Stimper: Blitz und Blitzschutz. VDE Verlag GmbH Berlin, Offenbach, 2009
- [40] Heidler, F., W. Zischank, Z. Flisowski, Ch. Bouquegneau and C. Mazzetti: Parameters of Lightning Current. IEC 62305 – Background, Experience and Outlook. 29th International Conference on Lightning Protection. 23.-26. June 2008, Uppsala, pp.1ff
- [41] Heidler, F. and J. Cvetic: A Class of Analytical Functions to Study the Lightning Effects Associated With the Current Front. ETEP 2002; 12:2:141-149
- [42] Hey, D. u. W. Riedler: Erfolgreiche Laien-Reanimation nach Blitzschlag. Dtsch. Med. Wschr. 1983; 108:1217-1218
- [43] Hinkelbein, J., O. Spelten u. W.A. Wetsch: Blitzschlag und Blitzunfälle in der präklinischen Notfallmedizin. Unfallchirurg 2011, Online First
- [44] Holl, R. L., R. E. López, K. W. Howard, J. Vavrek and A. Allsops: Safety in the presence of lightning. Semin. Neurol. 1995; 15:375-380
- [45] Jester, A. u. U. Hoppe: Präklinische Erstversorgung von Brandverletzten. Trauma und Berufskrankheit, 2008; 10 (Suppl. 3):322-326
- [46] Jonstone, B. R., D. L. Harding and B. Hocking: Telephone-related lightning injury. Med. J. Aust. 1986; 144:706-709
- [47] Just, T., B. Kramp u. H. W. Pau: Blitzschlaginduzierte Verletzungen des Ohres. HNO 2002; 50:170-171
- [48] Kleiter, I., W. Schulte-Mattler u. B. Schalke: Blitzunfall – Energieübertragungsmechanismen und medizinische Folgen: Effekte auf das Nervensystem. Deutsches Ärzteblatt 2008; 105:12:224
- [49] Kleiter, I., R. Luerding, G. Diendorfer, H. Rek, U. Bogdahn and B. Schalke: A lightning strike to the head causing a visual cortex defect with simple and complex visual hallucinations. BMJ Case Rep. 2009, s.a. J Neurol Neurosurg Psych 2007; 78:423-426
- [50] Koppenberg, J. u. K. Taeger: Stromunfälle. Notfall+Rettungsmed 2001; 4:283-298
- [51] Koster R.W., M.A. Baubin, L.L. Bossaert A. Caballero, P. Casan, M. Castre'n, C. Granja, A. J. Handley, K. G. Monsieurs, G. D. Perkins, V. Raffay and C. Sandroni: Basismaßnahmen zur Wiederbelebung Erwachsener und Verwendung automatisierter externer Defibrillatoren - Sektion 2 der Leitlinien zur Reanimation des European Resuscitation Council. Notfall+Rettungsmed 2010; 13:523-542
- [52] Krämer, P. F., P. A. Grützner u. C. G. Wöfl: Versorgung des Brandverletzten – Standardisiertes präklinisches Management. Notfall+Rettungsmed 2010; 13:23-30
- [53] Krejci, K., M. Luther, M. Beltle u. B. Kramann: Wiederbelebung nach tödlichem Blitzschlag. Münch. Med. Wschr. 1984; 126:3:63-64
- [54] Krishna A. R., K.A. Rao, L.G. Rao, A.N. Kamath and V. Jain: Bilateral hole secondary to remote lightning strike. In: Indian Journal of Ophthalmology 2009; 57:6:470-472
- [55] Kupfer, J., K. Funke u. R. Erkens: Elektrischer Strom als Unfallursache – Verhütung, Wirkungen, Sofortmaßnahmen, Behandlung, Begutachtung. Verlag Tribüne Berlin, 1987
- [56] Kupfer, J. u. R. Stieglitz: Unfälle durch elektrischen Strom. Verlag Tribüne Berlin, 1973
- [57] Kupfer, J.: Technische Darstellung einer Methode zur reizeinbruchfreien Registrierung des Elektrokardiogramms bei elektrischer Durchströmung des Herzens am Ganztier. Biomedizinische Technik, Berlin 1971; 16:103-115 u. 151-160
- [58] Kupfer, J., R. Bastek u. S. Eggert: Grenzwerte zur Vermeidung von Unfällen durch elektrischen Strom mit tödlichem Ausgang. Z. ges. Hyg. Berlin 1981; 27:1:9-12
- [59] Lederer, W. u. G. Kroesen: Notfallmedizinische Versorgung von Blitz- und Stromschlagverletzungen. Anaesthesist 2005; 54:1120-1129
- [60] Leikin, J. B., E. Aks, S. Andrewys, P. S. Auerbach, M. A. Cooper, T. D. Jacobsen, E. P. Krenzelok, L. Shicker and S. L. Wiener: Environmental injuries. Disease-a-Month 1997; 43:809-916
- [61] Lichtenberg, R., D. Dries, K. Ward, W. Marshall and P. Scanlon: Cardiovascular effects of lightning strikes. J. Am. Coll. Cardiol. 1993; 21:531-536
- [62] Lifschultz, B. D. and E. R. Donoghue: Deaths caused by lightning. J. Forensic Sci. 1993; 38:353-358
- [63] Marcus, M. A., N. Thijs and A. I. Meulemans: A prolonged but successful resuscitation of a patient struck by lightning. Eur. J. Emerg. Med. 1994; 1:199-202.
