

## Was versteht man unter . . .

### Herzkammerflimmern

Unwillkürliche Zuckungen einzelner, unkoordiniert agierender Muskelfasern der Herzkammern.

#### Allgemeines

Herzkammerflimmern (engl. ventricular fibrillation) – ausgelöst durch einen elektrischen Schlag – ist die häufigste Todesursache in niederfrequenten Wechselstromanlagen. In Gleichstromanlagen sind elektrische Unfälle mit Herzkammerflimmern bei weitem nicht so häufig. Das ist einerseits auf die vergleichsweise geringe Anzahl von Gleichstromanwendungen in Haushalt, Gewerbe und Industrie zurückzuführen, andererseits aber auch, weil die Herzkammerflimmernschwelle bei Gleichstrom beträchtlich höher ist als bei Wechselstrom. Die gleichen, erregenden Wirkungen treten ein, wenn die Stromstärke bei geglättetem Gleichstrom – abhängig von der Durchströmungszeit – ungefähr zwei- bis viermal größer ist, als bei sinusförmigem Wechselstrom.

Herzkammerflimmern ist eine unkoordinierte Kontraktion der Herzmuskelfasern ohne spontane Rückbildung. Selbst bei sofortiger Unterbrechung der elektrischen Körperdurchströmung besteht in diesem Fall der irreguläre Kammerautomatismus des Herzens fort. Herzkammerflimmern infolge eines elektrischen Schlags kann praktisch nur durch eine sofortige qualifizierte Erste Hilfe und notärztliche Versorgung (Defibrillation) behoben und damit der drohende Herztod abgewendet werden.

#### Schwellenwerte

Der Kleinstwert des elektrischen Stroms, der bei Menschen oder Nutztieren Herz-

ammerflimmern auslösen kann, heißt **Herzkammerflimmern-Schwellenstrom** (engl. ventricular fibrillation threshold current), kurz „Herzkammerflimmernschwelle“ genannt. Der Wert der Herzkammerflimmernschwelle wird maßgeblich von den individuellen physiologischen Eigenschaften, z. B. Körperbau und Herzzustand, sowie den jeweils vorhandenen elektrischen Einflüssen bestimmt. Zu letzteren gehören insbesondere die Stromstärke, Stromflussdauer, Strombahn, Stromart, Frequenz sowie der Zeitpunkt des Stromreizes im Verlaufe eines Herzzyklus. Bei einem externen Stromreiz in der *vulnerablen Herzphase* ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Herzkammerflimmern besonders groß.

Die Herzkammerflimmernschwelle für Menschen sind für verschiedene Wahrscheinlichkeiten in den Bildern ① und ② (Kurven  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ) dargestellt. Die Werte gelten für sinusförmigen Wechselstrom im Frequenzbereich 15 ... 100 Hz bzw. für geglätteten Gleichstrom (Welligkeit  $\leq 10\%$ ) [1]. Bei einer Stromflussdauer unter 200 ms erfolgte der elektrische Stromreiz jeweils in der vulnerablen Herzphase. Deutlich ist in den Bildern zu erkennen, dass die Herzkammerflimmernschwelle erheblich abnimmt (insbesondere bei Wechselstrom, s. Bild ①), wenn der Stromfluss einen Herzzyklus von etwa 750 ms überdauert.

Die Beschreibung der physiologischen Wirkungen auf Menschen bei den einzelnen Zeit-Stromstärke-Bereichen sowie die Erklärung der in den Bildern ① und ② verwendeten Bereichskurzzeichen AC-1, AC-2 ... bzw. DC-1, DC-2 ... enthält Tafel ①. Die Wirkungen von elektrischen Strömen durch den Körper von Nutztieren können der Vornorm DIN V VDE V 0140-479-3 [2] und von Blitzströmen auf Menschen und

Nutztiere der Vornorm DIN V VDE V 0140-479-4 [3] entnommen werden.

