

Die Nutzung der Elektrizität ist heute fast so alltäglich wie die von Luft und Wasser. Ohne elektrische Energie läuft gar nichts. Vor allem deswegen können einige Grundkenntnisse über deren Wesen und Eigenschaften nicht nur für Fachleute, sondern auch für die Anwender nützlich sein.

Inhalt

1	Elektrischer Strom – was ist das überhaupt?	2
1.1	Elektronen unterwegs	2
1.1.1	Das kleine Gewitter im Raum	2
1.1.2	Zwischen Stromleitfähigkeit und Spannungspotenzial	3
1.1.3	»Echte« Gewitter im Freien	3
1.1.4	Aber was ist denn nun eigentlich »Leitfähigkeit«?	4
2	Bedeutung für die Anwendung	5
3	Anwendung des elektrischen Stroms und elektrischer Energie	5
4	Verteilung elektrischer Energie: Sicher ist sicher	6
4.1	Grundzüge des Schutzes gegen Stromschlag	7
4.1.1	Ist Niederspannung gefährlich?	7
4.1.2	Aller guten Leiter sind drei	9
4.1.3	Erdverbunden	13
4.2	Grundzüge des Brandschutzes	14
4.2.1	Schutz bei Kurzschluss	14
4.2.2	Schutz vor Überlast	15
4.2.3	Rundum-Schutz: Leitungsschutzschalter und Schmelzsicherungen	16
4.2.4	Neu: Schutz vor seriellen Lichtbögen	17

1 Elektrischer Strom – was ist das überhaupt?

Alle Materie setzt sich aus Atomen zusammen. Deren gibt es in der Natur 92 »Sorten«, die chemischen [Elemente](#).¹ Der Atomkern besteht aus elektrisch positiv geladenen Protonen und elektrisch neutralen Neutronen (daher der Name). Um den Kern kreisen die (wesentlich kleineren und leichteren) Elektronen und bilden die Elektronenhülle. Diese besteht aus genau so vielen negativ geladenen Elektronen wie der Kern Protonen enthält. Dadurch erscheint das Atom nach außen hin elektrisch neutral, also nicht geladen. Im Unterschied etwa zu Planeten im Sonnensystem können sich die Elektronen aber nicht auf jeder beliebigen Kreisbahn um den Kern bewegen, sondern nur in bestimmten Abständen, den so genannten Schalen. Auch sind Größe, Masse und elektrische Ladung der Elektronen – ebenso wie bei Protonen und Neutronen – fix. Ein Elektron ist immer ein Elektron; es gibt keine großen und kleinen davon wie bei den Gestirnen.

Bei einigen Atomen sind aber die ein, zwei, drei oder vier Elektronen der äußeren Schale nicht fest an ein bestimmtes Atom gebunden, sondern können gegen geringfügigen Widerstand zum benachbarten Atom überwechseln. Aus diesen Atomen bestehen jene Stoffe, die elektrisch leitfähig sind, namentlich die Metalle und der Kohlenstoff.

Atome können sich zwar unter Umständen zu zweit, zu dritt, aber auch zu Hunderten und Tausenden untereinander – zu zweit und zu dritt auch miteinander – zu Molekülen verbinden. So lassen sich aus den 92 Grundbausteinen praktisch unendlich viele verschiedene Stoffe aufbauen. Solche aus Molekülen bestehenden Stoffe sind jedoch höchst selten elektrisch leitfähig. Für die Elektrotechnik kommen diese also allenfalls als Isolierstoffe in Betracht – die dort allerdings ebenso wichtig sind wie die nachfolgend betrachteten Leiterwerkstoffe.

1.1 Elektronen unterwegs

Mit einer irgendwie gearteten »Elektronenpumpe« kann man nun z. B. ein weiteres Elektron am Ende eines Drahtes hinein zwängen. Dann hat ein Atom ein Elektron zu viel und ist nicht mehr ladungsneutral. Gleichnamige – hier negative – Ladungen stoßen sich ab. Das überschüssige Elektron wird ein anderes »freies« Elektron von dem betreffenden Atom verdrängen, das zum nächsten Atom wechselt, doch dort wiederholt sich das Spiel und so fort, bis als Ergebnis des allgemeinen Gedränges vorne am Draht wieder ein Elektron austritt. Fertig ist der elektrische Stromkreis – der aber bekanntlich nur funktioniert, wenn er geschlossen ist, also für das verdrängte Elektron letztlich wieder eines in der »Pumpe« ankommen kann. Elektronen sind etwa so »kompressibel« wie ein Ziegelstein, lassen sich also nur äußerst begrenzt irgendwo hinein zwängen, wo nicht auch im Gegenzug Elektronen entweichen können, d. h. der Draht kann nur unwesentlich mehr Elektronen aufnehmen als er als Bestandteile seiner Atome bereits enthält. Einige wenige Elektronen zu viel oder zu wenig führen schnell zum Aufbau eines enormen »Elektronen-Überdrucks« bzw. »Elektronen-Unterdrucks«, also eines hohen elektrischen Spannungs-Potenzials, und endet im Extremfall mit Blitz und Donner.

1.1.1 Das kleine Gewitter im Raum

Dies lässt sich schon im Kleinen beobachten: Beim Ausziehen eines Pullovers kann es zu statischen Aufladungen kommen. Dies bedeutet, dass sich durch irgendwelche Einflüsse – hier Reibung – an einigen Stellen zu viele Elektronen anreichern, die dann woanders fehlen.

Die dabei auftretenden Spannungen bewegen sich durchaus im Bereich von Kilovolt [kV], also mehreren tausend Volt! Weil die Natur- oder Kunstfasern nicht elektrisch leiten, müssen die Elektronen zum Ausgleich von den Stellen mit Überschuss hin zu den Stellen mit Mangel durch die Luft »hüpfen«. Bei dieser Entladung kann es knistern, und bei Dunkelheit sieht man manchmal sogar kleine Funken. Es können größenordnungsmäßig um 10^{11} Elektronen bewegt werden – sprich 10 hoch 11, also eine 1 mit 11 Nullen, d. h. 100 000 000 000 oder 100 Milliarden Elektronen. Wie verschwindend wenig das jedoch immer noch ist, werden wir gleich sehen. Es macht immerhin plausibel, warum noch niemand beim Entkleiden an einem Stromschlag aus dem Pullover gestorben ist.

1.1.2 Zwischen Stromleitfähigkeit und Spannungspotenzial

Dagegen ist, wie gesagt, die zur Beförderung von Elektronen in einem *leitfähigen* Kreislauf erforderliche Spannung vergleichsweise *gering*. Die elektrische Spannung stellt den Druck dar, der die Elektronen, so ein Weg vorhanden, in Bewegung setzt.

Es ist wie bei der Wasserleitung: Das Wasser mit mäßiger Geschwindigkeit zum Fließen zu bringen erfordert nur einen sehr geringen Druck, doch wenn das Rohr verschlossen ist, bekommt man auch mit größtem Druck nur sehr wenig mehr Wasser hinein als ohne zusätzlichen Druck hinein passt. Tatsächlich enthält der Pullover insgesamt irgendetwas um 10^{25} Elektronen. Nur 10^{11} davon waren am falschen Platz, also nur ein einziges von jeweils 10^{14} – und schon entstand zwischen den Punkten mit »Überdruck« und den Stellen mit »Unterdruck« ein Gefälle von 1000 V bis fast 10 000 V!