- [64] Milzman, D. P., L. Moskowitz and M. Hardel: Lightning strikes at a mass gathering. South Med. J. 1999; 92:708-710
- [65] Norman, M.E., D. Albertson and B.R. Younge: Ophthalmic manifestations of lightning strike. In: Survey of Ophthalmology 2001; 46:1:19-24
- [66] Püschel, K., R. Kalka, F. Schulz u. F. Zack: Tod durch Blitzschlag – Fahrrad als „(Faraday'sche) Falle“. Rechtsmedizin 2009; 19:102-104
- [67] Reilly, J. P.: Applied Bioelectricity – From Electrical Stimulation to Electropathology. Springer-Verlag New York, 1998
- [68] Rieder, W.: Erfolgreiche Laien-Reanimation nach Blitzschlag. DMW 1983; 108:31732:1217-1218

- [69] Ritenour, A. E., M. J. Morton, J. G. McManus, D. J. Barillo and L. C. Cancio: Lightning injury: A review. *Burns* 2008; 34:585-594
- [70] Schaidt, G.: Spuren an Kleidungsstücken beim Blitzunfall. *Arch. Kriminol.* 1977; 159:93–96
- [71] Soar, J., G. D. Perkin, G. Abbas, A. Alfonzo, A. Barelli5, J. J. L. M. Bierens, H. Brugger, C. D. Deakin, J. Dunning, M. Georgiou, A. J. Handley, D. J. Lockey, P. Paal, C. Sandroni, K.-C. Thies, D. A. Zideman and J. P. Nolan: Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen: Elektrolytstörungen, Vergiftungen, Ertrinken, Unterkühlung, Hitzekrankheit, Asthma, Anaphylaxie, Herzchirurgie, Trauma, Schwangerschaft, Stromunfall - Sektion 8 der Leitlinien zur Reanimation des European Resuscitation Council. *Notfall+Rettenungsmed* 2010; 13:679–722
- [72] Stütz, N., D. Weiss u. B. Reichert: Verletzungen durch Blitzschlag – Fallbeschreibung eines 17-jährigen Patienten und kurze Literaturübersicht. *Unfallchirurg* 2006; 109:495-498
- [73] Taussig, H. B.: Death from lightning – and the possibility of living again. *Ann. Intern. Med.* 1968; 68:1345–1353
- [74] Tribble, C.G., J. A. Persing, R. F. Morgan, J. G. Kenney and R. F. Edlich: Lightning injuries. In: *Comprehensive Therapy* 1985; 11:2:32-40
- [75] VDE e.V.- Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung (ABB): Broschüren und Merkblätter (Bestellung/Download unter www.vde.com/infocenter)
- Wie kann man sich gegen Blitzeinwirkung schützen?
 - Fußball bei Gewitter? – Richtiges Verhalten im Freien
 - Blitzschutz für Zuschaueranlagen
 - Berücksichtigung direkter Blitzeinschläge in Personen bei der Risikoanalyse für Zuschaueranlagen
- [76] VDE e.V. Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung (ABB), Unterausschuss Statistik (W. Heuhsen): Statistische Auswertungen der Blitzeinwirkungen in Deutschland, 2007-2009
- [77] VDE e.V.: Anzeige von Blitzdaten (Online-Service), www.vde.com/blitzdaten
- [78] Volinsky, J. B., J. B. Hanson, J. V. Lustig and W. W. Tunnesen: Clinical pictures. *Arch. Fam. Med.* 1994; 3:657-658
- [79] Wetli, C. W.: Keraunopathology. An analysis of 45 fatalities. *Am. J. Forensic Med. Pathol.* 1996; 17:89-98
- [80] Wilborn, A. J.: Peripheral nerve disorders in electrical and lightning injuries. *Sem. Neurol.* 1995; 15:241-255
- [81] Zack, F., U. Hammer, I. Klett and R. Wegener: Myocardial injury due to lightning. *Int. J. Legal Med.* 1997; 110:326-328
- [82] Zack, F., M. A. Rothschild u. R. Wegener: Blitzunfall – Energieübertragungsmechanismen und medizinische Folgen. *Deutsches Ärzteblatt* 2007; 104:A3545-A3549
- [83] Zack, F., J. Rummel u. K. Püschel: Blitzschläge auf Fußballplätzen – Eine unterschätzte Gefahr. *Rechtsmedizin* 2009; 19:77-82
- [84] Zack, F., J.-O. Rammelsberg, B. Graf u. A. Büttner: Tod durch Blitzschlag – und wieder unter einem Baum. *Rechtsmedizin* 2010; 20:108-110
- [85] Zaffren, K., B. Durrer, J. P. Henry and H. Brugger: Lightning injuries: Prevention and on-site treatment in mountains and remote areas: 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; 65:269-372