

Risiko - Sicherheit und Gefahr - II

WAS VERSTEHT MAN NUN UNTER EINER ELEKTRISCHEN GEFAHR? GEFAHR, GEFÄHRDUNG UND VERLETZUNG SIND IN DER PRAXIS OFT VERWENDETE BEGRIFFE. EBENSO DER BEGRIFF ELEKTRISCHER SCHLAG. WELCHE GEFÄHRDUNG ENTSTEHT BEI ANWENDUNG DER ELEKTRIZITÄT, WELCHE VERLETZUNGEN ODER GESUNDHEITSSCHÄDIGUNGEN KÖNNEN DURCH DAS VORHANDENSEIN ELEKTRISCHER ENERGIE IN EINER ANLAGE ODER DURCH ELEKTRISCHE BETRIEBSMITTEL ENTSTEHEN? DER BEDEUTUNG DIESER GRUNDLEGENDEN BEGRIFFE SOLL IN DIESEM ZWEITEN TEIL DER ARTIKELSERIE NACHGEGANGEN WERDEN.

1. Elektrische Gefährdung, elektrische Gefahr

1.1 Gefahr und Gefährdung

Wie schon im ersten Teil dieser Serie¹ beschrieben, versteht man unter einer *elektrischer Gefahr* das Risiko einer Verletzung, das von einer elektrischen Anlage ausgeht. In der aktuellen Ausgabe der kundgemachten elektrotechnischen Norm ÖVE/ÖNORM EN 50110-1:2014² und auch in der Literatur³ findet man eine leicht veränderte Definition dieses Begriffs.

Elektrische Gefahr ist demnach (aktuell) ganz allgemein das „Risiko einer Verletzung elektrischen Ursprungs“. Die Beschränkung auf die elektrische Anlage als Ausgangsort wurde darin weggelassen, was auch als Erweiterung gelesen werden kann; nun können auch elektrische Betriebsmittel als Ausgangsort des Risikos einer Verletzung betrachtet werden.

Davon zu unterscheiden - wenngleich oft mit dem Begriff elektrische Gefahr verwechselt - ist der Inhalt des Begriffs *elektrische Gefährdung*. Unter einer elektrischen Gefährdung⁴ versteht man („lediglich“) die Quelle einer *möglichen* Verletzung oder Gesundheitsschädigung durch das Vorhandensein elektrischer Energie in einer Anlage.

Erst das Vorhandensein einer Quelle einer möglichen Verletzung, einer elektrischen Gefährdung und das Vorhandensein einer konkreten Gefahrensituation führt zum Risiko. Ist ausschließlich eine Quelle möglicher Verletzung (eine elektrische Gefährdung) vorhanden und kann kein Schaden eintreten, dann handelt es sich um eine Situation in der wohl eine Quelle einer Verletzung vorhanden ist, jedoch keine elektrische Gefahr (d. h. kein Risiko einer Verletzung) besteht.

Als vereinfachtes Beispiel kann man hier eine mit einer trennenden Schutzvorrichtung (z. B. Schutzzaun in entsprechender Ausführung und entsprechendem

Abstand) umgebenen elektrischen Anlage nennen, in der z. B. eine *elektrische Gefährdung* durch blanke unter Spannung stehende Teile besteht. Elektrische Gefahr (z. B. für Menschen⁵) und damit auch das Risiko eine Verletzung durch elektrische Energie, entsteht erst dann, wenn, z. B. durch Öffnen, Entfernen oder Übersteigen der trennenden Schutzvorrichtung oder wenn diese durch andere Einflüsse (Sturm, Erdbeben, ...) unwirksam wird, eine Annäherung oder ein Berühren der unter Spannung stehenden Teile möglich ist.

In den Beschreibungen der Begriffe Gefahr und Gefährdung findet man immer auch den Begriff „*Verletzung durch elektrische Energie*“.

Mit dem Begriff *Verletzung durch elektrische Energie*⁶ bezeichnet man den Tod oder die Verletzung einer Person⁷ durch elektrischen Schlag, Verbrennung, Lichtbogen oder durch Brand, Explosion, ausgelöst durch elektrische Energie, verursacht durch den Betrieb einer elektrischen Anlage.

