

Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG
Herausgeber: Eisenbibliothek
Band: 93 (2024)

Artikel: Strom und Sicherheit : eine lange Geschichte
Autor: Bauer, Ludwig / Dittmann, Frank
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061982>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 28.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Strom und Sicherheit – eine lange Geschichte

Ludwig Bauer, Frank Dittmann

Während die Nutzung von Strom im Alltag heute als sicher gilt, war der Weg dorthin lang und schwierig. Als man Ende des 19. Jahrhunderts begann, elektrische Energie zur Beleuchtung von Strassen und Häusern sowie für den Betrieb von Maschinen zu nutzen, brachte diese nicht nur zahlreiche neue Möglichkeiten, sondern auch unbekannte Gefahren mit sich. Mit der steigenden Zahl elektrischer Anlagen sowie der vermehrten Stromnutzung in den Haushalten drängte sich immer mehr die Frage auf, wie Menschen und Tiere vor elektrischen Unfällen geschützt werden können. Der Beitrag beleuchtet diese historische Entwicklung, insbesondere den Beginn, sowie den sicheren Umgang mit Elektrizität und die Herausforderungen, die damit einhergingen.

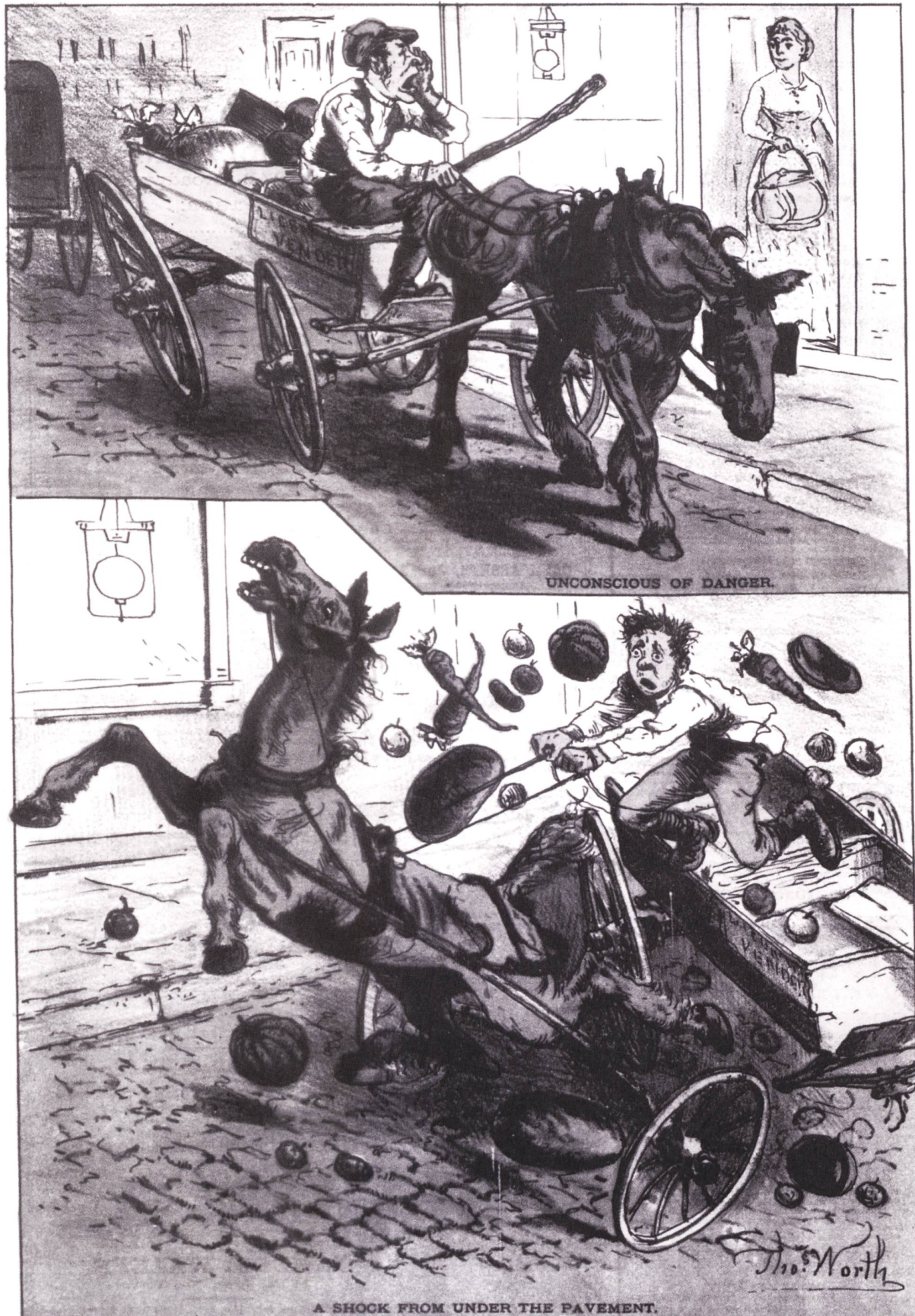
Seit Mitte des 20. Jahrhunderts gehört Elektrizität in den Industriestaaten zum Alltag. Obwohl diese vielseitig nutzbare Energieform Menschen gefährlich werden kann, gilt der Umgang mit ihr heute als sicher. Dieser sichere Umgang mit Strom – ein Thema, das bisher in der Technikgeschichte wenig beachtet wurde – ist Ergebnis eines langen und schwierigen Weges.

Der Beitrag versucht eine erste Annäherung an den verzweigten Prozess mit seinen vielfältigen Einflussfaktoren.

Die neue Energieform und die unbekannte Gefahr

Als Thomas A. Edison gegen Ende des 19. Jahrhunderts das erste Stromsystem einführte, war Elektrizität neu und unbekannt, sodass viele Menschen kaum eine Vorstellung von ihrem Nutzen – und ebenso wenig von den Gefahren – hatten. So berichtete die *New York Times* 1882, dass beim Bau einer Dampfleitung eine Stromleitung beschädigt worden war. Die Wirkung der «ausgetretenen Elektrizität» sei so stark gewesen, «um ein Pferd aufzuschrecken», Verletzte hätte es nicht gegeben.¹ Im Satiremagazin *The Judge* wurde dieser Vorfall anhand des Gemüsehändlers Mr. McBrat und dessen Stute unterhaltsamer geschildert: «Plötzlich bäumte sie sich auf wie ein Zirkuspferd, und [in] kürzerer Zeit, als wir die Geschichte erzählen können, war Mr. McBrats Wagen ein Wrack, und die «alte Stute» war weit weg [...].» Bald erschien Edison und erläuterte, «dass ein Stromkabel von Arbeitern, die Dampfleitungen verlegten, gebrochen worden war und dass Mr. McBrats Pferd durch den austretenden Strom einen schrecklichen Schock erlitten hatte».²

THE JUDGE.



EFFECT OF THE EDISON ELECTRIC UNDERGROUND WIRES.

1 1882 berichtete die *New York Times* darüber, dass durch ein beschädigtes Elektrokabel Pferde einen elektrischen Schlag erlitten. Das Satiremagazin *The Judge* beschreibt das Ereignis als spektakuläre Geschichte eines Gemüsehändlers. Die letzte Seite des Magazins zeigt eine dazu passende Karikatur.