Zu beachten ist hierbei, dass ein einzelnes Teil – und sei es noch so sehr elektrisch leitfähig – keine Spannung führen kann. Eine elektrische Spannung kann immer nur *zwischen* zwei Polen, also zwei leitfähigen Gegenständen, gemessen werden. Wenn nicht anders erwähnt, wird die uns alle umgebende Erde als Referenz heran gezogen, der das »Potenzial 0« zugewiesen wird, so wie man Höhen fast immer auf den Meeresspiegel bezieht (ohne einen definierten Bezug funktioniert eine Höhenangabe auch nicht). Da das Erdreich zumindest ein wenig elektrisch leitfähig ist, darf man annehmen, dass sich ein irgendwo bestehender »Elektronen-Überdruck« und ein irgendwo anders bestehendes »Elektronen-Defizit« stets unverzüglich gleichmäßig verteilen und sich gegeneinander ausgleichen werden, so wie es auch auf den Weltmeeren üblicherweise weder Wasserberge noch Wasserlöcher gibt. Wohl gibt es Wellen, so wie es entsprechend auch elektromagnetische Wellen gibt, doch diese dürfen hier außer Betracht bleiben. Somit bildet sich ein ziemlich klarer Bezugspegel »Normal-Null«. Die Spannung an einer bestimmten Stelle versteht sich also, wenn nicht anders angegeben, als zwischen dieser Stelle und Erde gemessen. Dabei darf man auch annehmen, dass die gesamte Anzahl Protonen auf der Erde der gesamten Anzahl vorhandener Elektronen entspricht, so dass dieses »per Order Mufti« beschlossene Bezugspotenzial mit bester Näherung tatsächlich beim Ladungspegel 0 liegen dürfte.

1.1.3 »Echte« Gewitter im Freien

Anders sieht das manchmal in der Luft aus, die *nicht* elektrisch leitfähig ist. Reichern sich aus irgendwelchen (meteorologischen, hier nicht näher betrachteten) Gründen geladene Teilchen in gewissen Bereichen der Atmosphäre an, dann kann diese Ladung zunächst nicht abfließen. Erst, wenn die elektrische Spannung so groß wird, dass die Isolierfähigkeit der Luft plötzlich zusammenbricht, dann donnert es gewaltig! Etwa 2000 V bis 3000 V sind nötig, um einen Millimeter Luft zu überspringen (Fachausdruck: »Durchschlagsspannung« oder »Durchschlagfestigkeit«). Das lässt tief blicken für die Spannungen, die sich in einer Gewitterwolke aufbauen müssen, ehe sich die Ladung in einem z. B. 100 m langen Blitz entlädt! Zudem ist die Ladung deutlich größer, da auch die Wolke deutlich größer ist als ein Pullover,

so dass es in diesen Fällen doch lebensgefährlich werden kann und dass elektronische Geräte zerstört und Brände entfacht werden können.

1.1.4 Aber was ist denn nun eigentlich »Leitfähigkeit«?

Das Ausmaß der elektrischen Leitfähigkeit, wo sie denn gegeben ist – bzw. deren Kehrwert, der spezifische elektrische Widerstand – stehen anscheinend in keinem direkten Zusammenhang mit dem Aufbau der Atome. So hat z. B. das Kupfer nur ein freies Elektron, leitet aber besser als das Aluminium mit dreien. Kohlenstoff hat deren vier, leitet aber noch viel schlechter. Man könnte also an Hand dieser drei Beispiele eher meinen, je mehr freie Elektronen vorhanden sind, desto geringer sei die Leitfähigkeit, doch so stimmt das auch wieder nicht.

Eines jedoch ist sicher: Für technische Anwendungen als Stromleiter eignen sich nur Metalle – mit der Ausnahme von Kohle für einige Spezialzwecke. Dabei stellt Kupfer den Spitzenreiter dar. Während Silber um 6% besser leitet, ist es doch deutlich über 6% kostspieliger, so dass es technisch nur in Sonderfällen Anwendung findet. Andererseits bietet das Leichtmetall Aluminium etwa $\frac{2}{3}$ der Leitfähigkeit des Schwermetalls Kupfer bei nur $\frac{1}{3}$ der Dichte – und kostet dann auch noch nur $\frac{1}{3}$ des (auf die Masse bezogenen) Preises. Ein gleichwertiger Leiter aus Aluminium kostet also dem ersten Anschein nach nur einen Bruchteil wie ein entsprechender Leiter aus Kupfer, jedoch muss man in die »Gleichwertigkeit« noch die anderen technologischen Eigenschaften der Werkstoffe einbeziehen, und dies führt dann dazu, dass für die meisten elektrotechnischen Anwendungen doch das Kupfer bevorzugt wird. Mehr hierzu erfahren Sie in der Schrift »[Elektrische Leiterwerkstoffe im praktischen Einsatz](#)«. ²

Interessant ist an dieser Stelle noch die Frage, wie schnell der elektrische Strom *wirklich* ist. Oft hört man, er sei so schnell wie das Licht, doch das stimmt, wenn man es wörtlich nimmt, ganz und gar nicht. Nur die »Druckwelle« pflanzt sich so schnell fort. Auch Wasser eilt schließlich nicht beim Aufdrehen des Hahns mit Lichtgeschwindigkeit vom Wasserwerk zum Wasserhahn, sondern es ist schon vorher in der Leitung und wird lediglich in Marsch gesetzt. – Also wie langsam ist der elektrische Strom nun? Mit folgenden Betrachtungen kommt man dahinter:

- Ein Elektron hat eine Ladung von $1,602 \cdot 10^{-19}$ Amperesekunden [As] oder Coulomb [C].
- Wenn man davon den Kehrwert bildet, bekommt man die Anzahl Elektronen pro Zeit, die einem Stromfluss von 1 A entsprechen. Das sind $6,24 \cdot 10^{18}$ Elektronen pro Sekunde.
- Ein Mol ist die Atommasse (bzw. Molekularmasse) eines beliebigen Stoffes in Gramm. Dies entspricht immer, also bei allen Stoffen, $6,022 \cdot 10^{23}$ Atomen (bzw. Molekülen) – die so genannte Avogadro-Konstante.
- Kupfer hat eine Atommasse von 63,546.
- Das bedeutet: 63,546 g Kupfer enthalten $6,022 \cdot 10^{23}$ Atome.
- Kupfer hat eine Dichte von $8,93 \text{ g/cm}^3$.
- Damit hat 1 Mol ein Volumen von $63,546 \text{ g} / (8,93 \text{ g/cm}^3) = 7,12 \text{ cm}^3$.
- Dann enthält 1 cm^3 Kupfer $6,022 \cdot 10^{23} / 7,12$ Atome, das sind also $8,46 \cdot 10^{22}$ Atome / cm^3 .
- Jedes Atom steuert ein freies Elektron bei.
- 1 cm^3 Kupfer (= 1000 mm^3) reicht aus, um etwa 667 mm Draht für eine übliche Installationsleitung von $1,5 \text{ mm}^2$ Leiterquerschnitt herzustellen.
- Eine solche Leitung kann üblicherweise mit einem Strom von 16 A belastet werden, was also $16 \cdot 6,24 \cdot 10^{18} \approx 10^{20}$ Elektronen pro Sekunde entspricht.

- Der 0,667 m lange Draht enthält aber schon $8,46 \cdot 10^{22}$ Elektronen.
- Die Strömungsgeschwindigkeit der Elektronen beträgt also $10^{20} / \text{s} / (8,46 \cdot 10^{22}) \cdot 667 \text{ mm} \approx 0,8 \text{ mm/s}$
(»höchstzulässige Geschwindigkeit innerhalb geschlossener Gebäude«, sozusagen).

Bei einem Kurzschluss kann der Strom auch schon mal auf 1000 A ansteigen. Dann springt die Geschwindigkeit der Elektronen auf 50 mm/s. Das ist alles. So »schnell« ist der Strom wirklich. Mit seiner Leistungsfähigkeit hat dies jedoch rein gar nichts zu tun! Angenommen, es gäbe keinen Kurzschluss-Schutz, würde eine Sekunde Kurzschluss-Strom ausreichen, um die Leitung gleichzeitig in ihrem gesamten Verlauf in Brand zu setzen.

Dagegen nimmt sich das Wasser doch ausgesprochen harmlos aus. Stiege dessen Strömungs-Geschwindigkeit beim größten anzunehmenden Leck lediglich auf 0,05 m/s, würde es doch deutlich länger als eine Sekunde dauern, ehe Wasserschäden bis hin zu gefährlichen Personenschäden – etwa durch Ertrinken – einträten.

Weiter gehende Vergleiche zwischen Wasser- und Stromkreislauf sollte man daher unterlassen, denn die Vergleichbarkeit trägt nicht weit. Wasser hat im Unterschied zu elektrischem Strom sehr wohl eine nennenswerte Massenträgheit, und einen geschlossenen Kreislauf benötigt es auch nicht unbedingt, sondern kann auch von hier nach dort fließen, dort verweilen und sich ansammeln. Zudem leckt es gleich aus jeder undichten Stelle des Rohres heraus, während selbst ein so genannter Leckstrom – wie jeder elektrische Strom – einen vorgefertigten Rückweg vorfinden muss, sonst fängt er gar nicht erst an zu fließen. Davon kann der Wasserrohr-Installateur nur träumen.

