

# Lehren aus Störungen in Stromversorgungsnetzen

Autor(en): **Wüger, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **69 (1978)**

Heft 23

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-914965>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Lehren aus Störungen in Stromversorgungsnetzen

Von H. Wüger

*Über schlechte Erfahrungen berichtet man so ungern wie über eigene Fehler. Das Verschweigen ist verständlich, aber bedauerlich, denn aus Fehlern und Erfahrungen kann man viel lernen. Die Zurückhaltung ist jedoch begreiflich, weil oft sofort nach Verantwortlichen gejagt und Bestrafung der Schuldigen gefordert wird. Dabei tragen nicht selten vorher unbekannte und unwahrscheinliche Tatsachen die Schuld an Misserfolgen.*

*Nachfolgend werden ein paar interessante Vorkommnisse beschrieben, und es wird berichtet, was für Vorkehrungen getroffen wurden. Vor allem zu den grossen Black-outs in den USA von 1965 und 1977 werden einige Fragen gestellt.*

## 1. Unfall und Schadenfall vom 10. Dezember 1937 im Unterwerk Aathal

Im Unterwerk Aathal der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, in dem die Energie von 50 auf 8 kV transformiert wurde, waren Bauarbeiten im Gang. Man bereitete den Ersatz von zu schwach gewordenen 50-kV-Ölschaltern durch leistungsfähigere vor.

Im Laufe des Vormittags verursachte eine Ratte in einer etwa 8 km vom Unterwerk entfernten Transformatorstation einen Kurzschluss. Aus zunächst unverständlichen Gründen löste der 8-kV-Linienschalter nicht aus. Der dauernd fliessende Kurzschlussstrom heizte die beiden obersten Drähte der doppelsträngigen Freileitung auf Rotglut auf. Ihr Durchhang wurde immer grösser, und sie berührten schliesslich die darunterliegenden Phasenleiter und leiteten so neue Kurzschlüsse ein, die sich immer mehr dem Unterwerk näherten.

Dort war das Bedienungspersonal durch das Rattern der Relais auf den abnormalen Zustand aufmerksam geworden. Da es die Ursache nicht zu erkennen vermochte, öffnete ein Mann den 50-kV-Hauptschalter von Hand. Dieser, ein vier-eckiger Ölkesselschalter, war der Abschaltung nicht gewachsen, explodierte vor den Augen des Mannes, der Brandwunden erlitt und geblendet wurde.

Die Untersuchung des Falles ergab, dass sich durch die Erschütterungen bei den Spitzarbeiten für den Umbau die Klemme der Gleichstromhauptleitung gelöst hatte. Dadurch waren die Alarm- und Schutzeinrichtungen ausser Betrieb gesetzt worden.

## 2. Brand des Unterwerkes Aathal

### 2.1 Beschreibung

Während eines langen und heftigen Gewitters in der Nacht vom 4. auf den 5. September 1942 schlug der Blitz mehrmals in Leitungen und Transformatorstationen des 8-kV-Netzes ein, wobei bleibende Erdschlüsse entstanden. Um die nötigen Schaltungen (Aufteilung des Netzes in zwei getrennte Sektoren) vorzunehmen, waren zwei Männer in die nachts normalerweise unbediente Anlage geeilt. Eine halbe Stunde vor Mitternacht schlug dann ein Blitz direkt in die Decke einer Haupttransformatorzelle ein, in der ein 4-MVA-Reguliertransformator 50/8 kV stand. Da der Erdungswiderstand des Blechdaches relativ hoch war, erfolgten Rücküberschläge auf Erdleitungen und die 8-kV-Transformatorableitung einer Phase. Dabei zersprang der Durchführungsisolator, und das ausfliessende Öl entzündete sich.

Am Buchholzschutzapparat hatten die brennenden Lichtbögen einen Kurzschluss in der Gleichstromanlage erzeugt,

*On évite tout autant de parler des mauvaises expériences que des propres fautes. Cela est compréhensible, mais regrettable, car les fautes et les expériences pourraient être des sources d'enseignements pour d'autres. La réticence provient du fait de l'habitude à rechercher aussitôt le responsable et à sanctionner les coupables. Pourtant, des faits inconnus et imprévisibles sont fréquemment à l'origine des incidents.*

*Quelques cas intéressants sont décrits dans l'article qui suit, ainsi que les mesures qui ont été prises. L'auteur soulève notamment quelques questions au sujet des pannes de courant catastrophiques qui se sont produites aux Etats-Unis d'Amérique en 1965 et 1977.*

wodurch die Alarme sowie alle Hilfseinrichtungen (elektrische Schalterbetätigungen usw.) ausfielen.

In der Transformatorzelle spritzte weiter Öl umher; Öl und Lichtbogen brannten, bis sich schliesslich die Öldämpfe entzündeten. Mit einem gewaltigen Explosionsknall wurde der die Zelle abschliessende eiserne Rolladen aus den Führungen gerissen und über die Strasse geschleudert. Nun hatte das Feuer freien Weg, loderte durch geborstene Fenster ins Innere der Schaltanlage und aussen am Haus hinauf zum Dachvorsprung und ins Dachgebälk. Das alles spielte sich in wenigen Minuten ab, während denen die beiden Männer, irritiert durch Feuererscheinungen und Lärm, zuerst konsterniert und gebannt dastanden, dann vergeblich die Auslöseknöpfe der Schalter drückten, aber vor Aufregung nicht auf die Idee kamen, die beiden 50-kV-Speiseschalter von Hand zu öffnen. Die Leute versuchten dann, das Feuer mit den Handfeuerlöschern zu bekämpfen. Sie richteten dabei nichts aus, weil diese, wie sich nachträglich herausstellte, überhaupt nicht mehr funktionierten und bei dem ausgedehnten Brand ohnehin wirkungslos gewesen wären.

Aber die Verwirrung wurde noch grösser, als die Leute zu ihrem Schrecken feststellen mussten, dass auch die Telefonanlage durch Blitzschläge ausser Betrieb gesetzt worden war. Um die Feuerwehr zu alarmieren, musste einer der Männer über einen Kilometer weit rennen, bis er einen intakten Telefonanschluss erreichte. Kein Wunder, dass die Feuerwehr bei ihrem Eintreffen einen Vollbrand vorfand.

Der Dachstock brannte vollständig aus. Das aus zerstörten Schaltern und Wandlern fliessende und in Brand geratene Öl verschmutzte die ganze Schaltanlage mit einer dicken Ölrusschicht. Schliesslich verursachte auch das Löschwasser weitere Schäden; es tropfte noch beim Tagesgrauen als 50grädiger schwarzer Regen herunter.

Dank einer Gewaltanstrengung des gesamten Personals und zugezogener Unternehmergruppen konnte durch Umschaltungen im Netz sämtliche Abnehmer innert 4 Stunden behelfsmässig wieder beliefert und das Unterwerk nach 42stündiger, pausenloser Arbeit wieder provisorisch in Betrieb genommen werden. Das forcierte Aufräumen hatte aber zur Folge, dass bei der Untersuchung des Falles viele Einzelheiten nicht mehr so aufgeklärt werden konnten, wie es wünschbar gewesen wäre.

### 2.2 Diskussion

«Wer nicht schweigen kann, schadet der Heimat.» Man war ja mitten im Krieg, und daher wurde damals nicht ausführlich berichtet. Auf die Beteiligten wirkte der Brand von Aathal wie ein Schock. Zu vieles hatte versagt; mindestens 12 verschiedene



Fig. 1 Unterwerk Aathal nach dem Brand

«Ursachen» spielten entweder eine auslösende oder zeitverzögernde und damit den Schaden vergrössernde Rolle. Man war sich klar, dass viele technische Verbesserungen nötig waren, zum Beispiel Verstärkung der Isolation der Gleichstromanlage, soweit möglich Verwendung von ölfreien Apparaten. Aber man hatte weitere Schlüsse zu ziehen:

- Weil es in der Regel lange dauert, bis in einer Anlage eine grössere Störung auftritt, hat die Belegschaft selten Gelegenheit, das richtige Verhalten zu üben.