Gab es in den frühen Gleichstromnetzen wegen der wenigen Anschlussstellen nur eine geringe Zahl von Elektrounfällen, so wurde mit fortschreitender Elektrifizierung die Gefährlichkeit der neuen Energieform und die Frage, was man dagegen tun könne, virulent. Ein Grund dafür war, dass seit den 1880er-Jahren Gas und Strom in einem intensiven Verdrängungswettbewerb standen.³ So hatte Thomas A. Edison 1878 grossspurig verkündet, dass bald nach Einführung seines elektrischen Beleuchtungssystems dessen «Pracht und Billigkeit» erkannt und das Gaslicht seinem «Ende nahe sein» werde, was von der Gaswirtschaft als «Humbug» zurückgewiesen wurde, der «durch die Presse in kritikloser Weise» übernommen würde.⁴ Rasch entdeckte man die «Gefährlichkeit» des jeweils anderen Energieträgers und instrumentalisierte diese werbewirksam als Argument für das eigene System. Da Leuchtgas⁵ leicht entzündlich und beim Einatmen gesundheitsschädlich ist, hatten sich im Gassystem funktionierende Schutzmechanismen etabliert. So wurden dem Gas geruchsintensive Stoffe (Odoren) beigemischt, sodass es beim ungewollten Ausströmen vom Menschen wahrgenommen werden konnte. Diese bewährte Strategie liess sich nicht auf Elektrizität übertragen, war die neue Energieform doch immateriell, geruch- und geschmacklos. So kann es kaum verwundern, dass in Fachzeitschriften immer wieder Unfallberichte auftauchten.

Der erste Bericht über einen Elektrounfall in einem deutschen Fachjournal für Elektrotechnik aus dem Jahr 1880 beschreibt ein Unglück auf der in England gebauten russischen Jacht *Ladvida*: «[...] eine Lampe im Heizraume sollte niedriger gehängt werden, und dem Heizer wurde aufgetragen, dieselbe einen Augenblick zu halten. Unglücklicherweise fasste er die Lampe derart an, dass der elektrische Strom von der Jablochkoff'schen Kerze abgelenkt wurde und seinen eigenen Körper passierte. Die natürliche Folge war der augenblickliche Tod des Unglücklichen. Natürlich wäre es ein Leichtes gewesen, diesen Unglücksfall unmöglich zu machen.»⁶

Offensichtlich war der Heizer ein Laie, dessen erste Erfahrungen mit der neuen, unbekannten Energie tragi-scherweise zu einem tödlichen Unfall führten. Dass auch Experten nicht vor Unfällen gefeit sind, zeigt eine Meldung von 1909: Der Elektromonteur Johann Martin Sedlmair war am 25. Juni 1909 durch einen Stromschlag bei einer Reparatur an der 50-Kilovolt-Leitung Moosburg–München in der Nähe von Freising zu Tode gekommen: «Sedlmair gab dem [Elektrizitäts-]Werk telephonisch den Auftrag, Spannung in die Leitung zu geben, machte seine Hilfsarbeiter darauf aufmerksam, dass Strom in die Leitung komme [...]. Unmittelbar darauf berührte er eine bereits spannungsführende Leitung und wurde sofort getötet. Es handelt sich also um einen Betriebsunfall [...]»⁷

Während die bisher genannten Unfälle aus Unwissenheit beziehungsweise Unachtsamkeit eintraten, traf 1920 der folgende Unglücksfall in einer Wiener Wohnung die Person völlig unvorbereitet: «Ein 20-jähriges Dienst-

mädchen büßte in furchtbarer Weise ihr Leben ein, als sie nach dem Abendessen ein Bad nehmen wollte. Sie wurde erst Tags darauf um 7 Uhr früh in der Badewanne tot aufgefunden, ihre Hände hielten krampfhaft die Ventilgriffe der Badebatterie [...]. Als die Hausleute den nackten Körper der Verunglückten berührten, erhielten sie Schläge [...]. Obwohl eine elektrische Einrichtung in greifbarer Nähe der Badewanne und des Badeofens nicht vorhanden war, sprach doch alles dafür, dass das Mädchen den Tod durch Elektrizität erlitten hatte.»⁸

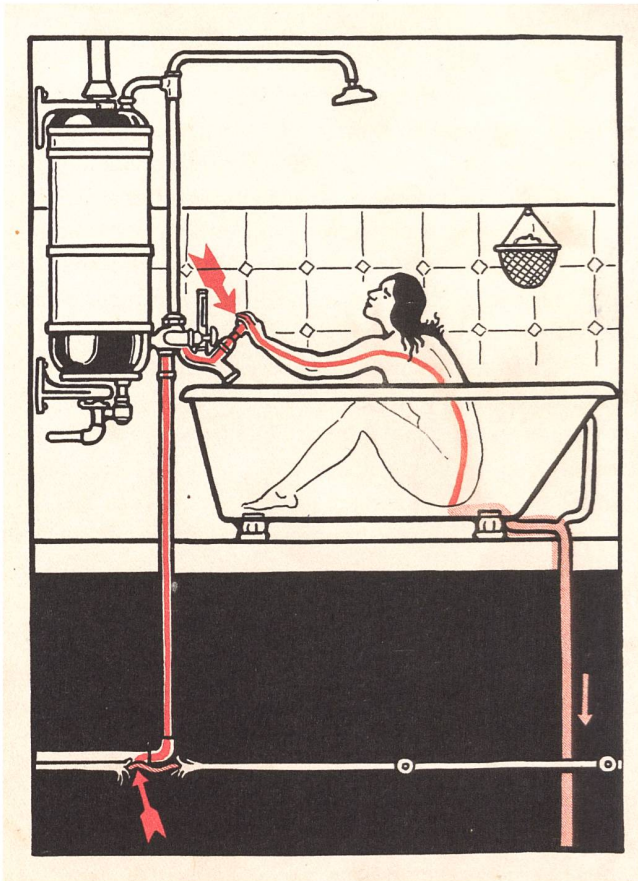
Intensive Untersuchungen ergaben, dass die Frischwasserleitung wegen eines Isolationsfehlers in einem anderen Stockwerk unter Spannung stand. Der Sicherheitsexperte Stefan Jellinek sprach hier von einem Fall, der «in seiner Neuheit und Tücke grundverschieden» von anderen sei, da alle ihm bis dahin bekannten Elektro-unfälle von Fehlern an der Elektroinstallation beziehungsweise an den Elektrogeräten *im selben Raum* verursacht wurden. Um derartige Unfälle zu vermeiden, forderte er, Badeöfen und ähnliche Geräte mit der Badewanne elektrisch leitend zu verbinden – eine Massnahme, die durch die zwischen 1954 und 2002 gültige Norm zur Erdung von Badewannen umgesetzt wurde. Im Zusammenhang mit Jellineks Bericht kritisierte die ETZ-Schriftleitung, dass kein Fachmann verständigt worden sei, obwohl sich bereits zuvor in verschiedenen Wohnungen wie auch in jener der jungen Frau Stromschläge ereignet hatten – allerdings keine tödlichen. Zu fordern sei, «dass sich in Greif-nähe einer Badewanne keine Teile einer elektrischen Starkstromleitung befinden dürfen». Dieser Unfall zeige, dass in Räumen mit Wasseranschluss – insbesondere in Bädern mit Wanne beziehungsweise Dusche – Elektrizität besonders gefährlich sei und deren Nutzung besondere Sicherheitsvorkehrungen erfordern.⁹

Diese wenigen Beispiele mögen illustrieren, dass eine Energiequelle, die sehr potent, aber auch unsichtbar, geschmack- und geruchlos ist, sehr hohe Anforderungen an die Sicherheitstechnik stellt, wenn sie sich im Alltag durchsetzen soll.