1.2 Elektrischer Schlag

Verletzungen durch *elektrischen Schlag* sind bei Unfällen unter Beteiligung von elektrischer Energie häufig. Aus diesem Grund werden seit vielen Jahrzehnten Schutzvorkehrungen und Schutzmaßnahmen zur Verhinderung des (schädlichen) elektrischen Schlags⁸ (erfolgreich) entwickelt und in anerkannten Regeln der Technik, in kundgemachten elektrotechnischen Normen und den gesetzlichen Anforderungen des Arbeitnehmer:innenschutzes verankert.

Maßnahmen zur Verhinderung des (schädlichen) elektrischen Schlages, stellen einen wesentlichen Teil des von mir so genannten „*schutztechnischen Kerns*“ dar.

Der schutztechnische Kern⁹ beinhaltet alle grundlegenden Anforderungen, die dazu dienen, Menschen und Nutztiere zu

schützen. Dazu zählen die „klassischen“ Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag, der Schutz beim Auftreten von Bränden, der Schutz beim Ausfall der allgemeinen Stromversorgung bis hin zum Arbeitsschutz und zur Auswahl von Schutzvorkehrungen und der Berücksichtigung der Fähigkeiten der die Anlage benutzenden Personen.

Diese Anforderungen des schutztechnischen Kerns werden in der Praxis durch weitere Anforderungen, für spezielle Anlagentypen (z. B. Räume und Orte mit Badewanne oder Dusche, medizinisch genutzte Räume) angepasst oder ergänzt¹⁰.

1.2.1 Berührungsstrom

Fließt ein gefährlicher Strom (genauer ein gefährlicher Berührungsstrom¹¹ (I_T)) durch den menschlichen Körper (Durchströmung des menschlichen Körpers), so kann ein Teil dieses Stroms über das Herz fließen und ungewollte, (lebens!)gefährliche Reaktionen des Körpers auslösen¹².

Je nachdem in welcher Phase des Herzschlages die Durchströmung beginnt und abhängig vom Wert des Stromes I_T und der Durchströmungsdauer kommt es - auch schon bei (von Laien und Fachkräften oft unvermutet) kleinen Werten der Berührungsstromstärke (siehe Abschnitt 1.2.3) - zu physiologischen Reaktionen des menschlichen Körpers.

Diese reichen von Reaktionen der willkürlichen Muskulatur (oft auch in der Umgangssprache als „Elektrisierung“ bezeichnet) bis zu Herzrhythmusstörungen, Flimmern der Herzvorhöfe oder der Herzkammern (auch Kammerflimmern genannt).

Der elektrische Schlag, ist oft auch die Ursache von so genannten Sekundärnfällen. Durch das Berühren unter Spannung stehender Teile und der nachfolgenden Durchströmung kommt es zu Muskel- und Schreckreaktionen, die z. B. den Sturz von