- Fasst man mehrere Unterwerke zu einer Betriebsgruppe zusammen, wobei alle Anlagen von einem gemeinsamen Fernsteuerzentrum aus bedient werden, so erhält die Bedienungsmannschaft dieser Gruppe öfter Gelegenheit, sich mit der Behebung von Störungen auseinanderzusetzen. Die entstehenden Mehrkosten können im allgemeinen durch Einsparungen bei den Personalkosten weitgehend wettgemacht werden.

- Die Bedienung sollte aus der Hochspannungsanlage herausgenommen werden, damit die Belegschaft in Sicherheit, weg von Feuer und Lärm, handeln kann.

- Alle elektrischen und alle andern Apparate müssen periodisch auf ihr richtiges und zuverlässiges Funktionieren geprüft werden (Relais, Druckluftventile, Feuerlöscher usw.).

- Neben der Wartung der Anlagen soll die Belegschaft Gelegenheit haben, regelmässig interessante Arbeit, zum Beispiel in einer Werkstätte, zu verrichten.

Aus dieser Überlegung heraus entstand damals ein neues Betriebskonzept. In jedem der vier Betriebskreise wurde ein Unterwerk zum Fernsteuerzentrum ausgebaut, von dem aus die übrigen ferngesteuert werden. Damit konnte der Personalbestand pro Betriebskreis von  $3-5 \times 3$  Personen auf  $1 \times 5$  Personen verringert werden. Der Dienst wurde durch diese Umstellung auch interessanter. Die Umstellung ist seit einer Reihe von Jahren verwirklicht und bewährt sich.

### 3. Totalunterbruch in der Schweiz vom 17. Januar 1963

Kurz nach Mitternacht dieses Tages lösten die Schalter einer ins Ausland führenden Hochspannungsleitung wegen Überlastung aus. Anschliessend kam es zu dem seltenen Fall eines gesamtschweizerischen Zusammenbruchs der Elektrizitätsversorgung.

Im Moment des Eintrittes der Störung bezog die Schweiz einen Grossteil der benötigten Leistung aus dem Ausland. Um die Wasservorräte in den Stauseen zu schonen, liefen ausser

den Generatoren der Laufwerke nur wenige Hochdruckgruppen. Beim Ausfall der Zulieferung aus dem Ausland standen daher zuwenig Generatoren zur Verfügung, das heisst die «rotierende Reserve» war viel zu gering.

Da keine Schäden an den Anlagen entstanden waren und dank einer gut eingespielten Organisation dauerte es bis zur Aufnahme des gesamten Versorgungsbetriebes nur etwa 2 Stunden. Die grossen Städte und Agglomerationen wurden sogar schon nach 30–45 Minuten wieder beliefert. Die grossen Werke, die Energie mit dem Ausland austauschen, haben aus der Störung sofort die nötigen Konsequenzen gezogen und dem Reservehalten von Leitungen und Generatoren die notwendige Beachtung geschenkt. Selbstverständlich musste dabei eine etwas unrentablere Betriebsführung in Kauf genommen werden.

## 4. Die grossen Black-outs von 1965 und 1977 in den USA

### 4.1 Ursachen

Die Störung vom 9. November 1965 galt jahrelang als das schlimmste Ereignis dieser Art. Neben den Zerstörungen an der grössten Dampfturbinengruppe der USA fiel besonders stark ins Gewicht, dass es über 13 Stunden dauerte, bis wieder alles im Betrieb war.

Da im Bulletin des SEV [1, 2, 3, 4] verschiedentlich darüber berichtet wurde, kann darauf verzichtet werden, nochmals darauf zurückzukommen.

Man war bei uns der Meinung, dass in der Zwischenzeit die damals zutage getretenen Mängel ausgemerzt worden seien und sich eine solche Störung nie mehr wiederholen würde. Es war daher für die Fachwelt eine arge Überraschung, als am 13./14. Juli 1977 die Energieversorgung in New York und den angrenzenden Gebieten abermals total zusammenbrach.

Was war passiert? Um 20.37 Uhr hatte ein Blitz in eine 345-kV-Doppelleitung eingeschlagen, beide Male etwa 45 km nördlich der Spitze Manhattans.

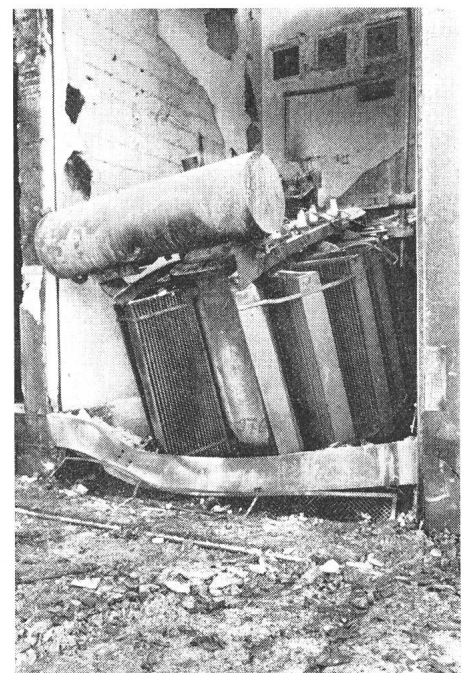


Fig. 2 Zerstörte Transformatorzelle im Unterwerk Aathal

Beim ersten Blitzschlag lösten 3 Schalter korrekt aus, ein vierter etwas verspätet, weshalb in zwei andern Werken 2 weitere Schalter ausfielen. Damit begann mit zunächst 1310 MW die verhängnisvolle Kette der Leistungsausfälle.

In der Zeit bis zum zweiten Blitzschlag wurde die Eigenzeugung gesteigert, aber von 6 ausgeschalteten Schaltern konnte nur einer wieder eingeschaltet werden. Der zweite Einschlag brachte einen weiteren Leistungsausfall von 1144 MW mit sich und im Zusammenhang mit den Leistungsmanipulationen starke Überlastungen der im Betrieb gebliebenen Leitungen, die in der folgenden halben Stunde nacheinander ausfielen. 21.36 Uhr war der Zusammenbruch komplett.

Wesentlich zum grossen Ausmass der Störungen hatten wie schon beim ersten Black-out das Versagen von Relais und Wiedereinschaltvorrichtungen, aber auch ein weitgehendes Fehlverhalten des Personals beigetragen.

Bei den Blitzeinschlägen waren ein Grosstransformator, ein Autotransformator, etwa 10 Höchstspannungsendverschlüsse und 15 Überspannungsableiter zerstört worden. Die Schäden wurden insgesamt auf rund 10 Millionen Dollar beziffert. Bis der Betrieb vollumfänglich wiederaufgenommen war, dauerte es 25 Stunden. Die Schäden des Unterbruches für die Wirtschaft waren immens, kam es doch zu Bränden und Plünderungen.

Bei der Wiederinbetriebsetzung des Netzes wirkte sich anscheinend die umfangreiche Vermaschung des Netzes nachteilig aus, weil, verteilt über das ganze Absatzgebiet, unzählige Netzauftrennungen erforderlich wurden.

Dass aber zwei Blitzschläge eine solche Mammutstörung bewirken konnten, scheint nicht recht verständlich und lässt vermuten, dass noch andere Ursachen im Spiele waren.