Bereits in den 1890er-Jahren war den Fachleuten bewusst, dass man die Sicherheit beim Umgang mit Elektrizität entscheidend verbessern müsse.

Ein Verband und seine Normen

Bereits in den 1890er-Jahren war den Fachleuten der jungen Elektrotechnik bewusst, dass man die Sicherheit beim Umgang mit Elektrizität entscheidend verbessern müsse. Prinzipiell werden dabei bis heute zwei Strategien verfolgt: Zum einen kann man in einem technikzentrierten Ansatz sicherheitstechnische Lösungen entwickeln und einsetzen. Zum anderen sind soziale oder auch pädagogi-



2 Ungefähr elf Jahre nach einem tödlichen Elektrounfall in Wien stellt der Unfallexperte Stefan Jellinek einen ähnlichen Fall in seinem Buch «Elektroschutz» dar. Dabei spricht er von einem «Geschehnis», das «besondere Beachtung» verdient.

sche Ansätze üblich, wenn zum Beispiel Menschen sich gegenseitig auf Gefahren hinweisen, etwa Eltern ihre Kinder.

Der Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) nahm bereits unmittelbar nach seiner Gründung 1893 den sicheren Umgang mit Elektrizität in den Blick.¹⁰ Zu dieser Zeit waren Sicherheitsvorschriften keineswegs neu. Administrative Bau- und Brandschutzbestimmungen sind bereits aus mittelalterlichen Städten bekannt. 1883 hatte der Verband der deutschen Privat-Feuer-Versicherungsgesellschaften in Deutschland Vorschriften für elektrische Beleuchtung erlassen, die Bestandteil des Versicherungsvertrags waren.¹¹ Im Gegensatz dazu war die Arbeit des VDE aber auf einen Interessenausgleich ausgerichtet. In diesem Ingenieurverband war einerseits fachliche Expertise versammelt, und andererseits hatten die Vertreter der Elektrizitätswirtschaft – der Elektrizitätswerke, der Verwaltung, der Produzenten von Anlagen und Produkten sowie aus dem Handwerk – ein starkes Interesse an gemeinsamen Lösungen. Bis heute ist es gängige Praxis, dass Arbeitsgruppen beziehungsweise Kommissionen von Ingenieurorganisationen im Fachdiskurs einen Interessenausgleich anstreben. Dabei entstehen Normen, Vorschriften und Regeln, die wichtiger Bestand-

teil der Wirtschafts-, Sozial- und Rechtsordnung im nationalen, aber auch im internationalen Rahmen sind und im Streitfall einen Orientierungspunkt darstellen.¹² Normen und Regeln sind einerseits relativ stabil, können aber im Konsens durch ein Expertengremium geändert werden, wenn sich der Stand der Technik, den sie widerspiegeln, verändert hat.

Schon im zweiten Jahr nach seiner Gründung setzte der Vorstand des VDE ein sogenanntes Comité für Sicherheitsvorschriften für elektrische Starkstromanlagen ein.¹³ Im Mai 1895 lag ein Vorschlag vor, der ausgiebig von den Mitgliedern diskutiert und an einer Kommissionssitzung im November in Eisenach beschlossen wurde.¹⁴ Emil Arnold Budde, von 1893 bis 1911 einer der Direktoren des Charlottenburger Siemens-Werks, der ab Herbst 1895 die Kommissionssitzungen leitete, wies auf beträchtliche Schwierigkeiten hin, einen Interessenausgleich zu finden. Der Kompromiss kam schließlich zustande, um einen staatlichen Eingriff zu verhindern, wie Budde auf der VDE-Jahrestagung 1896 anlässlich der Inkraftsetzung der Sicherheitsvorschriften sagte: «[...] und wenn wir die Vorschriften nicht selbst entwerfen, so werden sie uns aufgezwungen von Behörden, wobei wir nicht sicher sind, ob sie mit der Sachkenntnis entworfen werden, die den

Elektrotechnikern zu Gebote stehen.»¹⁵ Diese erste Sicherheitsvorschrift des VDE führte direkt zur heutigen DIN VDE 0100.¹⁶

Nun zieht die Verabschiedung einer Norm nicht automatisch deren Einhaltung nach sich. Zum einen müssen sich die Vorgaben in der Experten-Community verbreiten, zum anderen müssen die physikalisch-technischen Zusammenhänge geklärt werden. In diesem Sinne schrieb 1906 Hermann Zipp, Dozent am Polytechnikum in Köthen: «[...] man hört fast immer, auch von solchen, die mit der Elektrotechnik in enger Berührung stehen, dass wieder ganz hohe Spannungen, etwa 100 000 V und darüber, vollkommen ungefährlich sein sollen. Daneben liest man aber auch hin und wieder, dass die Berührung eines Niederspannungsnetzes von 220 V den sofortigen Tod des Berührenden zu Folge gehabt hat, während in anderen Fällen die Berührung einer Hochspannungsleitung von 2000 V und mehr ohne ernstliche Folgen geblieben ist.»¹⁷ Zipp erklärte diese Widersprüche damit, dass nicht die Spannung ausschlaggebend sei, sondern der den Körper durchfließende Strom. So schätzte er 50 bis 100 Milliampere als lebensgefährlich ein, was den heutigen Erkenntnissen entspricht. Damit ging er den wichtigen Schritt von der gefährlichen Spannung zum Strom. Noch zehn Jahre zuvor war Julius Kratter, Gerichtsmediziner an der Universität Graz, überzeugt, dass «die untere Grenze der Gefährlichkeit elektrischer Ströme für den erwachsenen Menschen [...] um 500 Volt Spannung [liege]».¹⁸

Wenngleich manche Experten allzu euphorisch anmerkten, dass Elektrizität die Menschen von der Wiege bis zur Bahre begleiten würde, hatten damals nur wenige Personen privaten Zugang zu Elektrizität.