2 Bedeutung für die Anwendung

Bedauerlicherweise haben Strom und Zeit eines gemeinsam: Zeit lässt sich nicht lagern – Strom auch nicht. »Strom« soll hier – im Gegensatz zum voran gegangenen Abschnitt – vorerst im umgangssprachlichen Sinn als »elektrische Energie« verstanden werden (und nicht als die bisher behandelte, in Ampere [A] gemessene Stärke des dabei fließenden Elektronenstroms). Für den Physiker ebenso wie für den Techniker ist dies natürlich nur ein Teil der Wahrheit. Dazu gehören noch die Faktoren »Spannung« und »Zeit«, ehe daraus Energie wird (Energie ist Leistung mal Zeit, und die elektrische Leistung errechnet sich aus Spannung mal Strom). So gesehen lässt sich Strom gerade so gut lagern wie Zeit, denn die ist hinterher immer vergangen – egal, wie man sie verbraucht hat, genutzt oder ungenutzt. Elektrische Energie hat etwas von einer Sternschnuppe: »Ach, jetzt nicht; ich sehe sie mir morgen an«, das läuft nicht. Wenn man eine riesengroße Fotovoltaik-Anlage aufbaut und die Presse schreiben lässt »...erzeugt [im Sommer] so viel Energie wie x-1000 Haushalte [aber leider vorwiegend im Winter] verbrauchen«, hilft das nicht so viel wie es den Anschein hat. Auch wenn die Anlage am Tage so viel elektrische Energie erzeugt wie die Haushalte nachts verbrauchen, hilft das noch ebenso wenig. Kohle, Gas und Öl lassen sich auf Halde legen; elektrische Energie nicht. Wasser lässt sich in Stauwasserkraftwerken durch einen Staudamm in beträchtlichen Mengen aufstauen; in Laufwasserkraftwerken, die nur über ein Stauwehr verfügen, dagegen nicht.

3 Anwendung des elektrischen Stroms und elektrischer Energie

Elektrischer Strom wird für zwei grundverschiedene Dinge genutzt:

- Zur Übertragung und Verteilung von Energie,
- zur Übertragung und Verarbeitung von Signalen, Daten, Nachrichten und Informationen.

Hier ist vom erstgenannten Bereich die Rede – auch wenn dieser heute oftmals als etwas altbacken, herkömmlich und traditionsgeprägt angesehen wird. Er erfordert hohe Spannungen und starke Ströme, denn die übertragene Leistung errechnet sich aus Spannung mal Strom. Wie die Spannung diesen Strom dorthin zum Fließen bringt, wo die Energie gebraucht wird, ist und bleibt aber eine spannende und vielseitige Geschichte.

Der zweite Bereich macht in den letzten Jahrzehnten zusehends mehr von sich reden und gilt als modern, wachstumsorientiert, zukunftsfruchtig und wimmelt von Innovationen («Digitalisierung»). Dabei ist dies das ältere, das erste Anwendungsgebiet der Elektrizität überhaupt. Es begnügt sich mit kleinen, kleinsten, teilweise winzigen Spannungen und Strömen, doch auch die müssen erst einmal bereit gestellt werden. Ohne »Saft« läuft gar nichts. Dabei ist es gerade die elektronische Übertragung und Verarbeitung von Daten und Nachrichten, die zwar »Saft zieht«, aber gleichzeitig die Versorgung mit demselben am Laufen hält und seinen Einsatz optimiert. Damit sich die Zuwachsraten beim Bedarf nach elektrischer Energie auch nur halbwegs im Rahmen (z. B. des Kyoto-Protokolls) halten, ist eine Optimierung der Effizienz nicht nur in den Anwendungen, sondern auch in den Anlagen zur Erzeugung, Übertragung und Verteilung dringend erforderlich – wobei die Fachwelt einen deutlichen Unterschied zwischen Übertragungsnetzen und Verteilnetzen macht. Auf die Übertragungstechnik wird in unserer Schrift über das [Verbundnetz](#)³ eingegangen; hier soll es um das letzte Ende der Verteilnetze gehen: Die Verteilung im Gebäude.

4 Verteilung elektrischer Energie: Sicher ist sicher

Während elektrische Signale heute zunehmend durch optische Fasern oder drahtlos übermittelt werden, lässt die drahtlose Energie-Übertragung noch auf sich warten. Wo etwas anderes behauptet wird, ist dies doch durchweg irgendwo zwischen [Schabernack und Scharlatanerie](#) einzuordnen.⁴ Vielmehr muss die elektrische Energie innerhalb des Gebäudes über die so genannten Endstromkreise noch bis an die zahlreichen Einsatzorte fortgeleitet werden. So leicht ersetzt man keinen massiven Kupferleiter.

Das heißt: Zur Verfügung gestellt wird zunächst einmal die Spannung. Das ist der Druck in der Stromleitung. Ein Stromfluss wird daraus erst, wenn der Mensch oder ein Automatismus im angeschlossenen Gerät den Schalter schließt, also eine leitfähige Verbindung zwischen Hin- und Rückleitung des Stroms herstellt, so wie auch die Wasserleitung ständig unter Druck steht, Wasser aber nur fließt, wenn man den Hahn öffnet. Ein Schalter kann allerdings (fast) genau so gut in der Rückleitung des Stroms wie in seinem Hinweg angeordnet sein, wohingegen der Stöpsel in der Badewanne das Wasser nicht am Fließen und die Wanne auch nicht am Überlaufen hindert – eher im Gegenteil! Damit ist schon wieder der Punkt erreicht, an dem die Tragweite des Vergleichs zwischen Wasserstrom und Elektronenstrom endet. Mit dem Sprachgebrauch fängt es bereits an aufzuhören:

- Wasserhahn offen: Wasser fließt.
- Wasserhahn geschlossen: Kein Wasser fließt.

Aber:

- Schalter offen: Kein Strom fließt.
- Schalter geschlossen: Strom fließt.

Auch dient die Wasserleitung zur Versorgung mit Wasser und nicht zur Übertragung der Bewegungsenergie, die für den Wasserfluss natürlich nebenbei auch erforderlich ist (im Gegensatz zum Wasserkraftwerk, doch das ist ein anderes Thema). Umgekehrt dient die Stromleitung nicht der Versorgung mit Elektronen, die dann vom Verbraucher in irgendeiner Form verbraucht werden. Auch baden kann man darin nicht – schon deshalb nicht, weil sie sich nicht vorübergehend in eine Wanne füllen lassen. Vielmehr sollen die Elektronen Energie übertragen und müssen hierzu umgehend wieder dorthin zurück fließen, woher sie gekommen sind. Wenn diese Möglichkeit fehlt, verweigern sie die Rundreise von vornherein.

Hier soll es jetzt um die Verteilung elektrischer Energie im Gebäude gehen – und da steht die Sicherheit an erster Stelle, denn elektrischer Strom kann prinzipiell sehr schnell gefährlich werden. Dabei sind zwei Dinge zu unterscheiden:

4.1 Grundzüge des Schutzes gegen Stromschlag

Zum einen reagiert der menschliche Körper empfindlich auf Durchströmung. Prinzipiell können Ströme ab 50 mA tödlich wirken. Nun ist der menschliche Körper aber zum Glück auch kein sonderlich guter Leiter. Sein Widerstand hängt in entscheidender Weise von der Beschaffenheit der Kontaktflächen ab. Der elektrische Widerstand ist dabei als das Verhältnis von Spannung zu Strom definiert: Wie viel Spannung ist nötig, um durch ein Element (ein Verbrauchsmittel, eine Leitung, einen menschlichen Körper) einen Strom von 1 A zu »drücken«? Sind die Kontaktflächen klein oder groß, trocken oder nass? Wie auch immer – nimmt man an, der menschliche Körper habe einen elektrischen Widerstand von $1000\ \Omega = 1\ \text{k}\Omega$, so ist eine Spannung von mindestens 50 V erforderlich, um einen Strom von 50 mA durch den Körper zu treiben. Was darunter liegt, bezeichnet man als »Schutzkleinspannung«. Diese darf also ungestraft angefasst werden. Eine Ausnahme bildet eine »sehr nasse« Umgebung wie die Badewanne oder ein Schwimmbecken. Hier liegt die Grenze bei nur 12 V.