#### 4.2 Diskussion

In der Tabelle I sind für verschiedene Nennspannungen die vorgeschriebenen Stosshaltespannungen eingetragen. Links die vom IEC im Jahre 1962 vorgesehenen Werte. Dann in den folgenden Kolonnen die 1964 vom SEV herausgegebenen Werte, ergänzt durch die Angaben der Ansprechspannungen der Ableiter und die Haltespannung geöffneter Trennstrecken. Nach diesen Zahlen sind in der Schweiz viele Anlageisolationen bemessen. Ein paar Jahre später erlebte man dann im FK 28 des SEV ein eigenartiges Spiel. Im Rahmen der EWG waren zwischen den Deutschen und den Franzosen Meinungsverschiedenheiten aufgetreten, weil die Elektrofirmen eines Staates billiger liefern konnten als die andern, da man unterschiedliche Anforderungen stellte. Unter politischem Druck einigten sich die technischen Fachleute in den genannten Ländern auf die niedrigeren Werte. Die zweitletzte Kolonne der Tabelle I gibt

Historische Entwicklung der durch den SEV und die IEC vorgeschriebenen Stosshaltespannungen für elektrische Anlagen

Tabelle I

Nennspannung kV	Höchste Betriebsspannung kV	IEC 1962		SEV 1964						IEC 1967		IEC 1972	
		volle Isolation kV	reduz. Isolation kV	100% Ansprechspannung der Ableiter		Stosshaltespannung der Anlageisolation		Stosshaltespannung der offenen Trennstrecken		Stosshaltespannung		Stosshaltespannung	
				volle Isolation kV	reduz. Isolation kV	volle Isolation kV	reduz. Isolation kV	volle Isolation kV	reduz. Isolation kV	volle Isolation kV	reduz. Isolation kV	volle Isolation kV	reduz. Isolation <sup>1)</sup> kV
150	170	750	–	560	490	750	650	860	750	750	650 550		550 650 750
220	245	1050	–	800	680	1050	900	1210	1035	1050	900 825 750		750 825 900 1050
275	300	1175	–	900	800	1175	1050	–	1210		1175 1050 900		825 900 1050
380	420	1425	–	1200	1100	1550	1425	1780	1640		1675 1550 1425 1300		1050 1175 1300 1425
500	525										1800 1675 1550 1425		1175 1300 1425 1550
750	765												1425 1550 1800 1950 2100 2400

<sup>1)</sup> Bei jeder Spannungsstufe dürfen die beiden niedrigsten Werte angewendet werden, wenn Ableiter eingebaut sind

diesen Zustand wieder (1967). Etwas später wurden die Tabellenwerte auf Veranlassung der Amerikaner abermals überarbeitet. Da in den USA praktisch jede grössere Elektrizitätsgesellschaft ihre eigenen Normen besitzt und diese auch im IEC-Reglement verankert sehen wollte, kam 1972 die in der letzten Kolonne aufgeführte Empfehlung heraus.

Während man früher bei jeder Spannungsstufe zuoberst die höhern, sicherern Werte aufgeführt hatte, ist die Reihenfolge im jüngsten Dokument umgekehrt: das ist psychologisch nicht gleichgültig. Die 3-5 Normwerte, die im neuesten Dokument für jede Spannungsstufe angeboten werden, lassen die Auswahl als ein Spiel erscheinen, bei dem wirtschaftliche Überlegungen eine vorherrschende Rolle spielen.

Die Stosshaltespannungen für Höchstspannungsleitungen sind in keinem Land der westlichen Welt so niedrig angesetzt wie in den USA, nämlich 1050 kV bei 345 kV. Der Einwand, man könne Überschläge durch Abschaltungen und Schnellwiedereinschaltungen unschädlich machen, stimmt nur bis zu einem gewissen Grad, bei niedrigerem Isolationsniveau muss jedoch mit mehr atmosphärischen Störungen gerechnet werden. Zudem steigt die Abhängigkeit vom richtigen und zuverlässigen Funktionieren vieler Relais und Schalter. Der Fall New York II zeigt, dass dieses Risiko gross ist. Man hat mit den Einsparungen bei den Anlagekosten eine wesentlich geringere Betriebssicherheit und -kontinuität in Kauf nehmen müssen und der Elektrizitätsversorgung einer Großstadt einen harten Schlag versetzt.

Die Vermutung, der niedrigere Isolationsgrad der amerikanischen Anlagen wirke sich nachteilig aus, wird noch gestützt durch den Bericht der Federal Power Commission. In diesem Bericht ist übrigens auch eine Liste anderer Störungen im Netz der Consolidated Edison Comp. enthalten (Tabelle II).

Aufschlussreich sind die Empfehlungen der Federal Power Commission (FPC) an die Organe der Cons. Ed. NY.

Sie lauten (leicht gekürzt):

#### I. Folgerungen und vorläufige Empfehlungen

Die umfangreiche Störung bei Cons. Ed. am 13. Juli 1977 macht deutlich, dass die Fähigkeit dieses Unternehmens zur Sicherstellung einer anhaltenden Versorgung ohne längere Unterbrechungen offensichtliche Mängel aufweist. Aus der Art der Störungen, die letztlich zum Zusammenbruch des Netzes führten, lässt sich ersehen, dass die Auslegung des Übertragungsnetzes und der Schutzeinrichtungen zur Aufrechterhaltung der Netzsicherheit unzureichend waren und nicht in der Art und Weise arbeiteten wie vorgesehen. Es ist überdies offensichtlich, dass die bestehenden Verbindungsleitungen zu den angrenzenden Versorgungsunternehmen nicht ausreichen, um in Notsituationen die notwendige Unterstützung zu erhalten.

Andere Anzeichen für die Unfähigkeit der Cons. Ed., eine zuverlässige Versorgung zu gewährleisten, ergeben sich aus der Tatsache, dass

- keine entsprechenden Notmassnahmen ergriffen wurden, um rechtzeitig genügend Last automatisch abzuwerfen, und
- Cons. Ed. es unterliess, alle leerlaufenden Einheiten mit Gasturbinen in Betrieb zu setzen, und
- die Abnehmer nicht schnell genug über die Notwendigkeit einer Verminderung des Verbrauches informiert wurden.

Die Schwierigkeiten, denen sich Cons. Ed. beim Wiederaufbau des Netzes gegenüber sah, und die ausserordentlich

*Auszug aus der Liste grösserer Störungen bei der Cons. Ed. Comp., N.Y.*

Tabelle II

Datum	Zahl der betroffenen Abnehmer	Dauer bis zur vollständigen Wiederherstellung Stunden
9. 11. 1965	30 000 000	13½
12. 7. 1971	135 000	3
17. 7. 1972	100 000	13
24. 7. 1972	185 000	19
18. 8. 1973	50 000	15
5. 8. 1974	244 000	2
3. 3. 1976	106 000	11½
13. 7. 1977	2 725 000	25

lange Zeit, die dafür benötigt wurde, machen die Mängel in der Netzplanung des Unternehmens deutlich, wie zum Beispiel das Fehlen einer Notstromanlage zur Aufrechterhaltung des Öldruckes in den Kabeln.

Folgende konkrete Empfehlungen an Cons. Ed. werden gegeben:

1. Verschiedene geplante 345-kV-Kuppelleitungen sollen um einige Jahre vorgezogen werden.

2. Um ein schnelleres Anfahren durch Fernsteuerung zu ermöglichen, sollen alle kleineren Einheiten mit Gasturbinen automatisiert werden. Bis dahin sollen diese Einrichtungen kontinuierlich besetzt sein. Unbesetzte und nicht einsatzfähige Kraftwerkblöcke sind in einer extremen Notsituation nahezu wertlos.

3. Da die bestehenden Verfahren zum Lastabwurf und die entsprechenden Einrichtungen nicht wie vorgesehen arbeiteten, muss Cons. Ed. ihre Notmassnahmen überprüfen und die Fähigkeit des Netzes verbessern, Last schnell und im notwendigen Ausmass abzuwerfen.

4. Die internen Vorschriften für Notmassnahmen und die Schulung des Personals müssen offensichtlich überdacht werden. Die ausreichende Besetzung der Schaltleitung in Notzeiten ist zu prüfen, ebenso die Anweisungen der Betriebsführung für das Betriebspersonal. Grösste Offenheit bei der Beurteilung der getroffenen Massnahmen ist anzustreben.

5. Hätte Cons. Ed. zur Zeit des Ausfalles über eine grössere mitlaufende Reserve im eigenen Netz verfügt und hätte sie einen grösseren Teil der benötigten Leistung selbst erzeugt, anstatt weniger teure Leistung einzukaufen, so wäre es möglich gewesen, den anfänglichen Störungen zu widerstehen. Die bestehenden Vereinbarungen sind in der Richtung zu überprüfen, dass örtlich eine höhere Sicherheit der Erzeugung erzielt wird, auch wenn dies mit höheren Kosten verbunden sein sollte.

6. Da die Schutzeinrichtungen offensichtlich versagten, ist zu prüfen, ob diese Schutzeinrichtungen angemessen sind. Die Überprüfung der Schutzeinrichtungen ist zu überdenken.