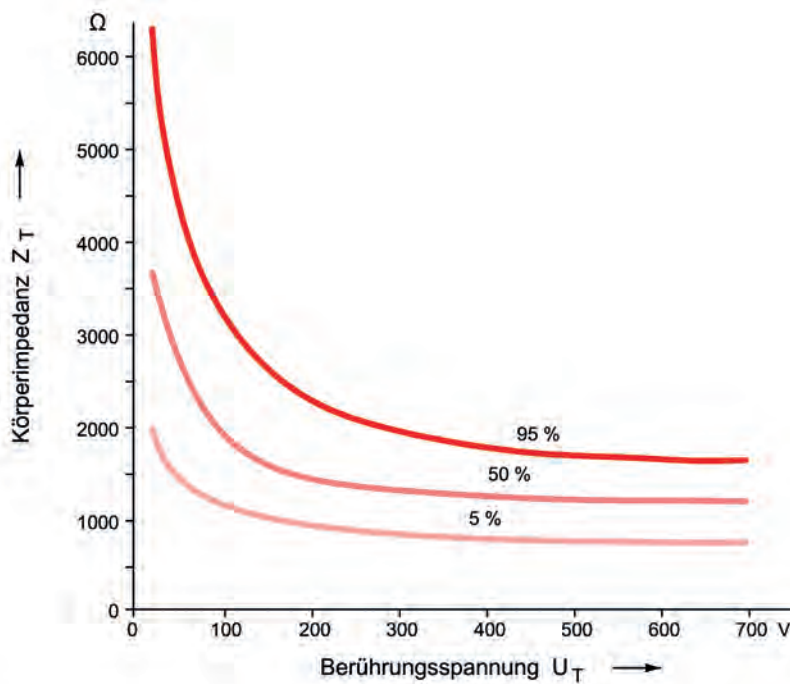


Bild 1-1: Streubereich der Körperimpedanzen in Abhängigkeit von der Berührungsspannung, Stromweg Hand Hand oder Hand Fuß, großflächige Berührung, Wechselstrom 50 Hz für Berührungsspannungen bis 700 V. Die Prozentzahlen geben an, bei wie vielen Menschen die Körperimpedanz unter den Werten der zugeordneten Kurve liegt (statistische Auswertungen).

der Aufstiegshilfe oder den Sturz in ein Schaltfeld zur Folge haben können.

Große Werte von Berührungsströmen führen an den Ein- und Austrittsstellen des Stroms zu Brandverletzungen (Strommarken). Ebenso sind innere Verbrennungen, auch mit Todesfolge, möglich.

1.2.2 Ist nun die Spannung oder der Strom gefährlich?

Die Spannung treibt den Strom durch den Körper. Die Wirkungen des Stromes auf den menschlichen Körper hängen in erster Linie vom Wert der Berührungstromstärke ab. Weitere wichtige Einflussfaktoren sind jedoch:

- der Zeitpunkt des Beginns der Durchströmung, bezogen auf den Herzrhythmus und ob der Beginn in die verletzliche Zeitspanne (vulnerable Periode) des Herzschlages fällt,
- der Stromweg (Strompfad), insbesondere, ob und in welchem Ausmaß das Herz im Stromkreis liegt,
- die Durchströmungsdauer,
- Größe und Beschaffenheit der Kontaktfläche (Berührungsfläche),
- die Stromart (Gleich- oder Wechselstrom),
- die Frequenz des elektrischen Stromes.

1.2.3 Stromschwellen für praktische Einschätzungen

Bei näherer Untersuchung des durch den Menschen fließenden Stromes (Berührungstrom, I_T) und der Reaktionen des Körpers lassen sich für Wechselstrom vier, auch für erste praktische Einschätzungen brauchbare, „Stromschwellen“ (Achtung! statistische Werte mit Schwankungsbreite) feststellen. (Ich bezeichne sie gerne als: 1-15-50-100 mA-Regel)

1 mA: Wahrnehmbarkeitsschwelle des elektrischen Stromes

Unterhalb von 1 mA sind elektrische Ströme vom Menschen kaum wahrnehmbar.

Von 1 mA bis 15 mA bewirkt der elektrische Strom Muskelreaktionen ohne direkte schädlichen Auswirkungen (Elektrisierung, Kribbeln). Sekundärurfälle sind jedoch möglich.

15 mA: Krampfschwelle des elektrischen Stromes

Ab zirka 15 mA kann man jedoch die unter Spannung stehenden Teile (Elektroden, elektrische Leiter) nicht mehr loslassen.

Zwischen 15 mA und 50 mA können elektrische Ströme nur kurzzeitig ertragen werden; bei längerer Durchströmungsdauer tritt Bewusstlosigkeit auf (mögliche Verkrampfung der Atemmuskulatur).

50 mA: Gefahrenschwelle des elektrischen Stromes

Zwischen 50 mA und 100 mA und Durchströmungen, die länger als 1 Herzperiode (z. B. 0,75 s) dauern, beginnt die tödliche Wirkung des elektrischen Stromes.

