

Risiko - Sicherheit und Gefahr - III

WIE HÄNGT DIE KÖRPERIMPEDANZ MIT DEM STROMPFAD IM MENSCHLICHEN KÖRPER ZUSAMMEN? WO LIEGEN DIE GEFAHRENGRENZEN BEI WECHSELSTROM UND WAS MUSS MAN BEI ANWENDUNG DER SCHWELLENWERT-ANGABEN IN DEN EINSCHLÄGIGEN INTERNATIONALEN NORMEN BEACHTEN? WELCHE STROMWEGE DURCH DEN MENSCHLICHEN KÖRPER SIND FÜR DAS AUFTRETEN VON HERZKAMMERFLIMMERN GEFÄHRLICHER ALS ANDERE? DIESEN FRAGEN WOLLEN WIR IM DRITTEN TEIL DIESER ARTIKELSERIE NACHGEHEN UND DABEI AUCH WEITERE GRUNDLEGENDE BEGRIFFE KENNEN LERNEN.

1. Stromweg und Körperimpedanz

Aus Bild 1-1 des Teils II¹ dieser Artikelserie und Bild 1-1 im vorliegenden Teil III erkennt man, dass für die Stromwege Hand Hand und Hand Fuß die Impedanz des menschlichen Körpers bei 230 V Wechselspannung bei großflächiger Berührung durchaus auf Werte bis unter 1000 Ω absinken kann.

Da man in der Praxis in vielen Fällen nicht wissen kann, wie groß die Berührungsflächen im Falle einer zufälligen Berührung (beim Elektrounfall) durch den Menschen oder das Nutztier sein wird, ist es durchaus angebracht, für allgemeine schutztechnische Überlegungen von großflächiger Berührung auszugehen.

Keinesfalls kann man für allgemeine Überlegungen zum Risiko in Niederspannungsanlagen davon ausgehen, dass „ohnehin meist nur mit kleinen Berührungsflächen“ berührt wird und dann noch

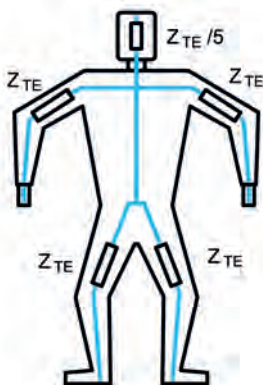


Bild 1-1: Impedanzverteilung im menschlichen Körper; Z_{TE} ... Teilimpedanzen der Extremitäten und des Kopfes; für den Stromweg Hand Füße sind nur 75 %, für beide Hände beide Füße 50 % und für beide Hände Rumpf 25 % der Werte aus Bild 1-1 im Teil II dieser Artikelserie wirksam

„ohnehin noch zusätzliche Isolationswiderstände (wie z. B. Schuhe oder Fußbodenbeläge aus Kunststoff) im Stromkreis liegen“.

Auch wenn in extrem günstigen Fällen I_T nur wenige Milliampere betragen kann, treten bei großflächiger Berührung auch Stromstärken von ca. 1 A (!!) auf. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn ein Mensch am Boden sitzt und ein fehlerhaftes Elektrogerät mit beiden Händen anfasst. (Stromweg: beide Hände – Gesäß). Der Körperwiderstand beträgt in diesem Fall (siehe Bild 1-1) nur mehr ca. 200...300 Ω .

Ebenso sieht man in Bild 1-1, vielleicht etwas überraschend, dass die Teilimpedanzen (Z_{TE}) fast zur Gänze in den Extremitäten, in Armen und Beinen des menschlichen Körpers, liegen.

1.1 Gefahrengrenzen für den tödlichen Elektrounfall

1.1.1 Schwellenwerte für Wechselstrom gemäß IEC 60479-1

Für das Auftreten von Herzkammerflimmern, ausgelöst durch den elektrischen Strom, ist neben dem Stromweg, die Durchströmungsdauer und ihr Verhältnis zur Dauer eines Herzschlages, der Herzperiode (HP), wesentlich.

Dauert die Elektrisierung (der Stromfluss über das Herz) länger als eine Herzperiode, dann können schon 50 mA bis 100 mA zu dem gefürchteten Herzkammerflimmern führen. Dabei setzt die normale Pumpfähigkeit des Herzens aus, die Herzwände flimmern nur mehr, der Blutkreislauf kommt zum Stillstand. Nach wenigen Minuten (ca. 8 min) Herzkammerflimmern sind die Gehirnzellen durch Sauerstoffmangel so schwer geschädigt, dass der Tod eintritt (Gehirntod). Schon ab einer Mangelversorgung ab ca. 4 min kommt es zu irreparablen Schäden im Gehirn.