Die FPC ist sich dessen bewusst, dass einige dieser Vorschläge mit umfangreichen Kosten für Cons. Ed. verbunden sind. Die Befolgung dieser Vorschläge wird natürlich zu erhöhten Kosten in der Stromerzeugung führen.

Die extreme Anfälligkeit der Stadt New York gegenüber einem Stromausfall und die Kosten im Hinblick auf die öffentliche Sicherheit, den wirtschaftlichen Verlust und die Zerstörung von Eigentum, machen es notwendig, dass diese erhöhten

Ausgaben für die Verbesserung der Versorgungssicherheit unverzüglich aufgebracht werden.

## II. Allgemeine Empfehlungen

Trotz den Besonderheiten des Cons.-Ed.-Systems kann es in vielen Punkten mit anderen Systemen verglichen werden. Daher gelten nachstehende Empfehlungen für alle Unternehmen:

1. Feststellung, ob die Übertragungseinrichtungen angemessen dimensioniert sind, nicht nur für den normalen Leistungsaustausch, sondern auch für zusätzliche Transporte in schweren Störungsfällen.

2. Prüfung der Transportmöglichkeiten in grosse Lastschwerpunkte, um deren Anfälligkeit gegen einfache oder mehrfache Ausfälle festzustellen.

3. Prüfung, ob die automatischen und handbedienten Lastabwurfleinrichtungen angemessen und einsatzbereit sind, insbesondere auch im Hinblick auf ihre Anfälligkeit gegen Funktionsstörungen aus verschiedenen Ursachen.

4. Verbesserung des Trainings des Betriebspersonals sowie der schriftlichen und mündlichen Anweisungen für das Verhalten in kritischen Netzsituationen.

5. Prüfung aller Anordnungen – intern und zwischen den Partnern – für das Verhalten in allen denkbaren Störungsfällen.

6. Prüfung des Konzeptes und der Funktion von Schutz- und Steuereinrichtungen einschliesslich Überspannungsableiter, Leistungsschalter und Einrichtungen zur automatischen Wiedereinschaltung. (Es ist zu bemerken, dass in den USA das einpolige Wiedereinschalten noch nicht Anwendung findet).

7. Überprüfung der Kriterien für die Festlegung der rotierenden Reserve, der Betriebsreserven, der Einsatzreserve und der installierten Reserve, besonders auch im Hinblick auf Grösse und Art der Reserveeinheiten sowie deren geographische Verteilung.

8. Überprüfung der Massnahmen zum Wiederaufbau des Netzes, indem möglicherweise andere als nur technische Kriterien für die Reihenfolge des Wiederaufbaues berücksichtigt werden.

9. Prüfung des Vorhandenseins von angemessenen Notstromaggregaten für Spitäler, Flughäfen, Tunnels, Zugbrücken, Bahn- und U-Bahn-Stationen, aber auch vor allem für die Elektrizitätswerke selbst zur Sicherstellung der kürzestmöglichen Anfahrzeit von Kraftwerken und der genauen Registrierung des Störungsablaufes.

## 5. Schlussfolgerungen

Man wird auch bei uns gut tun, sich der Empfehlungen des FPC zu erinnern; sie können uns davor bewahren, Amerika in allem als Vorbild zu nehmen.

Je unentbehrlicher ein Gut ist, um so wichtiger ist es, dass es uns jederzeit zur Verfügung steht. Elektrizität ist heute fast so lebenswichtig wie Wasser und Luft. Darum müssen wir bereit sein, einen ins Gewicht fallenden Aufwand für die Sicherheit und Kontinuität der Versorgung in Kauf zu nehmen. In New York scheint sich das Sparen nicht gelohnt zu haben.

Es wäre natürlich interessant, Genaueres über die Störungen und speziell auch über den Isolationsgrad der Anlagen zu vernehmen. Gerechterweise muss man auch auf die riesigen Schwierigkeiten hinweisen, denen die Versorgung New Yorks begegnet: stärkste Zusammenballung, der Bau von Ringlei-

tungen durch die Inselsituation praktisch verunmöglicht, die grosse Kabelkapazität macht sich bei Schaltmanövern störend bemerkbar.

Wenn auch mit grosser Wahrscheinlichkeit gesagt werden kann, bei uns könne es nicht zu einer solchen Großstörung kommen, so gilt das natürlich nur dann, wenn wir altbewährte Regeln auch weiterhin befolgen, nämlich:

– Der Reservehaltung der Betriebsmittel (Generatoren, besonders rotierende Reserven, Transformatoren und Leitungen) kommt grösste Bedeutung zu. Massgebend für die Bemessung ist der Ausfall der grössten Einheiten. Das ist im Blick auf die immer grösseren Maschinen in Kernkraftwerken besonders wichtig. Da thermische Gruppen nicht so rasch hochgefahren werden können wie hydraulische, ist es von Vorteil, Pumpspeicherwerke wegen der Möglichkeit ihres raschen Einsatzes in das Konzept der rotierenden Reserven einzubeziehen.

– Die Anlagen müssen so hoch isoliert werden, dass sie allen im Betrieb vorkommenden Beanspruchungen, also auch atmosphärischen Überspannungen, gewachsen sind. Besonders wichtig ist auch die räumliche Trennung bzw. die ausreichende Isolation der Steuer- und Sicherheitseinrichtungen von den eigentlichen Energieanlagen (Sicherheit gegen Rücküber-schläge).

– Alle Städte, grössere Ortschaften und Agglomerationen, ferner Pumpwerke, Spitäler sollten unbedingt im Ring gespie-sen werden. Analog müssen auch Kraftwerke in ringgeschaltete Leitungssysteme einspeisen. Das ist für thermische Werke wichtig, damit der Ausfall einer Leitung nicht zur Vollentlastung führt, was das Wiederauffahren verzögert.

– Auch die beste Automatik kann einmal versagen. Letztlich muss immer wieder der Mensch eingreifen. Normalerweise dauert es ziemlich lange, bis jemand in die Lage kommt, bei einer grösseren Störung eingreifen zu müssen. Fehlen ihm Erfahrung und Übung, wird er wahrscheinlich zu langsam oder falsch handeln. Um dieses Risiko zu verkleinern, muss das Betriebspersonal der Werke sorgfältig ausgewählt und instruiert werden. Zusätzlich ist ihm reichlich Gelegenheit zur Übung zu geben (Planspiele, Übungsschaltanlagen). Dabei sollten auch Lichterscheinungen, Ausfall der künstlichen Beleuchtung, Lärm, ja vielleicht sogar Rauchentwicklungen usw. in die Simulation einbezogen werden.

– Der von den Amerikanern geprägte Slogan *Safety first* ist auch heute noch wichtig und sollte immer beachtet werden.

## Literatur

- [1] M. Cuénod: Die Netzstörung vom 9./10. November 1965 im Nordosten der Vereinigten Staaten, Bull. SEV 57(1966)5, S. 212...216.
- [2] R. Hochreutiner: Der Stromausfall vom 9. November 1965 in Nordamerika – Lehren für uns, Bull. SEV 57(1966)5, S. 216...217.
- [3] H. Wüger: Lehren aus dem Stromausfall vom 9. November 1965 in Nordamerika – Einige zusätzliche Gedanken, Bull. SEV 57(1966)14, S. 622...625.
- [4] M. Cuénod und H. Wüger: Netzmodelle und Lernschaltanlagen für die Ausbildung und das Einüben des Personals der Elektrizitätswerke, Bull. SEV 61(1970) 7, S. 321...325.
- [5] H. Stimmer: Der «black-out» in New York am 13. und 14. Juli 1977, ÖZE, 30(1977)11, S. 490...493.

## Adresse des Autors

H. Wüger, dipl. Ing. ETH, a. Direktor der EKZ, Baldernstrasse 15, 8802 Kilchberg.

# Erste Hilfe bei Elektrounfällen

Von J. Stadler und P. Matter

Unfälle durch elektrischen Strom, insbesondere durch Starkstrom, sind lebensgefährlich und erfordern rasches und entschlossenes Handeln. Kenntnis und Übung der wenigen, wirksamen lebensrettenden Massnahmen sind deshalb wichtig und können über Leben und Tod entscheiden.