100 mA: Todesschwelle des elektrischen Stromes

Kammerflimmern, eine akut lebensbedrohliche Tachyarrhythmie¹³ des Herzens, bei der die Kammerfrequenz stark erhöht (> 320/min) ist und die mechanische Pumpfunktion des Herzens zum Erliegen kommt¹⁴ tritt ein.

Diese (niedrige) Schwellenstromstärke von ca. 50 mA bis 100 mA zeigt, dass schon die „normalen“ Spannungen der Verteilungsnetze (AC 400/230 V) und die in der Praxis vorkommenden Strompfade (z. B.

Hand - beide Füße oder Hände - Rumpf) für den Menschen *hinsichtlich Herzkammerflimmern* gefährlich sind.

Hochspannung¹⁵ kann extrem große Werte der Berührungstromstärke verursachen. Diese stören natürlich auch die Herzfunktion, beeinflussen jedoch die willkürliche Muskulatur des Menschen können; bis hin zu Knochenbrüchen und den Auswirkungen von elektrochemischen Wirkungen und Verbrennungen.

Alle oben angegebenen Schwellenwerte gelten für Wechselstrom von 50 Hz. Nach heutigem Wissensstand ist der Frequenzbereich um 50 Hz für das Auftreten von Kammerflimmern einer der gefährlichsten.

Für höhere Frequenzen steigen die Schwellenwerte an, wenngleich derzeit ihr genauer Verlauf nicht ausreichend wissenschaftlich untersucht ist.

1.2.4 Stromweg und Körperimpedanz

Berührt ein Mensch unter Spannung stehende Teile so ist die Stromstärke des Berührungstromes, die durch den Körper fließt, durch den Wert der anliegenden Spannung und durch den Widerstand (genauer: die Impedanz) des menschlichen Körpers bestimmt.

Diese Impedanz ist jedoch nicht konstant, sondern hängt außer vom Strompfad im Körper noch vom Absolutwert der anliegenden Spannung ab. In vielen Fällen befinden sich (glücklicherweise) zufällig noch zusätzliche (körperstromreduzierende) Widerstände, wie Schuhwerk, Kleider und der Isolationswiderstand des Fußbodens, im Stromkreis.

Steigt die Spannung an, sinkt die Impedanz des Körpers. Bei kleinen Werten

der Spannungen setzt die Haut, die dann einen hohen Isolationswert besitzt, der Durchströmung Widerstand entgegen. Bei Spannungen von über ca. 100 V nimmt die Schutzwirkung der Haut jedoch drastisch ab; die Haut wird dann praktisch wie eine isolierende Folie durchschlagen.

Dadurch sinkt die Gesamtimpedanz (und es steigt I_T), die sich aus dem (nunmehr praktisch nicht mehr vorhandenen) Widerstand der Haut und dem inneren Widerstand des Körpers zusammensetzt.

In Bild 1-1 ist der Streubereich der Körperimpedanzen (Z_T) in Abhängigkeit von der Spannung, die am menschlichen Körper liegt, der so genannten Berührungsspannung (U_T), dargestellt¹⁶.

Die Werte wurden für Wechselstrom von 50 Hz, beim Stromweg Hand Hand oder Hand Fuß bei großflächiger Berührung ermittelt. Bei Gleichstrom sind die Impedanzen unter 100 V etwas größer als bei Wechselstrom, verlaufen bei größeren Werten der Berührungsspannung ähnlich jenen bei Wechselstrom. Diese Kurven und Angaben, auch jene, in den einschlägigen anerkannten Regeln der Technik¹⁷, wurden in den letzten Jahrzehnten sorgfältig ermittelt. Dabei darf jedoch nicht vergessen werden - und dies ist für Risikobewertun-

gen *wesentlich* -, dass es sich dabei um keine im mathematischen Sinn exakte Grenzwerte, sondern um Schwellwerte und teilweise auch um Werte handelt, die durch „Übereinkunft“ festgelegt wurden (konventionelle Werte). ■

¹ Mörx, A., Risiko - Sicherheit und Gefahr - I, Elektrobranche.at, Ausgabe 7-8/2024; Media & Digital Services e.U., 1200 Wien