4.1.1 Ist Niederspannung gefährlich?

Ups – ja! Für den Elektriker ist alles »Niederspannung«, was sich oberhalb der Schutzkleinspannung – also ab 50 V – im Bereich bis 1000 V abspielt! Erst dort beginnt die »Mittelspannung«, die bis 72,5 kV reicht. Von dort bis 125 kV spricht man von »Hochspannung« und darüber hinaus von »Höchstspannung«⁵ (die gab es vor Jahrzehnten noch nicht; daher das Wort-Ungetüm).

Aber nicht erst dort wird es höchst spannend! Wir wissen alle, dass an und mit der üblichen Gebrauchsspannung von 230 V schon tödliche Unfälle möglich sind. 34 Mal ereignete sich ein solches Unglück in Deutschland im Jahr 2016. Das sind schon 34 Fälle zu viel, aber im Straßenverkehr sind 100 Mal so viele Opfer zu beklagen. Dies relativiert vielleicht die Gefahr ein wenig, legt aber vor allem beredtes Zeugnis davon ab, dass Technik, Normen und Gesetze heute für einen sehr weitgehend sicheren Gebrauch der Elektrizität sorgen; lag doch die Zahl 1968 noch fast 10 Mal so hoch! Bei Betrachtung der Entwicklung (Bild 2) fällt noch nicht einmal auf, dass die Zahlen bis 1990 für Westdeutschland, danach für ganz Deutschland gelten.



Bild 1: Weit verbreitete Steckernetzgeräte liefern Kleingleichspannung (Schutzklasse III, hier 12 V) über einen angebauten Euro-Stecker (Schutzklasse II) aus der Steckdose (Schutzklasse I)

Man unterscheidet in der Elektrotechnik drei Schutzklassen nach der Art, wie der Schutz vor elektrischem Schlag sicher gestellt wird:



Bild 2: Niederspannung, Low voltage, Tension basse, Laagspanning – das klingt alles so niedrig, reicht aber fachsprachlich bis 1000 V Wechselfspannung oder 1500 V Gleichspannung!

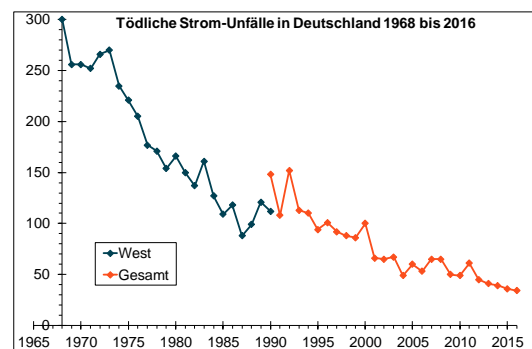


Bild 3: Von 300 auf 34 tödliche Unfälle im Jahr trotz zunehmenden Gebrauchs elektrischer Geräte – wenn das kein Erfolg ist!

- **Schutzklasse I:** Schutz durch Erdung und Potenzialausgleich. Jedes berührbare, elektrisch leitfähige Teil, das nicht Teil des Stromkreises ist, wird leitfähig mit Erde verbunden, so dass es kein gefährliches Potenzial gegenüber der umgebenden Erde annehmen kann. Bei elektrisch leitfähigen Komponenten, die Teile des Stromkreises darstellen, wird selbstverständlich vorausgesetzt, dass sie nicht berührbar sind – oder aber kein nennenswertes Potenzial gegen Erde annehmen können, auch nicht im Falle eines nie ganz sicher vermeidbaren Fehlers.
- **Schutzklasse II:** Schutzisolierung. Das Betriebsmittel hat überhaupt keine elektrisch leitfähigen Teile, die berührbar sind (das Gehäuse besteht beispielsweise komplett aus Kunststoffen), oder es verfügt über doppelte oder verstärkte Isolierung gegenüber den Spannung führenden Teilen.
- **Schutzklasse III:** Verwendung ungefährlicher Schutzkleinspannung.



Bild 4: Vorgefunden in einem Ferienhaus in den Niederlanden 2012: Steckdose der Schutzklasse II, darin ein Verbrauchsmittel der Schutzklasse I – aber der Schutzkontakt des Steckers hängt dann in der Luft: Unverantwortlich!



Bild 5: Noch 2007 als fabrikneue Ware aus der Türkei angeboten auf einer Messe in Kiew: Verlängerungen und Verteiler der Schutzklasse II, in die sich Stecker der Schutzklasse I einstecken lassen – unverantwortlich!

Davon hat sich die Schutzklasse II mit der Zunahme der Kunststoffgehäuse seit langer Zeit schon sehr verbreitet. Alle Geräte mit Euro-Stecker arbeiten so – oder zumindest sollte das so sein. Der Euro-Stecker ist jedoch nur bis 2,5 A belastbar (statt bis 16 A wie der übliche »Schuko-Stecker«), was seine Verbreitung einschränkt.

Die Schutzklasse III ist nur auf Geräte kleiner Leistung anwendbar, denn Leistung ist Spannung mal Strom, und wenn man die Spannung aus Sicherheitsgründen schon auf 50 V begrenzt, sind auch der Leistung engere Grenzen gesetzt als bei 230 V. Zudem muss die Schutzkleinspannung – meist Gleichspannung – in aller Regel erst aus der Netzwechselspannung umgewandelt werden. Stammt die Schutzkleinspannung aus einem Akkumulator, so muss der Akku auf entsprechende Weise aufgeladen werden. Meist geschieht dies durch

kleine, handliche Steckernetzgeräte (Bild 3), die in einem Stecker eingebaut sind und so den »Kabelsalat« etwas reduzieren. Der Nachteil ist, dass diese Wandler aktiv bleiben, solange der Stecker eingesteckt ist – auch, wenn die Last ausgeschaltet oder gar nicht angeschlossen ist – und dann einen gewissen Leerlauf-Verbrauch aufweisen. Das wird vom Nutzer nicht bemerkt, doch haben Aufklärung und EU-Verordnungen diese Leerlauf-Verbräuche heute auf ein Maß reduziert, das zumeist keine Aufregung mehr lohnt. 0,5 W sind erlaubt, doch misst man meist Werte um 0,2 W bis 0,3 W. Auch Brandschäden durch defekte Geräte sind – anders, als man vielleicht annehmen sollte – sehr selten, obwohl der Einsatz solcher Steckernetzgeräte mit den elektronischen Kleingeräten rasant zunimmt. Dabei konnte der Energieverbrauch der einzelnen Geräte jedoch gleichzeitig drastisch gesenkt werden. Selbst Leuchten werden heute im Zeitalter der LED zusehends häufiger aus Spannungsquellen mit nur 5 V oder 12 V gespeist.

Nichtsdestoweniger wird bis zur Steckdose **grundsätzlich immer** in Schutzklasse I verdrahtet (ein paar traurige Ausnahmen bestätigen die Regel: Bild 4, Bild 5). Der damit zwangsläufig verbundene Potenzialausgleich bedeutet, dass alle elektrisch leitfähigen Bauteile, die nichts mit der Elektrik zu tun haben, dennoch untereinander und mit einem Pol der Stromversorgung verbunden werden. Meist ist dieser Pol dann auch noch geerdet, was wörtlich gemeint ist: Einige 10 Meter Metallband werden jeweils in der Erde vergraben, um eine (einigermaßen) leitfähige Verbindung zum Erdreich herzustellen. Von der Schutzklasse-I-Steckdose aus kann man – z. B. über einen Euro-Stecker – jederzeit auf die Schutzklasse II übergehen und dann weiter auf die Schutzklasse III (Bild 3). Umgekehrt geht es aber nicht! Und elektrische Großgeräte – insbesondere, wenn sie mit Wasser zu tun haben, wie Waschmaschinen, Spülmaschinen oder Wasserkocher – verlangen nach der Schutzklasse I. Man soll hierzulande überall alles anschließen können und auch gefahrlos dürfen, was man möchte! Dies aber erfordert etwas mehr Kupfer:

4.1.2 Aller guten Leiter sind drei

In der Schule haben wir gelernt, dass sich der elektrische Strom immer nur in einem geschlossenen Kreislauf bewegen kann. Er fließt nirgendwo hin, wo er nicht schon einen vorgefertigten Rückweg antrifft. Betrachten wir eine Stromleitung in unserer Wohnung, so finden wir dort aber meist *drei* Leiter vor (Bild 6). Wozu ist denn nun der dritte Draht gut?