Nachfolgend werden Erfahrungen aus der Auskunft- und Meldestelle für Elektrounfälle am Laboratorium für experimentelle Chirurgie, Davos, erläutert.

## 1. Einleitung

Unfälle passieren nicht, sie werden durch menschlichen Irrtum oder Unvorsichtigkeit ausgelöst.

Ein Elektrounfall tritt auf, wenn jemand zwei Punkte berührt, zwischen denen eine elektrische Spannung besteht. Bei Hochspannung kann es auch ohne Berührung durch Flammbogen zu Verletzungen kommen. Stromunfälle stehen in der Häufigkeit bei Berufsunfällen an dritter Stelle nach mechanischen und Wegeunfällen, es muss jedoch in fast einem Viertel der Fälle mit tödlichem Ausgang gerechnet werden. Die häufigsten Stromunfälle passieren an Kabeln, beim Auswechseln von Sicherungen und bei der Reinigung von Anlagen während Arbeiten unter Strom. Besonders schwerwiegend sind die Unfälle an Frei- und Fahrleitungen.

Der Elektrounfall ist ein komplexes Geschehen, das von den Folgen des Stromdurchflusses und von Begleitumständen bestimmt wird: So kann ein an sich verhältnismässig harmloser Stromunfall an einem Mast durch Sturzfolgen wie Knochenbrüche, Hirnerschütterung oder Zerreissung innerer Organe erheblich verschlimmert werden, oder es kann durch Flammbogenwirkung zu einem Kleiderbrand kommen.

Ausmass und Folgen eines Elektrounfalles sind abhängig von Spannung, Stärke und Dauer des Stromes, Widerstand, Stromweg im Körper und Frequenz bei Wechselstrom. Von Starkstrom reden wir bei mehr als 2 A und über 50 V. Die Stromstärke, die den Organismus erreicht, bestimmt den Schaden: Unter 10 mA ist eine ernsthafte Schädigung ausgeschlossen, die Sicherheitsgrenze liegt bei 50 mA.

Die Spannung eröffnet sozusagen den Zugang zum Organismus, der durch den Widerstand versperrt wird. Je höher die Spannung, desto grösser kann der zu überwindende Widerstand sein, um den gleichen Durchfluss zu erzielen (Fig. 1). Der Widerstand des menschlichen Körpers setzt sich aus drei Einzelwiderständen zusammen: Der Hauptwiderstand an der trockenen Eintrittsstelle ist sehr hoch (etwa 1000–2000  $\Omega$ ), der des Körperinneren ist wegen des hohen Wassergehaltes – besonders der Muskeln – niedrig und nur an den Knochen höher, der an der Hautaustrittsstelle wiederum hoch. Er sinkt mit der Einwirkungsdauer ab, weil die elektrisch bedingte Muskelregung und -arbeit lokal konzentrierte Schweissbildung induziert. Mit der Einwirkungsdauer des Stromes wachsen die Folgen. Längsdurchströmung des Körpers ist gefährlicher als Querdurchströmung, weil das Herz stärker beeinflusst wird. Besonders Stromänderungen werden empfunden. Deshalb ist bei Wechselstrom für die gleiche Wirkung nur eine zwei- bis vierfach niedrigere Spannung notwendig. Starkstromunfälle bei Niederspannung (50–1000 V) sind zwei- bis dreimal häufiger als solche bei Hochspannung (über 1000 V).

Les accidents dus au courant électrique, notamment fort, sont très dangereux et requièrent une intervention résolue. Aussi est-il important de connaître et d'avoir exercé les quelques mesures efficaces qui décident de la vie ou de la mort de l'accidenté.

Le présent article expose les expériences recueillies par le service de renseignements et de recensement des accidents dus au courant électrique auprès du Laboratoire de chirurgie expérimentale de Davos.

## 2. Wirkungen von Spannungsberührungen

Der elektrische Strom hat am menschlichen Körper grundsätzlich zwei Folgen: Störungen der bioelektrischen Lebensvorgänge einerseits und Verletzungen andererseits.

Leben funktioniert durch Auf- und Abbau bioelektrischer Potentiale: Nahrungsaufschlüsselung, -verteilung, -verwertung, Stoffaustausch auf zellulärer Ebene, Muskelregung, Nervenleitung, Bewegung, Denken sind an elektrische Erregungen gebunden. Man kann sich leicht vorstellen, dass ein Organismus, in dem die Bioelektrik eine lebensbestimmende Rolle spielt, durch äusseren Einfluss von Strom erheblich gestört und

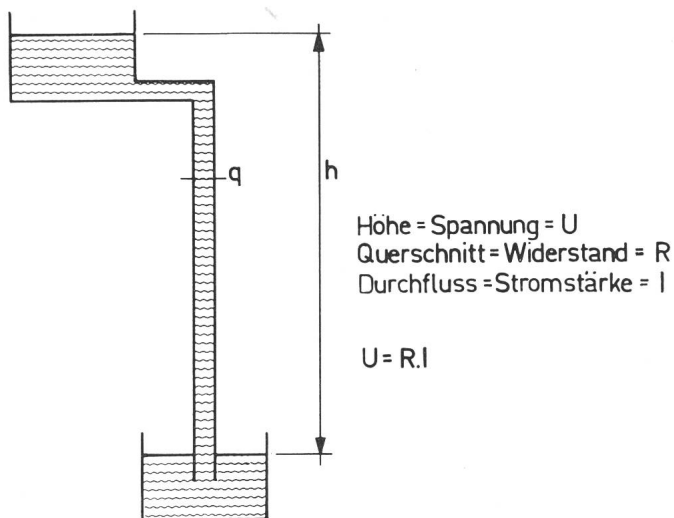


Fig. 1 Mechanisches Modell zur Verdeutlichung der Zusammenhänge zwischen Spannung, Widerstand und Stromstärke

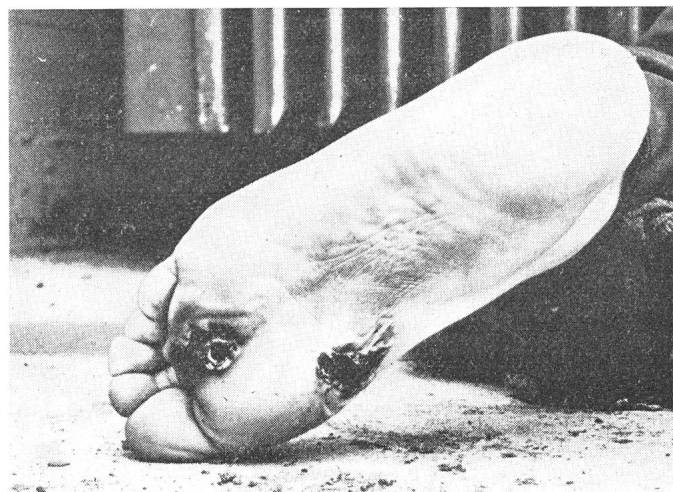


Fig. 2 Typische Strommarke an der Stromeintrittsstelle bei einem tödlichen Unfall



Fig. 3 Flächenhafte Hautverbrennung durch Flammbogenwirkung



Fig. 4 Zweitgradige Verbrennung mit Blasenbildung am Oberschenkel

gefährdet werden kann. Es gibt keinen Menschen, dem Strom nichts ausmacht.