Wirkung des elektrischen Stroms auf den menschlichen Körper

Um 1900 war keineswegs geklärt, welche Wirkungen Elektrizität auf den menschlichen Organismus entfaltet, obwohl diese Frage seit den 1880er-Jahren intensiv an Tierexperimenten studiert worden war. Ein Impuls kam von der Suche nach einer humaneren Hinrichtungsmethode in den USA. Nach der Einführung des elektrischen Stuhls standen den Medizinern Daten zur Verfügung, die aus ethischen Gründen nie experimentell zu erlangen gewesen wären.¹⁹ Wenngleich manche Experten um 1900 allzu euphorisch anmerkten, dass Elektrizität die Menschen von der Wiege bis zur Bahre begleiten würde,²⁰ hatten damals nur wenige Personen privaten Zugang zu Elektrizität. Gleichwohl kamen Menschen am Arbeitsplatz damit in Berührung. So traten bei Telefonistinnen neben Gehörproblemen durch sehr laute Geräusche auch Elektrounfälle auf, verursacht durch Blitzeinschläge und Überspannungen auf den oberirdischen Telefonleitun-

gen.²¹ Mit der zunehmenden Verbreitung von Elektrizität nahmen vermehrt bisher unbekannte Unfälle zu – ein Feld, das sich hervorragend für wissenschaftliche Qualifikationsarbeiten eignete.²² Erst nach langer, intensiver Forschung wurde klar, dass für Menschen bereits Ströme von 50 Milliampere lebensgefährlich sind. Eine zentrale Figur dieser Forschung war der bereits erwähnte Stefan Jellinek, der unter anderem an der Universität Wien zu Elektrounfällen forschte, 1938 aber nach Grossbritannien emigrieren musste und mit vielen Vorträgen, wissenschaftlichen Aufsätzen und Büchern eine intensive Aufklärungsarbeit leistete.²³

Fachleute gesucht

Bereits Ende der 1880er-Jahre hatten die Berliner Städtischen Elektrizitätswerke (Bewag) Bestimmungen zu Elektroanlagen in Häusern herausgegeben. Als andere Städte nachzogen, entstand ein uneinheitlicher Flickenteppich. Dabei wurden viele Anlagen nicht den Normen und Bestimmungen gemäss ausgeführt, was immer wieder zu Unfällen führte. Als Ursache machte man den Mangel an Fachpersonal aus. Um aber Lehrlinge im Installationsgewerbe auszubilden, bedurfte es Meister des Elektrohandwerks. Die erste Meisterprüfung im Elektrohandwerk legte 1903 der damals 25-jährige Lorenz Winterhalter vor der Handwerkskammer Freiburg i. Br. mit der Installation einer Fünfstübchenwohnung ab. Rasch schrieben immer mehr Handwerkskammern die Meisterprüfungen im Elektrohandwerk vor. Um das Gewerbe der Elektroinstallateure zu stärken, hatte 1902 der Unternehmer Georg Montanus den Verband Deutscher Elektroinstallationsfirmen (VEI) gegründet.²⁴

Auch der VDE sah sich in der Pflicht, die Ausbildung von Fachkräften zu unterstützen. Um die Sicherheit elektrischer Anlagen zu gewährleisten, sei es «nicht nur notwendig, eine elektrische Anlage so zu bauen, daß sie den Forderungen bezüglich Sicherheit genügt und sie so zu betreiben, daß sie diese Anforderungen auch ständig erfüllt, es ist auch notwendig, dafür zu sorgen, daß das Personal [...] in der Lage ist zu beurteilen, ob die Anlage sicherheitstechnisch auch wirklich auf der Höhe ist, das heißt, ob sie den Vorschriften des Verbandes entspricht», betonte 1909 der VDE-Generalsekretär Georg Dettmar.²⁵ Das Defizit an Fachpersonal, das die elektrischen Anlagen den Normen entsprechend ausführen sollte, liess sich allerdings nicht so schnell beheben. In den folgenden Jahren differenzierten sich dann die Lehrberufe in Elektroinstallateur, Elektromaschinenbauer und Elektromechaniker aus.

Prüfung tut not

Als die Bewag 1910 in Berlin Elektroherde der AEG testete, war das Ergebnis erschreckend. Die Geräte hatten nicht nur einen schlechten Wirkungsgrad und verursach-

ten damit hohe Stromkosten, sondern waren auch sicherheitstechnisch unzulänglich.²⁶ 1920 gründete der VDE eine Prüfstelle, die die Geräte testen und sie zertifizieren sollte, wenn sie den VDE-Sicherheitsnormen genügten. Dokumentiert wurde das durch ein gesetzlich geschütztes VDE-Prüfzeichen.²⁷ Dies war Ergebnis einer langjährigen intensiven Arbeit verschiedener Normungskommissionen im VDE. Bereits 1906 kam eine erste Anregung aus der Kommission für Installationsmaterial. Als die Kommission 1909 erneut versuchte, die Hersteller zu überzeugen, ihre Produkte prüfen zu lassen, fand das kaum Anklang. Mehr noch, viele herstellende Firmen produzierten ihre Artikel in zwei Ausführungen, in einer, die den VDE-Vorschriften entsprach sowie in einer vorzugsweise für den Export gedachten, davon abweichenden Form. 1913 lag das Konzept für die Gründung der Prüfstelle vor; die Umsetzung verzögerte sich jedoch durch den Ersten Weltkrieg. Im Februar 1920 beschloss die Kommission für Errichtungs- und Betriebsvorschriften die Gründung der Prüfstelle, «von der eine erhebliche Wirkung auf die Verdrängung minderwertiger Fabrikate vom Markte erhofft wird».²⁸ Das bewährte Prinzip wurde und wird bis heute von vielen Prüfinstituten weltweit übernommen.

Seit Beginn der Nutzung
von Elektrizität kamen nichtleitende
Materialien zum Einsatz, die bereits aus
der Telegrafentechnik bekannt waren.

Technische Schutzmassnahmen

Isolationsmaterial

Um Menschen und Tiere vor dem direkten Berühren spannungsführender Teile, aber auch um elektrische Anlagen vor äusseren Einflüssen zu schützen, kamen seit Beginn der Nutzung von Elektrizität nichtleitende Materialien zum Einsatz, die bereits aus der Telegrafentechnik bekannt waren. Leitungen im Freien isolierte man mit Porzellanisolatoren, die an Holzmasten geschraubt wurden. Erdkabel sowie Leitungen in Feuchträumen wurden zunächst mit Guttapercha und bald auch mit Kautschuk – beide sind kolonialen Ursprungs –, später mit synthetischem Gummi isoliert.²⁹

Seit den 1880er-Jahren, als Edison sein Beleuchtungssystem vorgestellt hatte, wurden auch vermehrt elektrische Anlagen in Innenräumen installiert.³⁰ Dort kamen zunächst mit Baumwolle oder Jute umspinnene Leitungen zum Einsatz, die in Holzleisten mit Rillen eingelegt waren. Eine weitere Methode war, isolierte Drähte verdrillt zwischen Porzellanrollen zu spannen. 1890 brachte das Berliner Unternehmen von Sigmund Bergmann ein Installationsrohr auf den Markt, das die Leitungen besser schützte als Holzabdeckungen. Wegen des höheren Preises setzte es sich allerdings nur langsam durch und bekam zudem bald Konkurrenz durch das sogenannte geschlitzte Metallrohr. 1905 schliesslich brachte Ernst Kuhlo den nach ihm benannten Rohrdraht auf den Markt, bei dem Rohr und Draht eine Einheit bildeten.³¹ Auch später



3 In der ETZ vom 4. November 1920 verkündet der VDE die Eröffnung seiner Prüfstelle. Dort wird auch das Siegel vorgestellt, das nach bestandener Prüfung verliehen wird – ein «Dreieck mit abgerundeten Ecken, das die Buchstaben VDE umschliesst».