Bei Durchströmungsdauern *deutlich unter der Dauer einer Herzperiode* tritt Herzkammerflimmern erst bei Werten von I_T von

einigen Ampere auf². Ein besonders großes Risiko für das Eintreten von Kammerflimmern besteht jedoch immer dann, wenn der elektrische Schlag in die so genannte vulnerable Periode³ des Herzschlages fällt. Dies sind jene zirka 10 ... 20 % der Herzperiode in der der Herzmuskel nach dem Pumpvorgang mit seiner Entspannung beginnt.

Die Wirkungsbereiche von Wechselstrom 50/60 Hz werden in IEC 60479-1, Abschnitt 5, 2018 dargestellt (Bild 1-2).

Bei Betrachtung der Kurven in Bild 1-2 und insgesamt beim Studium des IEC-Standards IEC 60479-1 darf keinesfalls vergessen werden, dass es sich bei den dargestellten Strom-Zeit-Kurven um Schwellenwerte handelt, die auf Basis von Tierversuchen sowie auf Informationen aus klinischen Beobachtungen beruhen.

Nur wenige Experimente mit Stoßströmen von kurzer Dauer wurden an lebenden Menschen durchgeführt. Einige Messungen wurden überhaupt nur *an einer lebenden Person* durchgeführt. Es handelt sich um **durch Übereinkunft** international festgelegte Strom-Zeit-Zonen („conventional time/current zones“).

Auch aus den oben genannten Gründen wird im Anwendungsbereich des IEC-Standards 60479-1 klar darauf hingewiesen, dass diese Publikation ist in erster Linie zur Verwendung durch technische Komitees bei der Ausarbeitung von Normen bestimmt ist **und nicht für die Verwendung durch Hersteller oder Zertifizierungsstellen**.

Bei der Erarbeitung von produkt- oder anwendungsspezifischen Normen müssen – auf Basis der Aussagen in IEC 60479-1 – oder auch bei der Verwendung der Aussagen dieser Sicherheitsgrundnorm bei der Beurteilung des Risikos von Elektrounfällen noch weitere Aspekte berücksichtigt werden so z. B. die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Fehlern,

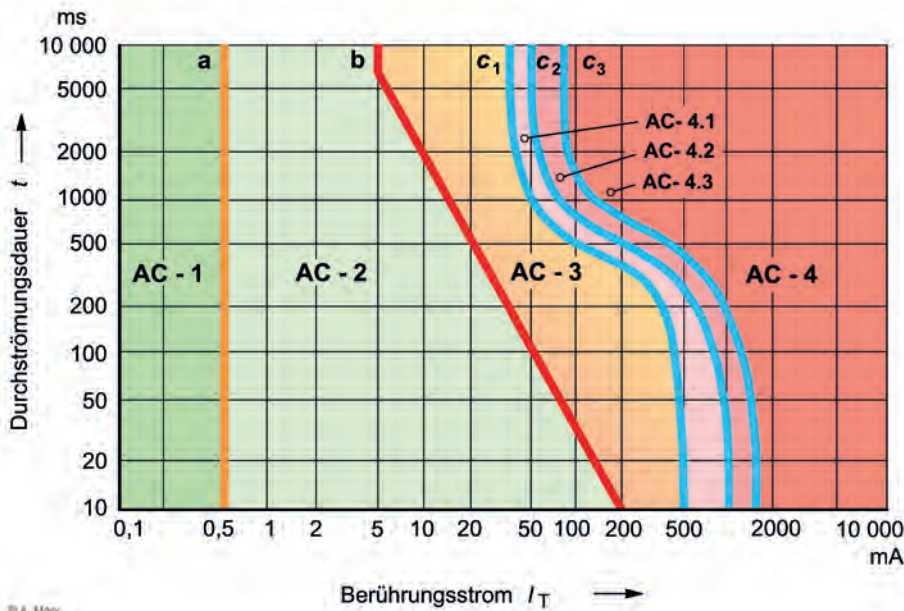


Bild 1-2: Konventionelle Wirkungsbereiche für Wechselstrom 50/60 Hz gemäß IEC 60479-1:2018, Abschnitt 5; AC-1: in der Regel keine Reaktion; AC-2: in der Regel keine pathophysiologisch⁴ gefährliche Wirkung; AC-3: Übergangsbereich ohne feste Grenzen; in der Regel keine organischen Schäden, keine Gefahr von Herzkammerflimmern, Muskelreaktionen, Beschwerden bei der Atmung mit steigender Stromstärke und Durchströmungsdauer; AC-4: Herzkammerflimmern mit steigender Wahrscheinlichkeit, Kurve c_2 : Wahrscheinlichkeit 5 %; c_3 : Wahrscheinlichkeit 50 %. Mit steigender Stromstärke und Durchströmungsdauer starke pathophysiologische Wirkungen, wie Herzstillstand, Atemstillstand und Verbrennungen. In Bezug auf Herzkammerflimmern beziehen sich die Kurven c_1 bis c_3 auf Längsdurchströmung linke Hand – Füße.

die Wahrscheinlichkeit des Kontakts von Menschen oder Nutztieren mit spannungsführenden oder fehlerhaften Teilen, das Verhältnis zwischen Berührungs- und Fehlerspannung, die in der Praxis gewonnenen Erfahrungen, die jeweils zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten und auch Fragen der Wirtschaftlichkeit.