Die bioelektrischen Lebensvorgänge werden am wirkungsvollsten und häufigsten am Herzen beeinflusst. Die Pumpwirkung des Herzmuskels kommt durch eine periodische Erregung zustande, die vom Sinusknoten ausgeht und über spezielle Bahnen zeitlich abgestimmt die Muskelfasern erreicht. Ihr Ablauf kann gestört oder sogar unterbrochen werden, so dass nicht mehr gepumpt werden kann. Dies äussert sich als Unregelmässigkeit im Pulsschlag, Herzverlangsamung oder sogar Herzstillstand. In der Herzstromkurve (EKG) lassen sich diese Auswirkungen präzisieren: Pulsunregelmässigkeiten können lokalisiert und ein Kammerflimmern kann vom echten Herzstillstand nur so unterschieden werden. Beim Kammerflimmern handelt es sich um eine völlig ungeordnete Erregung aller Muskelfasern, so dass keine koordinierte Aktion ablaufen kann. Die klinischen Folgen sind die gleichen wie beim Herzstillstand: Unterbrechung der Blutzirkulation. Die Unterscheidung ist jedoch für den Arzt bei der Behandlung wichtig. Der Unfallstrom stört den Ablauf der normalen Herzerregung besonders stark, wenn er das Herz in der sogenannten T-Welle trifft. Dann ist es empfindlicher, weil ein neues Potential zur Entladung aufgebaut wurde. Die Erholung des Herzmuskels hängt von der Dauer des Stromflusses ab. Bei rascher Wiederholung erzeugen schon niedrigere Reize ein Kammerflimmern. Oft genug folgt jedoch dem initialen Stromstoss schon der eventuelle tödliche Herzstillstand. Die meisten der Früh-Todesfälle bei Hoch- wie bei Niederspannung sind durch Störungen der Herzaktion bedingt. Seltener als diese Herzrhythmusstörungen sind zentrale Regulationsstörungen oder neurologische Ausfälle.

Der zweite Komplex von Unfallfolgen sind Verletzungen, die sich in drei Gruppen aufteilen lassen:

1. Die elektrothermische Verbrennung (Strommarke, Fig. 2): Durch den hohen elektrischen Widerstand besonders der trockenen Haut entstehen an der Ein- und Austrittsstelle

des Stromes tiefgreifende Verbrennungen bei kleiner Berührungsfläche. Bei grösser Fläche und kleinem Widerstand können diese Strommarken fehlen. Durch die hohe thermische Energie können in der Haut Giftstoffe, sogenannte Verbrennungstoxine, entstehen, die unter Umständen für einen tödlichen Ausgang verantwortlich sein können.

2. Verbrennungen durch Flammbogenwirkung, wobei Wärme bis zu 4000 Grad entstehen kann (Fig. 3).

Oft sind beide Arten von Verbrennungen kombiniert. Während die Haut in Form von Strommarken oder flächenhaft geschädigt wird, kann es im Körperinneren zu regelrechter Verkochung und Verkohlung kommen. Durch den Gewebszerfall werden Eiweisskörper frei, gelangen über das Blut in die Nieren und können diese verstopfen. Hier liegt eine wesentliche Ursache für Schock und späteren Tod verbrannter Pa-



Fig. 5 Drittgradig verbrannte Mundregion eines Kindes durch Stromunfall an einem Gerätestecker



tienten. Gleichzeitig kommt es durch die Hitze zur Zusammenballung von Blutplättchen, die die Blutgefäße in der Lunge verlegen und so zu Atemstörungen führen können.

Wir unterscheiden drei Verbrennungsgrade: Die erstgradige Verbrennung entspricht einem Sonnenbrand und dokumentiert sich als Rötung. Sie kommt bei Elektrounfällen kaum vor, ist harmlos und kann vernachlässigt werden. Bei zweitgradiger Verbrennung kommt es zur Blasenbildung, die Haut ist teilweise zerstört (Fig. 4). Bei drittgradiger Verbrennung werden Haut und eventuell tiefere Gewebe zerstört (Fig. 5). Die Ausdehnung wird nach der sogenannten Neunerregel festgelegt (Tabelle I). Die verbrannten Flächen werden in ihrem Schweregrad nach Ausdehnung, Tiefe, Ort und Art der Hitzeeinwirkung beurteilt, protokolliert und zusammengezählt. Zweitgradige Verbrennungen werden als halb so grosse tiefe kalkuliert. Schockgefahr besteht ab 15% tiefer Verbrennung bei Erwachsenen, ab 10% bei Kindern. Unter einem Schock versteht man das Missverhältnis zwischen zirkulierendem Blut und Bedarf an Blut. Ein Schock entsteht also, wenn weniger Blut in Umlauf ist, als gebraucht wird. Er äussert sich durch niedrigen Blutdruck, ansteigenden Puls, Blässe, Kühle und Schwitzen der schlecht durchbluteten Haut, Nachlassen der Urinausscheidung und zunehmende Einschränkung des Bewusstseins. Dieser Zustand wird rasch lebensgefährlich. Der Körper hilft sich, indem er nicht lebenswichtige Gebiete wie Arme, Beine, Darm von der Zirkulation zugunsten von Herz, Hirn und Nieren ausschliesst. Erst wenn auch das nichts nützt und der ursprüngliche Schaden weiterwirkt, bricht dieser Regulationsversuch zusammen, und der Tod tritt ein.

Bei ausgedehnten Verbrennungen muss man also neben der Verbrennungswunde die Gesamtsituation unter dem Gesichts-

Ausdehnung nach Neunerregel

Tabelle I

Kopf und Hals	9%
Arme	je 9%
Rumpf vorn	18%
Rumpf hinten	18%
Beine	je 18%
Damm und Genitale	1%

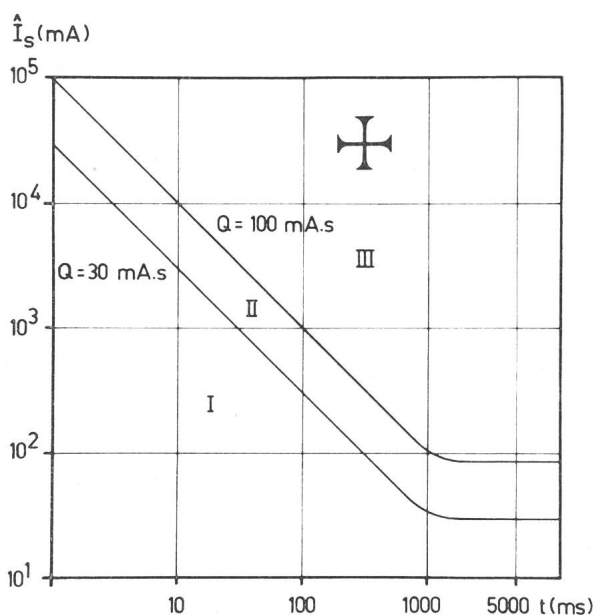


Fig. 6 Graphische Darstellung der Stromstärkebereiche

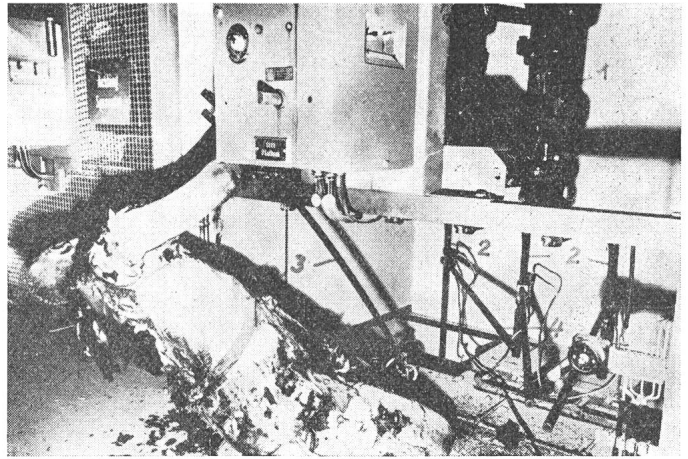


Fig. 7 Verkohlte Leiche nach längerem Fluss von Starkstrom

punkt der Schockwirkung im Auge behalten. Die sogenannte Verbrennungskrankheit verläuft dann zweiphasig: In der ersten Phase steht über ungefähr drei Tage der Verlust von Flüssigkeit und Eiweiss mit entsprechender Schockgefährdung im Vordergrund. Wird diese Phase überlebt, so drohen dem Verunfallten in der zweiten Phase ab etwa dem vierten Tag zum einen Folgen des möglicherweise nicht beherrschten Schockgeschehens, wie zum Beispiel Versagen der Lunge oder Nieren, und zum anderen die Infektion der Verbrennungswunden.

3. Mechanische Verletzungen durch Muskelkontraktion, Schlag oder Sturz. Dazu gehört auch Bewusstlosigkeit infolge Gehirnerschütterung. Sie kann aber auch direkte Folge der Stromeinwirkung auf das Gehirn, einer Hirnverletzung infolge Blutdrucksteigerung oder Gefässkrämpfen sowie eine einfache Ohnmacht sein und verschieden lange dauern. Dem Laien kann eine tiefe Bewusstlosigkeit als Scheintod imponieren.