Dieser soll eingreifen, wenn ein Elektrogerät mit einem Metallgehäuse defekt ist. So könnte es etwa sein, dass bei einem Toaster der Heizdraht durchbrennt und eines der beiden entstandenen Enden sich aufbiegt und das Gehäuse berührt. Handelt es sich um das Ende, durch das der Strom zuletzt abfließt (blauer Draht in Bild 6), also dasjenige, das mit dem Rückleiter verbunden ist (wenn der Stecker noch in der Steckdose steckt), dann passiert gar nichts – auch der Toaster toastet nicht mehr. Handelt es sich aber um das andere, durch das der Strom kam (schwarzer Draht in Bild 6), dann toastet der Toaster zwar auch nicht – doch steht nun das gesamte Gehäuse unter Spannung! Die elektrische Spannung staut sich gleichsam vor der Unterbrechung wie ein Verkehrsstau an einer Unfallstelle.

Fasst nun jemand das Gehäuse des defekten Gerätes an, schließt sich der Stromkreis mehr oder weniger wieder. Je nach dem, wie gut die Schuhe und der Fußboden isolieren, ist es möglich, dass der Mensch überhaupt nichts spürt – aber wehe, er fasst zufällig im selben Moment mit der anderen Hand an den Wasserhahn oder die Heizung! Die metallenen Rohre sind irgendwo im Gebäude auch geerdet – und also mit dem Rückleiter der Stromversorgung verbunden. So schließt sich der Stromkreis auf unglückselige Weise.

Das darf nicht passieren! Deswegen wurde der dritte Leiter eingeführt und »Schutzleiter« genannt (gelb-grün im Bild 6). Er wird an das metallene Gehäuse angeschlossen und führt

überhaupt keinen Strom, solange alles in Ordnung ist. Er ist so etwas wie der Standstreifen auf der Autobahn, der im ungestörten Betrieb keinen Verkehr führt (auch laut StVO nicht führen darf). Der Schutzleiter ist im Sicherungskasten mit dem Rückleiter der Stromversorgung verbunden und bietet für den Fehlerfall eine Ausweichstrecke an: Falls zusätzlich eine fehlerhafte Verbindung zwischen dem Spannung führenden Leiter und dem Metallgehäuse auftritt, dann stellt dies einen Kurzschluss dar. »Kurzschluss« bedeutet – ganz wörtlich zu nehmen – dass der Strom einen wesentlich kürzeren Weg zurück zur Quelle gefunden hat als den mühsamen durch den Verbraucher (während Laien zumeist jede Form elektrischer Fehler als »Kurzschluss« bezeichnen). Wegen des geringeren Widerstands dieser Abkürzung wird die vorhandene Spannung einen sehr viel größeren Strom zum Fließen bringen als hier fließen darf. Dann rumpst es einmal kurz im Sicherungskasten, und die Sicherung bzw. der »Leitungsschutzschalter« unterbricht sofort den Strom. Damit ist auch die gefährliche Spannung vom Gehäuse des Toasters weg.

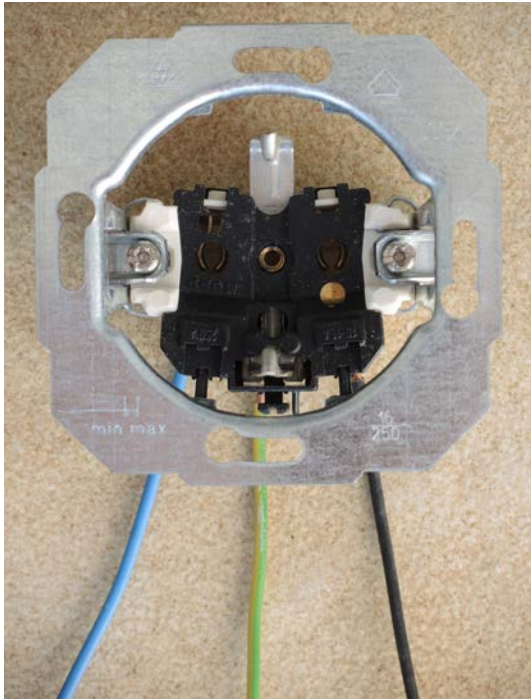


Bild 6: Schwarz, blau, gelb-grün: Hinweg, Rückweg und ... ?



Bild 7: So nicht! Gefunden in einem Hotel in Deutschland 2020: Der Halter für den Föhn ist über einen Euro-Stecker angeschlossen, der durch den Föhn um ein Mehrfaches überlastet wird, und wenn **dieser** Föhn ins Wasser fällt, löst **kein** Fi-Schalter aus – unverantwortlich!

Früher hat man die Verbindung des Schutzleiters mit dem Rückleiter erst in der Steckdose hergestellt; vom Sicherungskasten bis hierhin wurden nur zwei Drähte (Hin- und Rückleiter) gezogen. Nun kann man zwar bei fest angeschlossenen Betriebsmitteln (z. B. Leuchten) dafür Sorge tragen, dass der Schalter stets in der Zuleitung angeordnet ist. Leider aber kann man unsere deutschen Stecker umdrehen. So kann es sein, dass die Rückleitung geschaltet wird, die Spannung also **zuerst** am Betriebsmittel ankommt und **erst danach** zum Schalter gelangt. Ist der Schalter aus, so ist dem Strom der Rückweg abgeschnitten, und er fließt nicht: Schalter aus – Gerät aus. Bei einem Defekt kann jedoch trotzdem das Gehäuse unter Spannung stehen! Berührt nichts und niemand den schadhaften Toaster, so »passiert nichts«; es bemerkt aber auch niemand den Defekt, bis jemand den Toaster anfasst. Das ist aber zu spät! Der Leitungsschutz löst nicht aus, weil der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers viel größer ist als der eines Kupferdrahtes. Niemals wird hierdurch ein Strom über 16 A zum Fließen kommen; über 50 mA dagegen schon!

Strom und Elektrizität –
Wie kommt der Strom in die Steckdose?

Der dritte Leiter verhindert auch dies – wenn eine »Fehlerstrom-Schutzeinrichtung« – umgangssprachlich »Fi-Schutzschalter« oder kurz »Fi-Schalter« genannt – installiert ist. Ein solches Gerät erkennt, wenn auf dem Rückleiter ein Teil des Stroms fehlt, der über den Hinleiter fließt. Dieser Strom muss irgendeinen anderen Rückweg als den Rückleiter gefunden haben – nämlich den über den Schutzleiter. Dann schaltet der Fi-Schalter die Versorgung ab, sobald ein Stromwert erreicht wird, der für einen möglicherweise im Stromkreis hängenden Menschen gefährlich werden kann.

Der dritte Leiter war bis 1973 noch rot und seine Anwesenheit nicht obligatorisch. Heute ist er gelb-grün (der einzige mehrfarbige Leiter in der Hausstromversorgung, so dass ihn selbst Farbenblinde erkennen können) und **muss** seit 1974 in jeder Verteilung vorhanden sein.



Bild 8: Dieser »Aardlek-Schakelaar« in einem niederländischen Ferienhaus kann Ströme bis 40 A abschalten – und das tut er spätestens dann, wenn zwischen Hinweg und Rückweg des Stroms eine Differenz von 0,03 A auftritt



Bild 9: Beispiel einer kombinierten Fehlerstrom- und Überstrom-Schutzeinrichtung (Werksfoto Doepke)

Seit etwa 1984 ist es außerdem allgemein übliche Praxis, einen Fi-Schalter im Verteilerkasten einzusetzen (Bild 9). Gefordert wird dies jedoch nur bei neuen Anlagen und bei »wesentlichen« Erweiterungen und Renovierungen. Alte Anlagen sind durch den fragwürdigen »Bestandsschutz« gleichsam vor jeder Verbesserung geschützt, da sie nur der zur Zeit ihrer Errichtung gültigen Norm entsprechen müssen. Spätere Verbesserungen der Normen dürfen ignoriert werden – denn Geiz ist geil.