4 In der 1920 geschaffenen VDE-Prüfstelle wurden elektrotechnische Produkte daraufhin geprüft, ob sie die bestehenden VDE-Bestimmungen erfüllen. Dieses sicherlich gestellte Bild zeigt die Prüfung eines Haartrockners.



5 Schmelzsicherungen mit Bleidraht, wie diese von Siemens & Halske, wurden bereits Ende des 19. Jahrhunderts eingesetzt, um elektrische Anlagen beispielsweise im Falle eines Kurzschlusses zu schützen. Mit Einführung der (klassischen) Nullung dienten solche Schmelzsicherungen zusätzlich als Schutz des Menschen vor Körperschluss.

wurden immer wieder neue Installationssysteme vorgestellt. In Lampenfassungen und Schaltern kam damals als Isolationsmaterial vorwiegend Porzellan zum Einsatz. Insgesamt verlief die Entwicklung der frühen Installationstechnik aber eher schleppend. So beklagte Hermann Görz 1890, zu diesem Zeitpunkt hochrangiger AEG-Mitarbeiter, «dass Alles, was zur Installation, zur Leitungslegung im Hause gehört, vernachlässigt worden ist und in Bezug auf die technische Ausbildung weit hinter der der Maschinen und ihres Zubehörs zurücksteht».³² Hinzu komme, dass Architekten die Installation elektrischer Anlagen nicht im Blick hätten und die zuständige Firma erst gerufen werde, wenn der Bau bereits abgeschlossen sei. Das erschwere nicht nur die Elektroinstallation und stehe damit der weiteren Verbreitung der neuen Energieform in Privatwohnungen entgegen, sondern führe auch zu Bränden und Unfällen.

Neben der unsachgemässen Installation kann auch die Alterung von Isolationsmaterialien sowie deren mechanische Beanspruchung zu Beschädigungen führen. Mit der vermehrten Nutzung elektrischer Energie hielten seit den 1920er-Jahren immer mehr Elektrogeräte Einzug in die Haushalte. Da diese bis in die 1960er-Jahre vorwiegend ein Metallgehäuse besaßen, konnte ein Isolationsfehler zu einer gefährlichen Spannung am Gehäuse führen. In der Praxis kann dieser Fehler – der sogenannte Körperschluss –

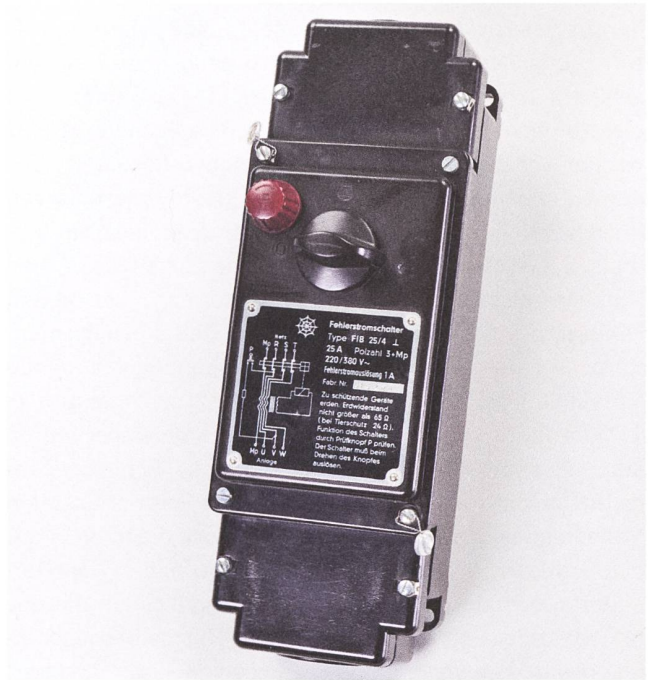
unentdeckt bleiben, weil etwa die Person auf einem Holzfussboden steht oder isolierende Schuhe trägt. Ändern sich aber die Widerstandsverhältnisse, weil die Person zum Beispiel geerdete Teile, etwa die Wasserleitung oder die Heizung berührt, fließt plötzlich ein hoher Fehlerstrom – und das im ungünstigsten Fall von Arm zu Arm. Die Sicherung löst nicht aus, weil der Strom dafür zu gering ist.

Schutzkontakt, Erdung und Nullung als Schutzmassnahmen

Um Personen beim sogenannten Körperschluss vor dem indirekten Berühren elektrischer Teile zu schützen, wurde bereits 1894 die Schutzerdung eingeführt. Dabei werden alle nicht spannungsführenden Teile eines elektrischen Verbrauchers mit einem Erder verbunden. Im Fehlerfall wird der Stromkreis über den ebenfalls geerdeten Ortstransformator geschlossen und der Kurzschlussstrom lässt die Sicherung abschmelzen. Dieses Schutzelement hatte Edison bereits 1885 zum Patent angemeldet.³³ Da Sicherungen zum Geräte- und Anlagenschutz dienen, waren und sind sie in allen Anlagen vorhanden. In der Praxis erwies sich die Schutzerdung als unsicher, da der Erdungswiderstand oft zu hoch war. Deshalb schlug die AEG 1913 jene Schutzmassnahme vor, die heute als klassische Nullung bekannt ist. Im Drehstromnetz liegt an einem Lei-



6 FU-Schutzschalter der Firma Schiele Industriewerke um 1960. Vor Einführung der (klassischen) Nullung war bereits die Schutzerdung als Sicherheitsmassnahme gegen zu hohe Berührungsspannung bekannt. Diese stellte sich aber wegen des oft zu hohen Erdungswiderstands als unzuverlässig heraus. Um Schutzgeerdete Anlagen sicherer zu machen, wurde nach dem Ersten Weltkrieg der FU-Schutzschalter eingeführt.



7 Bis in die 1980er-Jahre wurden FI-Schutzschalter installiert, die bei einem Fehlerstrom von über 50 Milliampere abschalteten, da man befürchtete, dass es bei einem niedriger eingestellten Auslösestrom zu häufigen Fehlauslösungen kommt. Der gezeigte Fehlerstrom-Schutzschalter der Firma Schutzapparate-Gesellschaft Paris & Co. von 1950 löst bei einem Fehlerstrom von 1 Ampere aus.

ter, der sogenannten Phase, die Netzspannung an, während der Rückleiter (Nullleiter) mit dem geerdeten Sternpunkt des Ortsnetztransformators verbunden ist. Wird im Fehlerfall das Metallgehäuse mit dem Nullleiter verbunden, entsteht ein Kurzschluss, der die Sicherung auslöst.³⁴ Bei mobilen Geräten erfordert dies einen Stecker mit einem dritten Kontakt, da sonst bei dessen Verdrehung das Gehäuse unter Spannung stehen könnte. 1921 hatte Albert Büttner, Gründer der Bayerischen Elektrozubehör A. G. in Lauf bei Nürnberg einen neuartigen Stecker zum Patent angemeldet, der bald von Siemens & Halske zum Schuko-Stecksystem verbessert wurde.³⁵ Dabei wird eine dritte Ader zwischen dem Stecker und dem leitenden Gehäuse ausgeführt. Stecker und Steckdose sind so konstruiert, dass auch bei einer Steckerdrehung die Phase nicht mit dem Gehäuse verbunden werden kann – sofern die Steckdose fachgerecht installiert ist.