Der Grad der Gefährdung des Menschen hängt ab von der Stromstärke und der Zeit, in der der Strom durch den Körper fließt. Man grenzt drei Stromstärkebereiche ab und kann die potentielle Gefahr für diese Bereiche beschreiben (Tabelle II, Fig. 6). Wenn der Stromfluss länger dauert, verkohlt der Verunfallte (Fig. 7). Die Grenzen zwischen diesen Stromstärkebereichen sind fließend, längerer Stromfluss verschlimmert die Folgen.

Bei beruflichen Elektrounfällen sind Männer im mittleren Alter am häufigsten betroffen. Bei häuslichen Unfällen sind Frauen sicher häufiger beteiligt.

### 3. Massnahmen bei Elektrounfällen

Was ist nun bei einem Elektrounfall zu tun?

Zunächst die lebenswichtigen Massnahmen:

Der Verletzte muss sachgemäss aus dem Stromkreis entfernt werden, was am sichersten durch Ausschalten des Stromes geschieht, wenn man keine Verletzungen bei Hilfspersonen riskieren will. Erst dann darf und muss mit der Ersten Hilfe begonnen werden. Man sollte nicht wertvolle Zeit verlieren, um Hilfe zu organisieren. Atmung und Kreislauf müssen untersucht und – falls nötig – künstlich in Gang gehalten werden. Bei Herz- und Atemstillstand nützt eines von beiden ebenso wenig wie nichts: Ein Patient kann noch so gut beatmet werden, ohne Kreislauf wird der Sauerstoff nicht transportiert; umgekehrt hält eine Herzmassage den nicht atmenden Patien-



Fig. 8 Künstliche Beatmung und Herzmassage als lebensrettende Massnahmen durch zwei Helfer

ten nicht am Leben, wenn ihm nicht künstlich der benötigte Sauerstoff zugeführt wird. Diese Massnahmen müssen möglichst rasch einsetzen, unter Umständen sogar noch vor der Bergung des Verunfallten. Gerade deshalb ist die Beherrschung der lebensrettenden Massnahmen durch gefährdete Laien unbedingt notwendig.

Vor jeder Behandlung steht jedoch eine Diagnose: Man muss zunächst beurteilen, ob Atmung und Kreislauf oder beides stillstehen, der Patient bewusstlos ist und welche Verletzungen eventuell vorliegen.

Die Atmung steht still, wenn der Verunfallte nicht atmet. Das klingt einfach, ist aber oft schwierig festzustellen, da es flache, kaum merkbare Atmung und ganz langsame, tiefe Atmung gibt, die übersehen werden können. Diese Unterscheidung ist im praktischen Fall unwichtig: Künstliche Beatmung ist bei fehlender wie bei nicht ausreichender Atmung angezeigt, sie kann in keinem Falle schaden.

**Zeichen** Nicht ansprechbar

**Befund** **Bewusstlosigkeit**

**Seitenlage**



- Wärme erhalten
- Ueberwachen

Fig. 9 Seitenlagerung bei Bewusstlosigkeit

<p><b>Stromstärkebereich I</b> (~ 50 Hz) 0-30 mAs &lt; 1 s Leichte Blutdrucksteigerung Keine Herz-, Kreislaufschäden Selten Bewusstlosigkeit (1,5 %) Funktionelle Beschwerden (49 %) Strommarken bei Körperteildurchströmung</p> <p><b>Stromstärkebereich II</b> (~ 50 Hz) 30-100 mAs Muskelkrämpfe mit Atembehinderung Mässige Blutdrucksteigerung Reversible Herzrhythmusstörungen Bewusstlosigkeit (30 %) Funktionelle Beschwerden (48 %) Strommarken, Verbrennungen (41%)</p> <p><b>Stromstärkebereich III</b> (~ 50 Hz) &gt; 100 mAs Stärkste Muskelkrämpfe Deutliche Blutdrucksteigerung Herzkammerflimmern (44 %) Bewusstlosigkeit (80 %) Funktionelle Beschwerden (50 %) Strommarken, Verbrennungen (Koeppen 1962, Osypka 1963)</p>
---

**Kreislaufstillstand**

<p>Fehlender Puls- und Herzschlag Bewusstlosigkeit Weite, lichtstarre Pupillen Fehlende Atmung Kühle, feuchte, bläuliche, blasse Haut</p>
---

Schwierig ist die Beurteilung des Kreislaufstillstandes (Tabelle III): Der Puls ist bei niedrigem Blutdruck unter Umständen kaum zu tasten, der Herzschlag kann vom Ungeübten überhört werden, Bewusstlosigkeit gibt es auch ohne Kreislaufstillstand. Der fehlende Sauerstofftransport führt jedoch neben der Bewusstlosigkeit zu Pupillenweite, Atemausfall und bläulichem Aussehen des Verunfallten, die Haut wird kühl und feucht. Kann man keinen Puls tasten oder den Herzschlag nicht hören, so sollte man sofort mit der äusseren Herzmassage beginnen. Auch hier gilt wegen des lebensentscheidenden Zeitfaktors: lieber einmal zuviel als zuwenig. Mit einer Herzmassage kann man dem Schwerverletzten nur selten schaden, wird sie jedoch bei Herzstillstand unterlassen, so ist der Tod sicher.

Ist man allein, so wird nach den Richtlinien des Interverbandes für Rettungswesen (IVR) der Verunfallte zunächst fünfmal von Mund zu Nase unter Überstrecken des Kopfes und Zuhalten des Mundes beatmet, dann wird das Herz fünfzehnmal massiert. Danach folgen jeweils zwischen zwei Atemzügen fünfzehn Stösse auf das Herz (etwa 80 Stösse pro Minute). Einfacher ist es, wenn ein Helfer eine von beiden Massnahmen übernehmen kann. Für den Atemstoss wird die Herzmassage jeweils kurz unterbrochen (Fig. 8).

Die Frage nach dem Bewusstseinszustand lässt sich rasch entscheiden: Ein bewusstloser Patient ist nicht ansprechbar. Er ist, wenn keine anderen Massnahmen notwendig werden, auf die Seite zu lagern (Fig. 9). Da die Zunge bei Bewusstlosig-

keit nach hinten sinkt, ist bei diesen Verletzten besonders auf das Freihalten der Atemwege zu achten. Sie dürfen nichts zu trinken erhalten, da die Schluckreflexe fehlen und sie die Flüssigkeit sonst einatmen würden.

Die beschriebenen Massnahmen zur Lebensrettung müssen wirksam sein: Das Aussehen des Verunfallten sollte sich bessern, die Haut wieder rosig und der Puls tastbar werden. Es dauert längere Zeit, bis das Bewusstsein wiederkehrt. Weite und lichtstarre Pupillen beim Auffinden des Verunfallten sind ein schlechtes Zeichen. Die Pupillen sollten nach Einsetzen von künstlicher Beatmung und Herzmassage innerhalb von Minuten enger werden und wieder auf Licht reagieren. Künstliche Beatmung und Herzmassage müssen fortgeführt werden, bis sich die Situation entweder sichtbar gebessert hat, der Verunfallte spontan atmet und das Herz schlägt oder bis ärztliche Hilfe am Ort oder der Patient im Spital ist und kompetent entschieden werden kann. Denn dieser Entscheid ist unwiderruflich: Ist der Verunfallte erst einmal tot, nützt auch die beste Behandlung nichts mehr.

Im Spital sind weitere wirksame Massnahmen zur Wiederbelebung möglich, wie zum Beispiel elektrische oder medikamentöse Herzstimulation, maschinelle Beatmung, Infusionen.