Besser wäre es aber, alte und insbesondere sehr alte Anlagen, von denen man im Bestand noch viel zu viele vorfindet, auf neuesten Stand zu bringen, mit 3 Leitern auszustatten – und hierbei gleich alle modernen Wünsche und Anforderungen nach allgegenwärtiger Verfügbarkeit elektrischen Stroms zu erfüllen. Ohne den dritten Leiter ist der Einsatz eines Fi-Schutzschalters und damit die Umsetzung eines wirksamen Personenschutzes nicht möglich. Einen Föhn mit einer Anschlussleitung von $2 \cdot 0,75 \text{ mm}^2$ anzuschließen, die nur für 2,5 A zugelassen ist, statt $3 \cdot 1,5 \text{ mm}^2$ zu verwenden, wie sich das für einen Haartrockner gehört hätte, der gut 6 A aufnimmt, ist versuchte fahrlässige Brandstiftung (Bild 7)! Regierung hin, Opposition her – wer auf Nummer Sicher gehen will, wählt eine gelb-grüne Leitung zusätzlich.

4.1.3 Erdverbunden

Wie ausgeführt, wird normalerweise ein Pol unserer Stromversorgung zum einen in der Trafostation an der Straßenecke, ein zweites Mal beim Eintritt in ein Gebäude geerdet (Bild 10, Bild 11). In etwa 15% der deutschen Niederspannungsnetze wird die Erdung noch nicht einmal mit dem Rückleiter des Netzes, sondern **nur** mit dem Gehäuse des Transformators auf der Speiseseite bzw. der Beton-Armierung des Gebäudes auf der Verbraucherseite verbunden. Die Erdverbindung zwischen Einspeisung und Verbraucher läuft dann ausschließlich durch das Erdreich. Nicht, dass deswegen gleich das Erdreich den Rückleiter ersetzen und so einen Leiter einsparen könnte – dafür ist die Leitfähigkeit dessen, was der Elektrotechniker gemeinhin als »Erde« bezeichnet, zu schlecht (siehe Tabelle 1 in der [Schrift zu den Leiterwerkstoffen](#))². Das funktioniert nur z. B. bei der [Eisenbahn](#), wo der (auf der Erde liegende) Fahrweg aus massivem Metall besteht,² oder in der Nachrichtentechnik, wo nur sehr kleine Ströme unterwegs sind – aber auch dort aus Gründen der [elektromagnetischen Verträglichkeit](#)⁶ nur unzureichend. Ein Fehlerstrom wird kaum jemals so groß werden, dass ihn der Kurzschluss-Schutz abschaltet. Ein Fi-Schalter – mindestens einer – ist hier nicht nur empfohlen, sondern vorgeschrieben.



Bild 10: An der »Potential-Ausgleichsschiene« treffen sich ...



Bild 11: ... der eigentliche Erder und alles, was im Gebäude geerdet werden soll

Gewöhnlich wird für die Erdung verzinkter Stahl eingesetzt – doch Stahl rostet, ob nun blank oder verzinkt. Soll die Erdung so lange vorhalten, wie das ganze Gebäude besteht, sollte man lieber Kupfer einsetzen (Bild 12, Bild 13); die Normen empfehlen dies.



Bild 12: Dauerhaft ist eine Erdung nur mit Kupfer

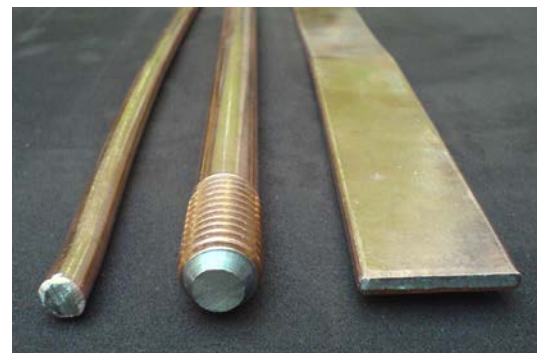


Bild 13: Wird Stahlband eingesetzt, so sollte es zumindest verkupfert sein

In besonderen Fällen bildet man auch Netze ganz ohne Erde. Hier lässt sich *eine* Ader gestrost anfassen, denn hierdurch schließt sich noch kein Stromkreis. Auch der Vogel, der sich auf eine 380 kV gegen Erde führende Höchstspannungsleitung setzt, lebt dort froh und wohlgenut, solange er **nur** diese Leitung und **nicht** die Erde (oder die benachbarte Leitung) gleichzeitig berührt. Auch Eisenbahnschienen elektrifizierter Strecken darf man ungestraft berühren (solange kein Zug kommt), obwohl hierüber der Strom zurück fließt, den die Lokomotive aus dem Fahrdraht entnimmt.

4.2 Grundzüge des Brandschutzes

Elektrizität ist nützlicher und vielseitiger als jede andere Form von Energie, doch sie kann auch brandgefährlich werden. In der Elektrotechnik unterscheidet man zwei verschiedene Gründe, die zu Überhitzung von Stromleitungen führen können. Entsprechend muss in einer Verteilungs-Anlage zweierlei in jeweils den Umständen angemessener Dimensionierung vorgesehen sein: Der Schutz bei Kurzschluss und der Schutz vor Überlast. In den Endstromkreisen – d. h. Steckdosen und Lichtauslässe – einer Wohnung oder z. B. eines Büros erledigt beides zusammen der Alleskönner Leitungsschutzschalter. Vor dessen Erfindung wurden meist Sicherungen (formal elektrotechnisch »Schmelzeinsätze«) verwendet, aber diese sind nach einmaligem »Abschalten« (formal elektrotechnisch heißt auch das hier so) durchgebrannt und unbrauchbar. Wenn dann der Fehler behoben, aber keine Ersatzsicherung zur Hand war, blieb es dunkel – und Wertstoffe (Silber!) enthaltender Müll fiel auch noch an. Das war nicht so gut. Die Leitungsschutzschalter schaltet man einfach wieder ein. Sie werden in großer Vielfalt von vielen Herstellern angeboten (Bild 14, Bild 15) – für verblüffend wenig Geld, wenn man bedenkt, was ein solches sicherheitsrelevantes Bauteil leisten muss:

4.2.1 Schutz bei Kurzschluss

In der Tagespresse und im alltäglichen Sprachgebrauch wird oft jede Störung der Stromversorgung als »Kurzschluss« bezeichnet. Für Elektrofachkräfte ist aber der Kurzschluss nur *einer* mehrerer möglicher Fehler. Ein Kurzschluss ist, wie der Name sagt und wie schon beschrieben (Abschnitt 1.1.4), ein – in diesem Zusammenhang stets ungewolltes – Vorbeifließen des Stroms an der Last über eine nahezu widerstandslose Abkürzung. Der Strom wird dann fast nur noch durch den inneren Widerstand der speisenden Quelle und die Widerstände des Leitungsnetzes begrenzt, und die sind in der Regel sehr gering. Der Strom steigt also schlagartig auf ein Zig-Faches des Werts an, für den die betroffene Verteilungs-Anlage bemessen ist – und dann nimmt die in der Leitung erzeugte Wärmeleistung auch noch mit dem Quadrat der Stromstärke zu! Deswegen würde der Kurzschluss-Strom, der von etwa 600 A bis maximal 6000 A (6 kA) reichen kann (Bild 15), die Leitung in weniger als einer halben Sekunde (500 ms) in ihrem gesamten Verlauf sofort in Brand setzen. Der Leitungsschutzschalter bzw. die Schmelzsicherung muss also weitaus schneller reagieren. Weniger als 20 ms reichen aus – und das wird noch vergleichsweise locker unterboten.