1924 wurde die klassische Nullung in die VDE-Vorschriften aufgenommen. Zugleich blieb die Schutzerdung weiterhin zulässig, jedoch mussten ab 1928 bestimmte Erdungswiderstände eingehalten werden. Aber die klassische Nullung brachte und bringt auch heute noch in veralteten Anlagen im Fehlerfall Risiken mit sich. Aus diesen Gründen wurde die klassische Nullung in Deutschland seit dem 1. Mai 1973, in der Schweiz seit dem 1. Januar 1974, für Neuanlagen verboten.

Der Fehlerspannungs- und Fehlerstrom-Schutzschalter

Als kurz vor dem Ersten Weltkrieg immer mehr landwirtschaftliche Betriebe elektrifiziert wurden, traten trotz Schutzerdung beziehungsweise klassischer Nullung vermehrt elektrische Unfälle mit Tieren auf.³⁶ Abhilfe sollte hier der ab 1926 zunehmend installierte Fehlerspannungs-Schutzschalter (FU-Schutzschalter) schaffen. Bereits 1914 hatten RWE-Ingenieure im Zusammenhang mit der Elektrifizierung von Stallungen, in denen zum Beispiel Rinder mit Eisenketten an einer Metallkonstruktion angebunden waren, die Idee entwickelt, die Anlagenteile nicht direkt zu erden, sondern eine Auslösespule dazwischenschalten.³⁷ Diese sollte die Anlage abschalten, falls die Spannung an der Metallkonstruktion zu hoch wird.³⁸ Gegen die FU-Schutzschaltung wurden verschiedene Argumente vorgebracht, wie etwa die hohe Abhängigkeit der Schutzwirkung von Installationsfehlern sowie deren Störanfälligkeit.

1928 liess die RWE eine «Schutzschaltung zur Sicherung von Menschen und Tieren» patentieren, die eine hochempfindliche Schnellauslösung besass.³⁹ Das Prinzip, mithilfe eines Summenstromwandlers einen Stromkreis zu unterbrechen, war bereits seit 1903 bekannt und wurde nach 1908 in den USA weiterentwickelt.⁴⁰ Der FI-Schutzschalter⁴¹ beruht auf der Idee, die Werte aller Ströme, die in oder aus einem Gerät hinein- beziehungsweise

herausfliessen, zu addieren.⁴² Sobald eine Differenz auftritt, fliesst der Strom einen nicht vorgesehenen Weg – im schlimmsten Fall über einen Menschen –, und sofort wird elektromagnetisch abgeschaltet. Damit schienen die Entwickler von Schutzgeräten die ultimative Lösung gefunden zu haben. Der Schutzschalter musste innerhalb von 0,1 Sekunden bei einem sehr geringen Auslösestrom (damals 5 bis 10 mA) abschalten, sodass Menschen und Nutztiere nicht zu Schaden kommen, wenn über sie ein Fehlerstrom zur Erde fliesst. Berührt aber nach einem Körperschluss niemand das unter Spannung stehende Metallteil, wird der Schutzschalter nicht aktiv. Mitte der 1940er-Jahre wurde das System getestet. Dabei wurde klar, dass der FI-Schalter als alleiniges Schutzsystem nicht sinnvoll war, zum einen, weil das Prinzip, dass ein Mensch quasi als «lebender Schutzleiter» dient, nicht mit den Grundsätzen des Unfallschutzes vereinbar war. Zum anderen bestand bei zu grosser Empfindlichkeit die Gefahr, dass der Schutzschalter auch im Normalbetrieb auslöste, was – so vermuteten die Experten – zur Überbrückung der Schutzmassnahme durch das Bedienpersonal führen könne, was aus Sicht des Unfallschutzes der schlechteste Fall wäre. Letztlich einigte man sich darauf, den FI-Schutzschalter gemeinsam mit der Schutzerdung einzusetzen, sodass dieser bei jedem Körperschluss abschaltet. Dadurch liess sich die Empfindlichkeit auf 80 Milliampere erhöhen. Zudem bot der neue Schutzschalter weitere Vorteile gegenüber dem FU-Schutz.⁴³ 1953 wurde die FI-Schutzschaltung erstmalig in die VDE-Vorschriften aufgenommen.⁴⁴

Im Allgemeinen sind Normen relativ stabil, sodass sie im Streitfall als Kriterien herangezogen werden. Zugleich sind sie aber so flexibel, dass eine Anpassung an einen veränderten Stand der Technik leicht möglich ist.

Allerdings konnte sich der FI-Schutzschalter zunächst nicht gegenüber der klassischen Nullung durchsetzen, weil für letztere viel grössere Erfahrungen vorlagen. Der Abschaltstrom der damaligen FI-Schutzschalter (80–300 mA) lag aber auch weit über dem für Menschen gefährlichen Wert von 50 Milliampere.⁴⁵ Zudem erforderte die Umrüstung einen erheblichen Investitionsbedarf, weil in jedem Haushalt der Anschlusskasten geändert musste. Daher wurde noch 1964 darüber diskutiert, welche die geeignetere Schutzmassnahme sei.⁴⁶ Erst als die Sicherheit in Badezimmern stärker in den Fokus rückte und man sich entschied, den dort zulässigen Differenzstrom auf 30 Milliampere herabzusetzen, gewann der FI-Schutzschalter wieder an Bedeutung. Anfang der 1980er-Jahre wurde dieser zunächst für Bad und Küche vorgeschrieben, in Österreich gesetzlich ab 1980. Die BRD folgte 1984

mit dem verpflichtenden Einsatz von FI-Schutzschaltern in Räumen mit Badewannen und Duschen – und zwar sowohl in Neubauten als auch bei der Renovierung von Altbauten.⁴⁷

Fazit

Die Erarbeitung elektrischer Sicherheitsvorschriften war von Anfang an und ist bis heute ein langwieriger und fortlaufender Aushandlungsprozess. Das gilt sicher auch für die Zukunft, da sich das Stromsystem – wie Technik generell – in einer ständigen Veränderung befindet. Ein wichtiger Grundsatz bei der Sicherheit ist Redundanz, das heisst, wenn ein Schutzmechanismus ausfällt oder manipuliert wird, muss mindestens ein weiterer den Schutz übernehmen. Wirtschaftlich betrachtet bedeutet Redundanz zusätzliche Kosten. Aus gesellschaftlicher Sicht hingegen ist die in Normen vorgeschriebene Sicherheitsmassnahme stets ein Kompromiss zwischen Aufwand und gewünschtem Ergebnis, das oft plakativ mit der Zahl von Unfällen, geschädigten Personen oder auch Unfalldoten quantifiziert wird. Die Normen entstehen in einem umfangreichen, kontroversen, zum Teil internationalen Fachdiskurs, wie die Schriftleitung des *Elektromeisters* 1964 ausführte: «Die Probleme der Schutzmassnahmen finden in der Fachwelt teilweise eine sehr unterschiedliche Bewertung und die Meinungen gehen oft recht auseinander. Es ist aber für den Fachmann von grosser Bedeutung, über diese Standpunkte, Betrachtungsweisen und Schlüsse informiert zu sein. Darum sollen solche Meinungen auch allen Fachleuten zur Kenntnis kommen, gleichgültig, ob sich die eine oder andere Meinung im Lauf der Zeit als richtig oder falsch erweist. Die Abwägung der Standpunkte und Verlegungen muß ja schließlich zu Festlegungen führen, die eine Verbesserung der Schutzmassnahmen gegen gefährliche Berührungsspannungen ermöglichen.»⁴⁸