Diese (und je nach Anwendungsfall noch weitere) Einflussgrößen müssen bei der Festlegung von Sicherheitsanforderungen, z. B. bei den Betriebseigenschaften von Schutzeinrichtungen für elektrische Anlagen, sorgfältig berücksichtigt werden.

1.1.2 Herzstromfaktoren

Längsdurchströmungen des Herzens sind gefährliche Stromwege. Bei Querdurchströmungen (Hand Hand) *schätzt man die Gefahr des Herzkammerflimmerns grob* nur auf zirka 40 Prozent, verglichen mit Längsdurchströmungen. Ein Maß für die Gefährdung bei verschiedenen Stromwegen wird durch die so genannten Herzstromfaktoren angegeben (Tabelle 1-1). Der Stromweg Brust zu linker Hand ist demnach am gefährlichsten.

2. Verwendete und weiterführende Literatur

- [1] Ludwar, G., Mörx, A., Elektrotechnikrecht, Praxisorientierter Kommentar; OVE, Wien 2021, ISBN 978-3-903249-14-1
- [2] BGBl. 106/1993; Elektrotechnikgesetz 1992, in der Fassung BGBl. I/204/2022
- [3] BGBl. II/308/2020 vom 8. 7. 2020; Verordnung der Bundesministerin für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort über Sicherheit, Normalisierung und Typisierung elektrischer Betriebsmittel und elektrischer Anlagen (Elektrotechnikverordnung 2020 – ETV 2020)
- [4] Hoffmann, Lantwin, Nied, Schäfer

- (Hrsg.); Betrieb von elektrischen Anlagen, 11. Auflage; VDE Verlag GmbH, 2017
- [5] DGUV Information 203-004; Einsatz elektrischer Betriebsmittel bei erhöhter elektrischer Gefährdung; Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV); 10117 Berlin; <https://publikationen.dguv.de/regelwerk/dguv-informationen/351/einsatz-von-elektrischen-betriebsmitteln-bei-erhoehter-elektrischer-gefaehrdung>, abgerufen am: 3.9.2024
- [6] ÖVE/ÖNORM EN 50110-1:2014-10-01; Betrieb von elektrischen Anlagen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen (Teil 2-100: Nationale Ergänzungen eingearbeitet)
- [7] Esser, Wolfgang; Systematik der Schutzsysteme in der Niederspannungstechnik, Das Kegelmodell der Schutzsysteme; 1998; Klöckner-Moeller GmbH, Bonn
- [8] Mörx, A., Der Begriff „Elektrischer Schlag“ in der internationalen Normung. Mögliche Auswirkungen auf künftige Schutzkonzepte für Niederspannungsanlagen; https://www.diamcons.com/alfred-moerx-publikationen?download=0148_13_DACH_2013_Diskussionsbeitrag_Moerx_AT_V_07.pdf
- [9] IEC 60479-1:2018; Effects of current

- on human beings and livestock - Part 1: General aspects
- [10] Mörx, A., Risiko - Sicherheit und Gefahr - I, Elektro|branche.at, Ausgabe 9/2024; Media & Digital Services e.U., 1200 Wien
- [11] Mörx, A., Risiko - Sicherheit und Gefahr - II, Elektro|branche.at, Ausgabe 10/2024; Media & Digital Services e.U., 1200 Wien ■

¹ Mörx, A., Risiko - Sicherheit und Gefahr - II, Elektro|branche.at, Ausgabe 10/2024; Media & Digital Services e.U., 1200 Wien
² Dies kommt praktisch nur beim Hochspannungsunfall vor. Beim Hochspannungsunfall kann die Stromstärke, die durch den Körper fließt, sogar einige 10 A betragen.
³ vulnerable Periode ... verletzliche Zeitspanne
⁴ Pathophysiologie: Die Lehre von den krankhaft gestörten Lebensvorgängen, deren Ursachen und deren Entstehung.



Dipl.-Ing Alfred Mörx, OVE, IEEE
 Fachautor
 Web: www.diamcons.com
 Mail: am@diamcons.com

Stromweg	Herzstromfaktor F
linke Hand – linker Fuß, rechter Fuß oder beide Füße	1,0
beide Hände zu beiden Füßen	1,0
linke Hand – rechte Hand	0,4
rechte Hand – linker Fuß, rechter Fuß oder beide Füße	0,8
Rücken – rechte Hand	0,3
Rücken – linke Hand	0,7
Brust – rechte Hand	1,3
Brust – linke Hand	1,5
Gesäß – linke Hand, rechte Hand oder zu beiden Händen	0,7
linker Fuß – rechter Fuß	0,04

Tabelle 1-1: Herzstromfaktoren gemäß IEC 60479-1:2018, Tabelle 12