Die Ausdehnung der Verbrennung und Feststellung von Verletzungen sind bei Atem- oder Kreislaufstillstand von zweitrangiger Bedeutung. Sind jedoch mehrere Helfer anwesend, so sollten Verletzungen gesucht und notfallmässig versorgt werden. Brandwunden bedürfen möglichst rasch eines sauberen Verbandes. Besteht Schockgefahr, so ist eine Flüssig-

1. Ausschalten des Stromes		
2. Bergung des Verletzten		
3. Atmung?		Kreislauf?
↓	sofort	↓
Beatmung	:	Herzmassage
2	:	15
4. Verletzungen?		
Brandwunden	-	Verband, Haldane
Blutung	-	Verband, Unterbinden
Knochenbruch	-	Schienung
Bewusstlosigkeit	-	Seitenlage
5. Transport, Arzt		

keitszufuhr angezeigt. Diese darf bei nicht bewusstlosen Patienten als Trinkflüssigkeit gegeben werden. Hier bietet sich am ehesten die Haldane-Lösung mit abgestimmtem Salzgehalt zum Ersatz der verlorengegangenen Körperflüssigkeit an. Durch Hochlagerung der Beine kann man mehr Blut in den Körper leiten, durch rasches Verbinden die oft erhebliche Flüssigkeitsabsonderung über die Brandwunden bremsen. Im Spital erhält ein solcher Patient reichlich Infusionen und einen Blasenkatheter, um den Flüssigkeitshaushalt genau kontrollieren zu können. Die notwendige dauernde Überwachung er-

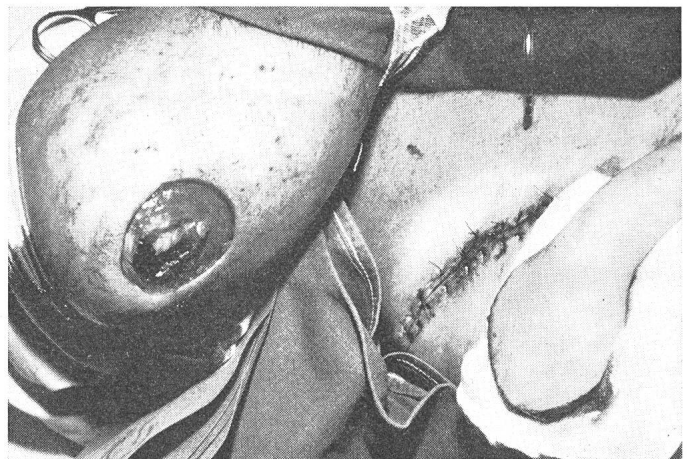


Fig. 10...13 Rundstiellappen-Plastik aus der Bauchhaut zur Versorgung einer schlecht heilenden tiefen Verbrennung am Ellbogen

fordert die Unterbringung auf einer Intensivpflegestation, damit Situationsänderungen sofort erkannt und im Behandlungsplan berücksichtigt werden können. In der zweiten Phase der Verbrennungskrankheit erfordern die Brandwunden dann eventuell grössere chirurgische plastische Eingriffe (Fig. 10–13). Manchmal reicht die Verbrennung wesentlich tiefer, als von der äusserlich sichtbaren Oberfläche her beurteilbar, so dass später sogar Amputationen von Extremitäten notwendig werden können.

Weitere Verletzungen wie Wunden, Knochenbrüche, Blutungen werden sicher am Unfallort entdeckt und sollten versorgt werden. Das bedeutet für Wunden einen sauberen Verband, für Brüche Schienung und Ruhigstellung. Blutungen müssen durch einen festen Druckverband gestillt werden, eventuell ist Fingerdruck auf die Arterie oder in die Wunde nötig. Mit Abbinden behindert man meist nur den venösen Abfluss und kann den arteriellen Zufluss nicht stoppen, so dass eine schmerzhaft Stauung entsteht und man mehr schadet als nützt. Die Suche nach weiteren Verletzungen obliegt dem versorgenden Spital.

#### 4. Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich die Erste Hilfe am Unfallort folgendermassen umreissen (Tabelle IV): Zunächst muss der Strom ausgeschaltet und der Patient aus dem Stromkreis entfernt werden. Bei Aussetzen von Atmung und Kreislauf müssen die lebensrettenden Massnahmen wie künstliche Beatmung und Herzmassage sofort begonnen und ununterbrochen bis zur Besserung des Zustandes oder Übernahme der Behandlung durch einen Arzt fortgeführt werden. Die Erfolgchance steigt mit der Kürze der Zeit bis zum Einsatz dieser Massnahmen. Schnelle und wirksame Hilfe ist deshalb oberstes Gebot. Erst nach Sicherstellen von Atmung und Kreislauf ist nach Verletzungen zu fahnden und sind diese notfallmässig zu versorgen. Gleichzeitig müssen der Transport organisiert und kompetente ärztliche Hilfe herbeigeholt werden. Die Auskunfts- und Meldestelle für Elektrounfälle in Davos erteilt jederzeit

Rat an Laienhelfer, behandelnde Ärzte und Spitäler (Tel. 083/34349). Prophylaktisch werden für gefährdete Personen dicke luftgepolsterte Profilgummisohlen an Schuhen, Schutzhelm, Schutzbrille und schwer entflammbare Kleidung empfohlen.

#### Literatur

- [1] M. Allgöwer: Die Verbrennung beim Hochspannungsunfall. Sonderdruck aus dem Bulletin des SEV «Seiten des VSE» 64, S. 389–398, 1973.
- [2] W. Bleifeld: Kardiologische Probleme beim Elektrounfall. In: Medizinischer Bericht über das 2. Internationale Colloquium für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten durch Elektrizität, S. 132–142, Köln, 30. 11.–1. 12. 1972.
- [3] F. Kerkozek: Die Gefahren des elektrischen Stromes. ÖZE 11, S. 368–373, 1951.
- [4] S. Koepfen und P. Osypka: Die Beurteilung von Herz- und Nervenerkrankungen und Schädigung der inneren Organe nach elektrischen Unfällen. Die Berufsgenossenschaft/Betriebssicherheit 106, S. 106–109, 1962.
- [5] R. Kruse: Neurologische Probleme des Elektrounfalles. In: Medizinischer Bericht über das 2. Internationale Colloquium für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten durch Elektrizität, S. 195–209, Köln, 30. 11.–1. 12. 1972.
- [6] P. Matter und S.M. Perren: Aufgabenbereich der Melde- und Auskunftsstelle für Elektrounfälle. Sonderdruck aus dem Bulletin des SEV «Seiten des VSE» 64, S. 389–398, 1973.
- [7] P. Osypka: Messtechnische Untersuchungen über Stromstärke, Einwirkungsdauer und Stromweg bei elektrischen Wechselstromunfällen an Mensch und Tier. Bedeutung und Auswertung für Starkstromanlagen. Elektromedizin 8, S. 1–48, 1963.
- [8] D. Peché: Wie gestaltet man die Erste Hilfe am wirksamsten aus der Sicht des Werkarztes? In: Medizinischer Bericht über das 2. Internationale Colloquium für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten durch Elektrizität, S. 89–99, Köln, 30. 11.–1. 12. 1972.
- [9] O. Schneider: Elektrische Unfälle und physiologische Wirkung des elektrischen Stroms. ETZ-A 77, S. 97–101, 1956.
- [10] E. Steinbauer: Kampf dem Stromtod. Elektrounfälle in der österreichischen Elektrizitätswirtschaft. Analyse der Jahre 1964–1975. ÖZE 29, S. 239–244, S. 267–272, 1976.
- [11] B. Zupal: Der elektrische Unfall. Dtsch. Med. Journ. 6, S. 347–349, 1958.
- [12] Anleitung zur Rettung eines vom elektrischen Strom Betäubten. Jahrbuch des SEV, S. 75–77, 1898.
- [13] Die Gefahren der Elektrizität. Schweiz. Blätter für Arbeitssicherheit Nr. 15, 1958.
- [14] Massnahmen zum Schutz der Elektromonteuere. Schweiz. Blätter für Arbeitssicherheit Nr. 121, 1976.
- [15] Elektrounfälle im Haushalt und ihre Verhütung. Schweiz. Blätter für Arbeitssicherheit Nr. 123, 1976.
- [16] Interverband für Rettungswesen IVR: Richtlinien für die Ausbildung in äusserer Herzmassage. 1977.
- [17] Interverband für Rettungswesen IVR: Haftung des Laien bei Leistung von Nothilfe. 1973.

#### Adresse der Autoren

J. Stadler, Dr. med., und P. Matter, PD Dr. med., Chefarzt, Spital Davos, 7270 Davos.