Der Fachdiskurs zielt auf einen Interessenausgleich der verschiedenen Beteiligten – zumindest jener, die eingebunden wurden. Im Allgemeinen sind Normen relativ stabil, sodass sie im Streitfall, etwa vor Gericht, als Kriterien herangezogen werden. Zugleich sind sie aber so flexibel, dass eine Anpassung an einen veränderten Stand der Technik leicht möglich ist. Dass dies in Kommissionen von Ingenieurorganisationen geschieht, liegt auch im Interesse des Gesetzgebers, der dadurch entlastet wird, weil dieses technokratische Verfahren schneller und zielgenauer als jedes Parlament reagieren kann. Dabei ist aber auch ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Stabilität und Anpassung wichtig. Zum einen brauchen alle Beteiligten Planungssicherheit über einen langen Zeitraum. Zum anderen stellen sich durch die Technikentwicklung immer wieder neue Aufgaben, die eine Revision der Normen erfordert. Gerade die Energiewende wird sicher zu grösseren Veränderungen im Stromnetz führen, die auch Auswirkungen auf die Sicherheitstechnik haben werden.

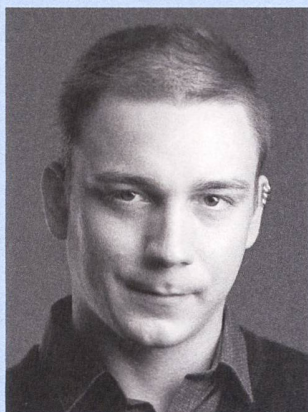
Zu den Autoren

**Frank Dittmann, Dr.
Ludwig Bauer, M. Sc.**



Frank Dittmann hat Elektrotechnik studiert und im Bereich Technikgeschichte promoviert. Danach arbeitete er in verschiedenen Museen und ist seit 2005 als Kurator am Deutschen Museum in München für die Abteilungen Energietechnik, Starkstromtechnik und Automation zuständig.

Deutsches Museum, München, Deutschland
f.dittmann@deutsches-museum.de



Ludwig Bauer hat nach seiner Ausbildung zum Elektroniker für Energie und Gebäudetechnik an der LMU München Physik studiert. Danach arbeitete er im Deutschen Museum in München als wissenschaftlicher Volontär im Ausstellungsprojekt «Robotik» und anschliessend in mehreren Ausstellungsprojekten als wissenschaftlicher Mitarbeiter. Seit März 2020 ist er im Projekt «Energie – Strom» tätig.

Deutsches Museum, München, Deutschland
lu.bauer@deutsches-museum.de



Verwandter Artikel im Ferrum-Archiv:
«Aus der Geschichte der Elektrotechnik»
von Werner Hübschmann in Ferrum 53/1982

Anmerkungen

- 1 Horses startled with Electricity, in: The New York Times Vol. 32, No. 9663, August 26, 1882, p. 3 (eigene Übersetzung).
- 2 A Shocked Horse, in: The Judge Vol. 2, No. 46, September 9, 1882, p. 2 (eigene Übersetzung).
- 3 Siehe z. B. Elektrisches Licht contra Gas-Beleuchtung, in: Der Rohrleger 1 (1878), S. 324–329; siehe auch: Hans-Joachim Braun, Gas oder Elektrizität? in: Technikgeschichte 47 (1980), S. 1–19.
- 4 Rundschau [zur elektrischen Beleuchtung], in: Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 21 (1878), Nr. 21, S. 642 ff., hier S. 643.
- 5 Auf die Erzeugung, Verteilung und den Verbrauch von Leuchtgas kann nicht eingegangen werden. Hier sei lediglich auf ein Standardwerk verwiesen: Nikolaus Heinrich Schilling, Handbuch für Steinkohlengas-Beleuchtung. 2 Bde. 3. Aufl. München 1879.
- 6 Unglücksfall durch elektrisches Licht, in: Zeitschrift für angewandte Elektrizitätslehre 2 (1880), S. 436. Dieser Beitrag wurde vollständig übernommen aus: Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1880, Nr. 22, S. 667 f.
- 7 Tod durch Elektrizität, in: Freisinger Tagblatt Jg. 105, Nr. 141 vom 26.6.1909, S. 2.
- 8 Stefan Jellinek, Über einen merkwürdigen elektrischen Unglücksfall in einem Badezimmer, in: ETZ 41 (1920), S. 549.
- 9 Ebd.; siehe auch: Die neuen Vorschriften des VDE für die Errichtung von Starkstromanlagen mit Berührungsspannungen unter 1000 Volt, in: ETZ 51 (1930), S. 4–7, hier S. 7.
- 10 Frank Dittmann, Günther Luxbacher, Norbert Gilson, Peter Döring, Technik – Innovation – Sicherheit. Der VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. als Expertennetzwerk in gesellschaftlicher Verantwortung 1893 bis 2018. Berlin, Offenbach 2021.
- 11 Wilhelm Rudolph, Einführung in DIN VDE 0100, 2. Aufl. Berlin, Offenbach 1999, S. 767.
- 12 Zur Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) als Beispiel für ein transnationales Gremium siehe: Tim Bütte, Engineering Uncontestedness? The Origins and Institutional Development of the International Electrotechnical Commission (IEC), in: Business and Politics 12, 2010, No. 3, pp. 1–62.
- 13 Rudolph, Einführung (wie Anm. 11), S. 59.
- 14 Vorschlag zu Sicherheitsvorschriften für elektrische Starkstromanlagen, in: ETZ 16 (1895), S. 319 ff. sowie: Sicherheitsvorschriften für elektrische Starkstromanlagen, in: ETZ 17 (1896), S. 21–26.
- 15 Sicherheitsvorschriften für elektrische Starkstromanlagen, in: ETZ 17 (1896), S. 454 f.
- 16 Rudolph, Einführung (wie Anm. 11).
- 17 Hermann Zipp, Die Gefahrquellen in elektrischen Wechselstromanlagen und einige moderne Schutzeinrichtungen zur Abwendung der Gefahren, in: Z. VDI 50 (1906), S. 1908–1915, hier S. 1908.
- 18 Julius Kratter, Der Tod durch Elektrizität. Leipzig, Wien 1896, S. 116; siehe auch: Richard Moran, Executioner's current. Thomas Edison, George Westinghouse, and the invention of the electric chair. New York 2002.
- 19 So betrachteten frühe Arbeiten zu Elektrounfällen auch die «Elektrokution». Siehe: Kratter, Tod durch Elektrizität (wie Anm. 18), S. 99 ff.; ausführlich auch in: Emil D. Schumacher, Unfälle durch elektrische Starkströme. Eine klinische und gerichtlich-medizinische Studie. Wiesbaden 1908, S. 2–10.
- 20 «Der Kulturmensch von heute merkt gar nicht, dass sich sein ganzes Leben «elektrisch» abwickelt ... Lang und abwechslungsreich ist der elektrische Weg, den man heute gehen muss; von der Wiege bis zum Grabe reicht die Strecke ...» Stefan Jellinek, Elektropathologie. Stuttgart 1903, S. 1 f.
- 21 Martin Bernhardt, Die Betriebsunfälle der Telephonistinnen. Berlin 1906. Der Autor erhielt durch «das Entgegenkommen des Vorstandes der Postkrankenkasse und der kaiserlichen Ober-Post-Direktion [...] Einsicht in die unmittelbar nach dem Unfall aufgenommenen Protokolle sowie in die Bekundungen der Aufsichtsbeamten und Mechaniker ...» (S. 5 f.). Die Einlassungen zu den Patientinnen sind aber deutlich abwertend, siehe z. B. S. 68 f.: «Die Neigung zur Uebertreibung gehört gewissermaßen zum Charakter des Unfallverletzten.»
- 22 Siehe etwa die medizinischen Promotionsarbeiten: Peter Heinrich Geelvink, Zur Wirkung elektrischer Ströme auf den menschlichen Organismus. Berlin 1896; Maximilian Hackl, Verletzungen und Tod durch industrielle elektrische Ströme. München 1900; Herbert Wendriner, Über Unfälle durch den elektrischen Starkstrom. Berlin 1905; Emil D. Schumacher, Unfälle durch elektrische Starkströme. Eine klinische und gerichtlich-medizinische Studie. Wiesbaden 1908.
- 23 Siehe u. a. Jellinek, Elektropathologie (wie Anm. 20); ders., Atlas der Elektropathologie. Berlin 1909; ders., Das Gefahrenmoment beim Radio, mit einem elektro-hygienischen Merkblatt für Radioamateure. Leipzig 1925; ders., Der elektrische Unfall, Leipzig 1925; ders., Elektroschutz in 132 Bildern, Wien 1931; ders., Gefahren der Elektrizität, Salzburg 1932; ders., Atlas zur Spurenkunde der Elektrizität. Wien 1955.
- 24 Josef Bretzler (Hg.), 50 Jahre deutsches Elektrowerk. Frankfurt am Main 1952, S. 20 ff.
- 25 Georg Dettmar, Die Fortbildung von Monteuren und Wärtern elektrischer Anlagen, in: ETZ 30 (1909), S. 678–682.
- 26 Joachim Schaier, Kochmaschine und Turbogrill. Haushaltstechnik im 19. Jahrhundert und neue Energien, in: Technikgeschichte 60 (1993), S. 331–346, hier S. 337.
- 27 Prüfstelle, in: ETZ 41 (1920) S. 881.
- 28 Georg Dettmar, Die Prüfstelle des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, in: ETZ 41 (1920), S. 949 ff., hier S. 949.