Sollte das Schutzorgan doch einmal versagen, so spricht das nächsthöhere an, z. B. die »Zählervorsicherung« im Zählerkasten – zwar erst bei 35 A oder 63 A, aber im Falle des noch viel höher liegenden Kurzschluss-Stroms immer noch schnell genug. Versagt diese Sicherung auch, so findet sich im Haus-Anschlusskasten die nächste (z. B. 125 A, je nach Größe des Gebäudes). Funktioniert aber der Leitungsschutzschalter ordnungsgemäß, so reagieren die vorgelagerten Sicherungen nicht, so dass durch den Fehler nicht mehr »dunkel wird« als nötig, denn das kleinste Schutzorgan reagiert am schnellsten. Das nennt sich »Selektivität«.

Auf Grund dieses gestaffelten Aufbaus brennen so wenige Häuser ab, obwohl ein Kurzschluss nie ganz ausgeschlossen werden kann. Mit Bedacht sprechen die VDE-Bestimmungen vom »Schutz *bei* Kurzschluss« und nicht vom »Schutz *vor* Kurzschluss«, denn einen absoluten Schutz hiervor kann es nicht geben! Es gilt, einen Schutz aufzubauen, der beim Auftreten eines Kurzschlusses das Eintreten von Katastrophen sicher verhindert. Das ist gewährleistet, wenn man die VDE-Bestimmungen einhält statt etwa am Kupfer zu sparen und Leitungen zu verlegen, die vielleicht in der Lage sind, die angeschlossenen Lasten zu versorgen, aber zusammen mit dem vorhandenen Schutz dennoch keinen Kurzschluss überstehen.



Bild 14: Ein üblicher Leitungsschutzschalter für die Wohnraum-Installation lässt einen Laststrom von (gut) 16 A zu



Bild 15: Er muss Ströme bis zu 6 kA abschalten können

4.2.2 Schutz vor Überlast

Ein anderes Thema ist der Überlastschutz: Wie viele Geräte kann man denn an einen Stromkreis anschließen, ohne ihn zu überlasten? Was, wenn das doch geschieht? Oftmals wird hier mit der Anzahl der Geräte argumentiert – »zu viele« an einem Stromkreis. Dabei kommt es überhaupt nicht auf die Anzahl der Geräte an. Eine Waschmaschine und ein Wäschetrockner wären zusammen schon zu viel. Deswegen finden sich in modernen Waschküchen – ab etwa Baujahr 1980 – nicht weniger als drei Stromkreise, die alle separat mit 16 A abgesichert sind: Einer speist nur die eine Steckdose für die Waschmaschine, der zweite nur die eine Steckdose für den Wäschetrockner und der dritte den Rest, also das Licht und alle anderen Steckdosen, sofern vorhanden.

Ein mit 16 A abgesicherter Stromkreis könnte aber 600 Handy-Akkus gleichzeitig aufladen. Der Einsatz der dazu notwendigen Anzahl Tischverteiler ist auch kein elektrisches Problem, sondern vielmehr ein Arsenal von Stolperfallen. Jeder solche Verteiler muss für eine Belastung von 16 A ausgelegt sein, müsste also die gesamte Last allein tragen können, sonst hat man Schund gekauft, gegen den man ggf. mit rechtlichen Schritten vorgehen kann.

Solcher Schund lässt sich aber mit einer einzigen Waschmaschine oder Spülmaschine ganz genau so überlasten wie mit 600 Handy-Ladegeräten. Entscheidend ist der in der Summe von allen angeschlossenen Geräten gleichzeitig aufgenommene Strom, und der wird jeweils auf jedem Gerät angegeben. Ist der Strom nicht angegeben, so findet man zumindest die Leistung, die man dann nur noch durch 230 V teilen muss, um auf den Strom zu kommen.

4.2.3 Rundum-Schutz: Leitungsschutzschalter und Schmelzsicherungen

Der Leitungsschutzschalter ist zum Schutz der Leitung bei Kurzschluss mit einer sehr flinken elektromagnetischen Auslösung versehen (Bild 16), die jedoch nur bei erheblicher Überschreitung des Nennstroms anspricht (Bild 17). Wie viel »erheblich« ist, gibt die so genannte Charakteristik an. Etwa bei einem Hausautomaten, der zumeist die Charakteristik B aufweist, wird die magnetische Auslösung erst oberhalb vom 2,5-Fachen des Bemessungsstroms aktiv. Der 16-A-Automat löst also erst ab 40 A magnetisch – das heißt schnell – aus. Darunter schützt die thermische Auslösung die zu schützende Leitung vor Überlastung. Dazu dient ein Bimetallstreifen, der vom Stromdurchgang erwärmt wird.

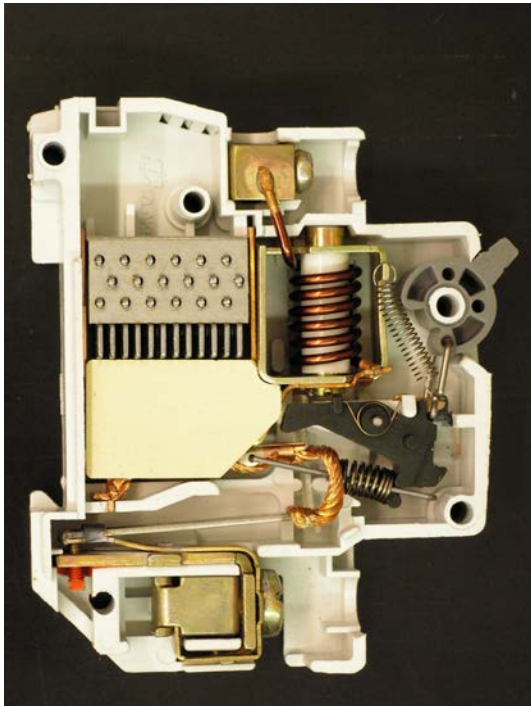


Bild 16: Innenleben eines Leitungsschutzschalters: Kombiniertes Überlast- und Kurzschluss-Schutz

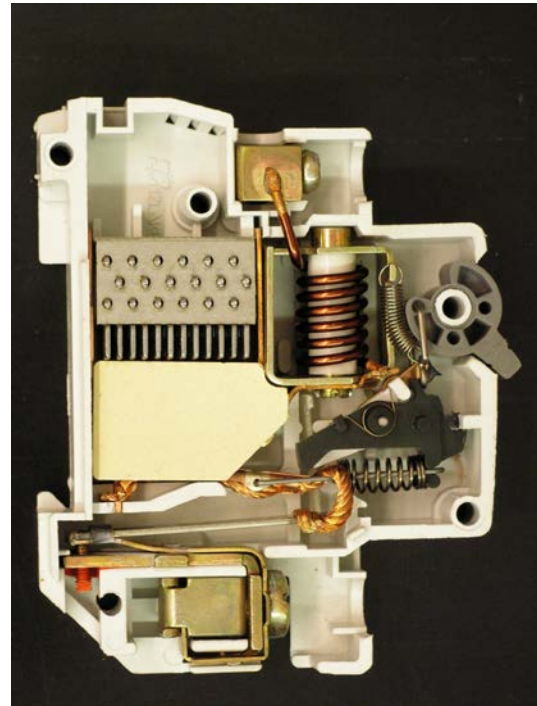


Bild 17: Nach längerer geringfügiger Überschreitung des Bemessungsstroms löst ein Bimetall den Schalter aus; bei krasser Überschreitung reagiert sofort eine Magnetspule

Doch hier gelten relativ weite Toleranzgrenzen. Die Norm gibt vor, dass ein Leitungsschutzschalter – und ganz ähnlich auch eine Schmelzsicherung – zwischen dem 1,1-Fachen und dem 1,45-Fachen des Bemessungsstroms auslösen muss. Tatsächlich können der Schalter und damit die angeschlossene Leitung also mindestens bis 17,6 A belastet werden. Wirklich zwingend kommt es erst ab 23,2 A zur Abschaltung – und auch das kann bis zu einer Stunde dauern. Dies bildet das Verhalten der angeschlossenen Leitung ab, die sich schließlich bei geringer Überlast auch nur langsam erwärmt, und eine gewisse Reserve ist außerdem vorhanden. Zudem würde eine geringfügige Überschreitung der zulässigen Temperatur nicht unmittelbar zu Schäden, Ausfällen oder Gefahren führen, sondern lediglich die Alterung der

Leitungen beschleunigen. In der Praxis wird aber davon ausgegangen, dass solch hohe Auslastungen im Haushalt nur selten und dann nur kurzzeitig vorkommen.