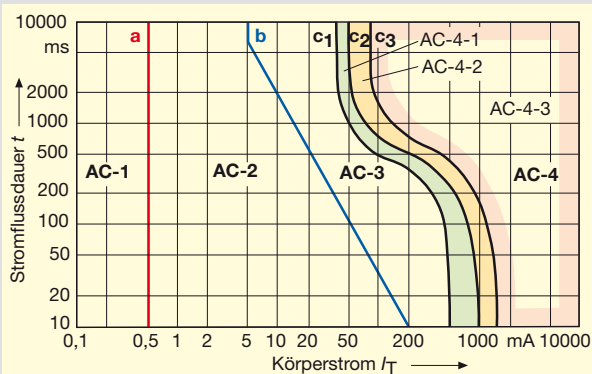
Die in den Bildern angegebenen Flimmernschwelle basieren auf gesicherten tierexperimentellen Untersuchungsergebnissen, die auf Menschen für den präkären Stromweg: linke Hand – beide Füße (Körperlängsdurchströmung) übertragen wurden. Mithilfe des sog. *Herzstromfaktors* [1] können die Schwellenströme näherungsweise für andere Stromwege ermittelt werden.

### Tetanisierungs-Schwellenstrom

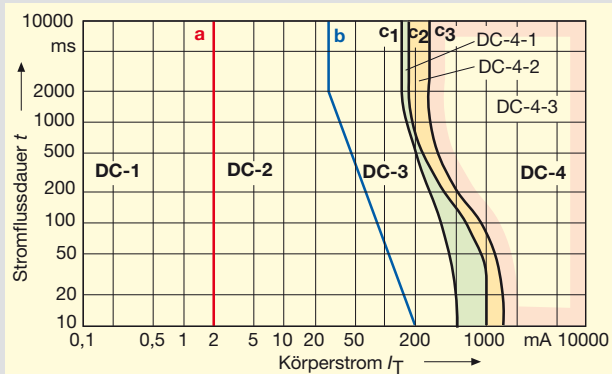
Kleinstwert des elektrischen Stroms, bei dem ein Mensch während des Stromflusses durch seinen Körper sich nicht mehr bewegen und folglich einen in den Händen gehaltenen elektrisch aktiven Leiter (Elektrode) nicht mehr willkürlich loslassen kann.

#### Wechselstrom

Der Wert des Tetanisierungs-Schwellenstroms (engl. tetanization threshold current) ist in niederfrequenten Wechselstromsystemen – abhängig von der jeweiligen Stromflussdauer und anderen Faktoren – dem Bild ① (Grenznlinie b) zu entnehmen. Danach sind – bezogen auf eine Wahrscheinlichkeit von 50 % – bei einer Stromstärke z. B. von AC 15 mA bereits starke unwillkürliche Muskelkontraktionen wahrscheinlich (s. Tafel ①), wenn der Strom mindestens 1 s lang durch den Körper fließt. Bei erwachsenen Personen weiblichen Geschlechts liegt der Tetanisierungs-Schwellenstrom – auch „Immobilisierungsschwellenstrom“ oder kurz „Krampfschwelle“ genannt – wegen der bei Frauen i. Allg. etwas weniger starken Muskeln häufig nur bei etwa zwei Drittel des bei Männern gemessenen Werts.



① Zeit-Stromstärke-Bereiche für Menschen bei Wechselstrom (AC)

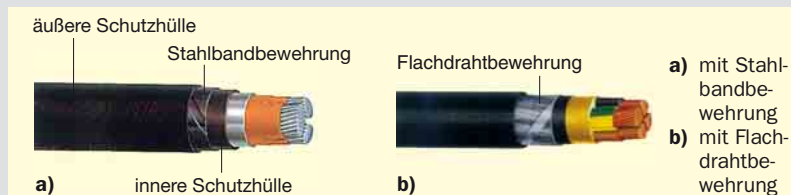


② Zeit-Stromstärke-Bereiche für Menschen bei Gleichstrom (DC)