- 29 Guttapercha ist ein getrockneter Milchsaff des gleichnamigen Baums, der ursprünglich aus Malaysia stammt, siehe u. a.: Hermann Klencke, Gutta-Percha, ein neuer Stoff für die Industrie, Kassel 1848; Raimund Hoffer, Kautschuk und Guttapercha. 2. Aufl. Wien 1892; Franz Clouth, Gummi, Guttapercha und Balata, Leipzig 1899.
- 30 Auf die Entwicklung kann hier nicht eingegangen werden, siehe: Hermann Dürbeck, Die Entwicklung der Installationstechnik, in: Bretzler, Elektrohandwerk (wie Anm. 24), S. 241–264; Joachim Geyler, Die Entwicklung der Starkstrom-Installationsleitungen, in: Technikgeschichte 38 (1971), S. 317–338.
- 31 Friedrich Uppenborn, Das neue Installationssystem von S. Bergmann & Co., in: ETZ 12 (1891), S. 216 ff.; A. Peschel, Ueber ein neues Installationssystem, in: ETZ 23 (1902), S. 202–207; Eine neue Verlegungsart für Leitungen, in: ETZ 1905, S. 1119 ff.
- 32 Hermann Görz, Ueber die Installationsmaterialien für Centralstationen, in: ETZ 11 (1890), S. 678 ff., hier S. 678.
- 33 Fuse-Block. US Patent 438,305.
- 34 Friedrich Lauerer, Schutzmassnahmen gestern, heute, morgen, in: Der Elektromeister (1964), S. 478, 480 ff., 484–488, 490, hier S. 480.
- 35 DE 370538, Albert Büttner: Steckervorrichtung. Sowie DRP 530143, Wilhelm Klement: Steckvorrichtung mit geerdetem oder genulltem Schutzkontakt.
- 36 Lauerer, Schutzmassnahmen (wie Anm. 34).
- 37 Otto Heinisch, Sicherheitsschaltung für feuchte Räume, in: ETZ 35 (1914) H. 2, S. 32 f.
- 38 Siehe Funktionsbeschreibung in: AEG Hilfsbuch für Elektrische Licht- und Kraftanlagen, Buchverlag W. Giradet Essen 1939, S. 420 f.
- 39 DRP 552678, Schutzschaltung zur Sicherung von Menschen und Tieren gegen Schaden durch Berührung eines spannungführenden Leiters.

- 40 DRP 160.096, Sicherungsvorrichtung für Wechselstromanlagen sowie USA-Pat. 959.787, Circuit-Controlling Apparatus.
- 41 FI ist die Abkürzung von Fehlerstrom, Englische Bezeichnung: RCD = Residual Current Device.
- 42 Zur Entwicklung siehe: Paul Schnell, Die Geschichte der Fehlerstrom-Schutzschaltung, in: ETZ-B 18 (1966), S. 165 ff., sowie: Friedrich Lauerer, Zur Geschichte des Fehlerstrom-Schutzschalters, in: Elektronikpraxis, Sonderheft Elektromechanik I, April 2010, S. 32 ff.
- 43 Siehe: Albert Herhahn, Sicherheitsfibel für die Elektroinstallation nach VDE 0100 mit Sicherheitslexikon. 8. Aufl. Würzburg 1969, S. 42–45.
- 44 Stormanns, Neufassung der Vorschriften für die Errichtung von Starkstromanlagen unter 1000 V (Schutzmassnahmen), in: ETZ-A (1953) H.20, S. 593–596, hier S. 597.
- 45 Lauerer, Geschichte des FI (wie Anm. 42), S. 33.
- 46 Lauerer, Schutzmassnahmen (wie Anm. 34), S. 484 f.
- 47 Gemäss DIN-VDE 0100-704.
- 48 Hinweis der Schriftleitung in Friedrich Lauerer, Die Nullungsbedingungen, in: Der Elektromeister 17 (1964), S. 352–356, 358, 394–398, 400 ff., hier S. 352.

Bildnachweise

- 1 The Judge 1882-09-09: Volume 2, Issue 46, p. 16. Internet Archive: Out-of-copyright, URL: https://archive.org/details/sim_judge_1882-09-09_2_46/page/n15/mode/1up (Stand 17.5.2024).
- 2 Stefan Jellinek: Elektroschutz. Wien – Leipzig 1931 (Scan: Deutsches Museum).
- 3 ETZ 1920 H. 44, S. 881 (Scan: Deutsches Museum).
- 4 VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitut Offenbach.
- 5 Deutsches Museum (Foto: Gerhard Friedinger).
- 6 Deutsches Museum (Foto: Klaus Mosch).
- 7 Ebd.