Wenn sich zwei Damen ein Hotelzimmer teilen, das – wie üblich – über nur einen 16-A-Stromkreis versorgt wird, und sich gleichzeitig die Haare trocknen, geht das gerade noch. Beim dritten Föhn wird es kritisch – aber ob die drei Haartrockner an drei vom selben Stromkreis gespeisten Steckdosen laufen oder in Ermangelung der zweiten und dritten Steckdose mittels Verteiler an einer einzigen Steckdose betrieben werden, spielt aus elektrotechnischer Sicht keine Rolle. Die Abschaltung muss so oder so jetzt – nicht früher und nicht später, sondern jetzt – erfolgen, um eine brandgefährliche Situation zu vermeiden. Ob die Damen über ihre Verlängerungsschnüre stolpern und auf diese Art in eine gleichwohl gefährliche Situation geraten, ist unabhängig davon, ob daran Haartrockner oder Smartphones betrieben werden, und allenfalls eine Frage des Knauserns mit Kupferdrähten beim Bauen und Renovieren, nicht des elektrischen Schutzes der bestehenden Leitungen.

4.2.4 Neu: Schutz vor seriellen Lichtbögen



Bild 18: Drastische Darstellung der Folgen eines netzparallelen Lichtbogenfehlers in der Bildungsstätte Dresden der Berufsgenossenschaft

Ein Lichtbogen ist gleichsam ein dauerhafter Funke. Die kleinen in Abschnitt 1.1.1 und die großen in Abschnitt 1.1.3 beschriebenen »Überschläge« sind praktisch nur Funken: Etwas entlädt sich, und innerhalb von Mikrosekunden ist die Ladung weg. Wenn aber aus einem Stromnetz nach einer solchen »Initialzündung« weiterhin Spannung und Strom nachgeliefert werden, gewinnt die Luft ihre isolierende Eigenschaft nicht zurück, und der Strom fließt weiterhin durch die Luft. Eine Spannung von nur etwa 35 V ist erforderlich, um den Lichtbogen am Leben zu erhalten – umso weniger noch, je größer der Strom! Dieser wird dann sofort so groß, dass er für die speisende Spannungsquelle einen Beinahe-Kurzschluss darstellt. Der Kurzschlussschutz spricht dann innerhalb von Millisekunden an, doch bis dahin sind bereits heftige Abstrahlung von Wärme und UV-Strahlung die Folgen. Die durch die plötzliche Erwärmung auftretende Druckwelle sprengt Schaltschränke wie eine Bombe.

Dies jedenfalls sind die Folgen eines netzparallelen Lichtbogens. Diese Unfälle sind in elektrischen Anlagen von Anfang an immer ein Thema gewesen und werden mehr gefürchtet als Stromschläge. Obwohl auch diese Lichtbögen nur für sehr kurze Zeit brennen, ist das Zerstörungs-Potenzial dennoch beträchtlich, verkohlte Monteure eingeschlossen (Bild 18).

Daneben gibt es aber auch das Risiko des seriellen Lichtbogens, d. h. der Strom durchläuft nacheinander ein völlig intaktes Betriebsmittel und eine lose Kontaktstelle. Solche Stellen erwärmen sich, wodurch sich der Kontakt zusehends weiter verschlechtert und dann ganz abreißt (Bild 19). Weil dies aber sehr langsam vonstatten geht, reißt der Kontakt eben nicht ganz ab, sondern der Strom überspringt die winzige entstandene Lücke und fließt einfach weiter! Unter Umständen wird dies gar nicht bemerkt, wenn weder das brutzelnde Geräusch

noch Brandgeruch auffällt – bis es wirklich brennt! Aluminiumleiter sind hiergegen aus verschiedenen [Gründen](#)² besonders anfällig, weswegen ihr Einsatz innerhalb von Gebäuden im Bereich bis 6 mm² Leiterquerschnitt in Westeuropa verboten ist. Auch andere Länder mit einer langen Aluminium-Tradition werben schon seit längerer Zeit für den Einsatz von Kupfer – der elektrischen Sicherheit zu Liebe, um Bränden vorzubeugen.

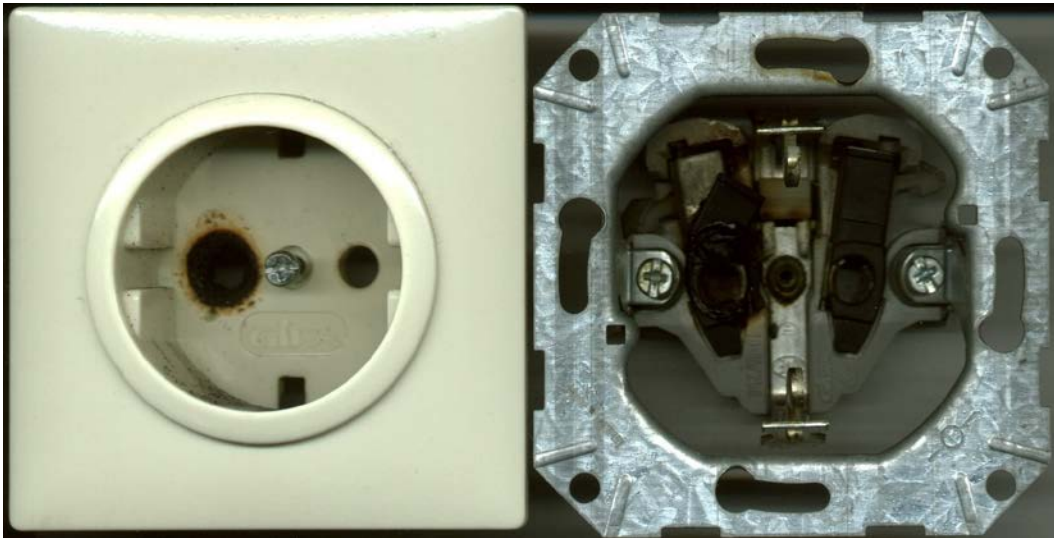


Bild 19: »Schleichender« Schaden durch seriellen Lichtbogen mit Brandgefahr

Um jedoch auch die letzten Risiken auszuschließen, wurde der so genannte »Brandschutzschalter« (AFDD: Arc fault detection device) entwickelt. An Hand der charakteristischen Verläufe von Spannung und Strom erkennt eine Elektronik in dem Gerät, dass in dem damit überwachten Stromkreis ein serieller Lichtbogen brennt, und schaltet den Stromkreis ab. Die Schwierigkeit bei der Entwicklung war, diese Störlichtbögen von betriebsbedingten »normalen« Lichtbögen zu unterscheiden, wie sie in allen Geräten und Maschinen mit Kommutatormotoren auftreten, als da sind Handbohrmaschinen, Staubsauger, Teigmixer und einige andere. Dies ist jedoch gelungen, und die AFDD arbeiten mittlerweile zuverlässig und störungsfrei. Vorgeschrieben sind sie jedoch bislang nur in Betriebsstätten mit besonderer Sensitivität (Kindertagesstätten, Altenheime) und mit besonderer Gefährdung (Holz verarbeitende Betriebe). In Holzhäusern werden sie empfohlen. Empfehlenswert sind sie indes überall. Ein Grund, nun wieder Aluminiumleitungen zuzulassen, sind sie indes nicht.

Weiter geht es mit der Schrift »Energie – was ist das überhaupt?« in unserer [Mediathek](#).

¹ lat. elementum = Baustein, Bauteil, Bestandteil

² Stefan Fassbinder: »Elektrische Leiter – Alternativen zu Kupfer?« ET Elektrotechnik 10/2009, S. 27

³ Stefan Fassbinder: »Im Verbund läuft es rund: Euro-Verbundnetz – wie funktioniert das?« Elektropraktiker 8 - 9/2014

⁴ Stefan Fassbinder: »Leitungsungebundene Energieübertragung«. Elektropraktiker 1 - 4/2012

⁵ BDEW: »Energemarkt Deutschland 2019«.

⁶ Stefan Fassbinder: Sonderheft »Oberschwingungen« (www.elektropraktiker.de/nc/fachinformationen/fachartikel/epthema-oberschwingungen-1)