Tafel 1 Physiologische Auswirkungen bei den Zeit-Stromstärke-Bereichen nach den Bildern 1 und 2

| Bereiche Wechselstrom ① | Gleichstrom ② | Bereichsgrenzen Wechselstrom ①                       |                     | Physiologische Wirkungen  |
|-------------------------|---------------|--|---------------------|---|
|                         |               | Wechselstrom ①                                       | Gleichstrom ②       |   |
| AC-1                    | DC-1          | $\leq 0,5 \text{ mA}$                                | $\leq 2 \text{ mA}$ | Üblicherweise keine Schreckreaktion. Bei <b>Gleichstrom</b> leicht stechende Empfindungen beim Ein- und Ausschalten.  |
| AC-2                    | DC-2          | $> 0,5 \text{ mA}$                                   | $> 2 \text{ mA}$    |   |
| AC-3                    | DC-3          | bis zur Linie a                                      |                     | Unwillkürliche Muskelkontraktionen; i. Allg. keine schädlichen physiologischen Wirkungen.   |
| AC-4                    | DC-4          | bis zur Linie b <sup>1)</sup>                        |                     |   |
| AC-3                    | DC-3          | oberhalb der Linie b bis zur Kurve c <sub>1</sub>    |                     | Starke unwillkürliche Muskelkontraktionen; Immobilität (Muskelverkrampfung); Atemschwierigkeiten; reversible Störungen der Herzfunktion. Wirkungen zunehmend mit Stromstärke und Durchströmungsdauer; i. Allg. keine organischen Schäden. |
| AC-4                    | DC-4          | oberhalb der Kurve c <sub>1</sub>                    |                     |   |
| AC-4-1                  | DC-4-1        | zwischen den Kurven: c <sub>1</sub> – c <sub>2</sub> |                     | Zunehmend mit Stromstärke und Durchströmungsdauer können gefährliche pathophysiologische Wirkungen, wie schwere elektrische Verbrennungen, Atem- und Herzstillstand, zusätzlich zu den Wirkungen von Bereich AC-3/DC-3 auftreten.         |
| AC-4-2                  | DC-4-2        | c <sub>2</sub> – c <sub>3</sub>                      |                     |   |
| AC-4-3                  | DC-4-3        | oberhalb der Kurve c <sub>3</sub>                    |                     |   |
|                         |               | Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern:           |                     |   |
|                         |               | bis etwa 5 %   |                     |   |
|                         |               | bis etwa 50 %  |                     |   |
|                         |               | über 50 %  |                     |   |

<sup>1)</sup> Für Stromflussdauern unter 10 ms bleibt die Grenze des Körperstroms (Linie b) konstant auf einem Wert von 200 mA.



③ Starkstromkabel

### Gleichstrom

Reiner oder geglätteter Gleichstrom mit einer Restwelligkeit unter 10 % erzeugt üblicherweise keine Immobilität (Verkrampfung) der Skelettmuskulatur, die das Loslassen eines Strom führenden Leiters erschwert oder gar verhindert. Die Muskelzellen kontrahieren lediglich beim Ein- und Ausschalten eines Gleichstromkreises. Nach einem kurzen, mitunter schmerzhaften, einmaligen Muskelkrampf kann die betreffende Person einen aktiven elektrischen Leiter i. Allg. sofort wieder loslassen (wegschleudern). Ein „tetanisches Klebenbleiben“ des Leiters an der Haut einer Hohlhand gibt es bei Gleichstrom praktisch nicht [4].

## Anlage im Freien

Elektrische Anlage außerhalb von geschlossenen Gebäuden (Außenanlage), die nicht oder nur zum Teil gegen unmittelbare Witterungseinflüsse, wie Regen, Schnee, Hagel u. dgl., geschützt ist. Im Freien sowie in Außenräumen (Außenbereichen), z. B. auf Balkonen, Tribünen oder an Tankstellen, herrschen stets die

gleichen Temperaturen und die gleiche relative Luftfeuchte, wie sie durch das örtliche Klima gegeben sind. Elektrische Anlagen im Freien (engl. outdoor installations) müssen den dort auftretenden rauen klimatischen Beanspruchungen standhalten. Die (Wasser-)Schutzart nach DIN EN 60529 [5] darf folglich bei

- **geschützten** (überdachten) Anlagen, z. B. in Carports, den Code IPX1 (Tropfwasserschutz) und bei
- **ungeschützten** (nicht überdachten) Anlagen im Freien den Code IPX3 (Sprühwasserschutz) nicht unterschreiten.