² ÖVE/ÖNORM EN 50110-1:2014-10-01, Abschnitt 3.1.5

³ Hoffmann, Lantwin, Nied, Schäfer (Hrsg.); Betrieb von elektrischen Anlagen, 11. Auflage; VDE Verlag GmbH, 2017

⁴ ÖVE/ÖNORM EN 50110-1:2008-09-01, Abschnitt 3.1.4 und ÖVE/ÖNORM EN 50110-1:2014-10-01, Abschnitt 3.1.4

⁵ Wenn von möglichem Schaden oder von Risiken gesprochen wird, ist es immer notwendig, die Gefährdungssituation genau zu beschreiben und vor allem die Frage zu beantworten: „Risiko für wen oder was?“ Die ausschließliche Betrachtung des Vorhandenseins der elektrischen Gefahr für Menschen führt zu anderen Ergebnissen wie z. B. die Betrachtung der elektrischen Gefahr für Menschen, Nutztiere und Umwelt.

⁶ ÖVE/ÖNORM EN 50110-1:2008-09-01, Abschnitt 3.1.6 und ÖVE/ÖNORM EN 50110-1:2014-10-01, Abschnitt 3.1.6

⁷ Hier möchte ich auf eine möglicherweise irreführende Interpretation (meist aus Gründen mangelhafter Übersetzung) des Begriffs „Person“ hinweisen. Das Wort „Person“ im Englischen kann sowohl mit „Mensch“ als auch mit „Person“ (gemeint ist dann eine juristische Person) übersetzt werden. Wird „Person“ (engl.) mit „Person“ (dt.) übersetzt, ist der Begriff (leider meist ungewollt) weiter gefasst, da es „natürliche Personen“ und auch „juristische Personen“ gibt. Im Fachgebiet „Schutz gegen elektrischen Schlag“ ist - auch wenn an einigen Literaturstellen nicht gesondert darauf hingewiesen wird, stets die Übersetzung mit „Mensch“ oder im Plural „Menschen“ gemeint.

⁸ Auf den Unterschied zwischen den Begriffen „schädlicher

elektrischer Schlag“ und „elektrischer Schlag“ soll hier bewusst nicht erläutert werden.

⁹ Die Idee für diese Bezeichnung und zu meinen weiterführenden Überlegungen verdanke ich der Publikation von: Esser, Wolfgang; Systematik der Schutzsysteme in der Niederspannungstechnik, Das Kegelmodell der Schutzsysteme; 1998; Klöckner-Moeller GmbH, Bonn

¹⁰ Weitere Hinweise zum kegelstumpfförmigen Schutzkonzept siehe: Mörx, A., Schutzkonzepte in Niederspannungsanlagen; März 2018; https://www.diamcons.com/alfred-moerx-publikationen?download=0164_11_2018_03_Schutzsysteme_Kurzfassung_Vo8.pdf

¹¹ I_T ... Touch current (Berührungsstrom)

¹² Siehe dazu auch: Mörx, A., Der Begriff „Elektrischer Schlag“ in der internationalen Normung; August 2013; https://www.diamcons.com/alfred-moerx-publikationen?download=0148_13_DACH_2013_Diskussionsbeitrag_Moerx_AT_V_07.pdf

¹³ Als Tachyarrhythmie bezeichnet man eine Kombination aus Arrhythmie (Herzrhythmusstörung) und Tachykardie (schneller Herzschlag).

¹⁴ Quelle: flexikon.doccheck.com/de/Kammerflimmern

¹⁵ siehe auch: Energielexikon von Dr. Rüdiger Paschotta; abgerufen von <https://www.energie-lexikon.info/hochspannung.html> am: 28.7.2024

¹⁶ Quelle: Biegelmeier, G., Wirkungen des elektrischen Stroms auf Menschen und Nutztiere; Tabelle 2.15., VDE-Verlag, D-1000, Berlin 12, 1986

¹⁷ IEC 60479-1:2018; Effects of current on human beings and livestock - Part 1: General aspects



**Dipl.-Ing Alfred Mörx,
OVE, IEEE**

Fachautor

Web: www.diamcons.com

Mail: am@diamcons.com