Schaltanlagen im Freien werden „Freiluftschaltanlagen“ (engl. outdoor equipment assemblies) genannt.

## Bewehrung

Aufbauelement von Kabeln zum Schutz gegen deren mechanische Beschädigung. Bewehrungen dienen darüber hinaus als Tragorgan für das betreffende Kabel, ferner zur Aufnahme von Zugkräften, z. B. während der Kabelverlegung, sowie als Schutzvorkehrung (Schirm) gegen das Eindringen unerwünschter elektrischer,

magnetischer oder elektromagnetischer Felder in das Kabelinnere. Wenn Bewehrungen die Bedingungen nach DIN VDE 0100-540 [6] erfüllen, dürfen sie in Niederspannungsanlagen auch als Schutz- bzw. Erdungsleiter verwendet werden.

### Ausführung

Bewehrungen (engl. armours) befinden sich grundsätzlich unter einer äußeren Schutzschicht. Sie bestehen i. Allg. aus

- Stahlbändern (Stahlbandbewehrung), Beispiel s. Bild ③ a), oder aus
- runden bzw. flachen Stahldrähten (Rund- oder Flachdrahtbewehrung), Beispiel s. Bild ③ b),

welche die innere Schutzschicht des jeweiligen Kabels konzentrisch umschließen. Zur Sicherung der Biegsamkeit der Kabel werden Stahlbandbewehrungen mit einer Lücke aufgebracht. Dabei bedeckt die obere Lage des Stahlbands die jeweilige Lücke der darunter befindlichen Lage.

Rund- und Flachdrahtbewehrungen werden als **offene Bewehrung** bezeichnet, wenn der Bedeckungsgrad 30 % nicht überschreitet. Bei einem Bedeckungsgrad über 75 % handelt es sich um **geschlossene Bewehrungen**.

### Anwendung

Stahlband- oder rund- bzw. flachdrahtbewehrte Kabel werden vorzugsweise in Außenanlagen, im Freien, bei Verlegung in Erde oder Wasser, z. B. in Seen, sowie in unterirdischen Kanälen und Gruben verwendet. Diese Kabel bieten einen erhöhten Schutz gegen Beschädigungen durch Nagetiere. Einadrige Starkstromkabel in Drehstromsystemen sollen wegen der zusätzlichen Verluste nur mit offener Bewehrung oder einer Bewehrung aus unmagnetischem Werkstoff verwendet werden. Ferromagnetische Bewehrungen aus Eisen oder Stahl sind hierfür folglich ungeeignet.

R. Müller

### Literatur

- [1] Vornorm DIN IEC/TS 60 479-1 (VDE V 0140-479-1):2007-05 Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere; Allgemeine Aspekte.
- [2] Vornorm DIN V VDE V 0140-479-3:2001-04 –; Wirkungen von Strömen durch den Körper von Nutztieren.
- [3] Vornorm DIN V VDE V 0140-479-4:2005-10 –; Wirkungen von Blitzschlägen auf Menschen und Nutztiere.
- [4] Biegelmeier, G.: Wirkungen des elektrischen Stroms auf Menschen und Nutztiere. Lehrbuch der Elektropathologie. Berlin, Offenbach: VDE-Verlag, 1986.
- [5] DIN EN 60529 (VDE 0470-1):2000-09 Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code).
- [6] DIN VDE 0100-540:2007-06 Errichten von Niederspannungsanlagen; Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel; Erdungsanlagen, Schutzleiter und Schutzpotentialausgleichsleiter.