

Band 2, 2. aktualisierte Auflage
Elektrische Sicherheit in der Medizintechnik

TÜV Media

Medizinproduktesicherheit

A. Gärtner



Medizinproduktesicherheit



**Band 2, 2.aktualisierte Auflage
Elektrische Sicherheit in der Medizintechnik**

TÜV Media

Medizinproduktesicherheit

Medizinproduktesicherheit

A. Gärtner

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie. Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

ISBN: 978-3-8249-1848-5

© by TÜV Media GmbH, TÜV Rheinland Group, Köln 2015

® TÜV, TUEV und TUV sind eingetragene Marken der TÜV Rheinland Group.

Eine Nutzung und Verwendung bedarf der vorherigen Zustimmung durch das Unternehmen.

Gesamtherstellung: TÜV Media GmbH, Köln

Printed in Germany 2015

Band 2

Elektrische Sicherheit in der Medizintechnik

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort zur 2. aktualisierten und überarbeiteten Auflage	9
	Einleitung	11
1	Elektrotechnische Grundlagen der Elektrizität	15
2	Elektrounfall	25
2.1	Niederspannungs- und Hochspannungsunfall	28
2.2	Elektrounfälle in Deutschland	32
2.3	Elektrounfälle im Krankenhausbereich	34
2.4	Gefährdungen durch fehlerhafte oder falsch konstruierte Komponenten	35
3	Sicherheit der Stromversorgung im Krankenhaus	37
3.1	VDE 0100 Teil 710 – Anforderungen an die elektrische Anlage im Krankenhaus	37
3.1.1	Systeme der Stromversorgung (TN-C-, TN-S-, IT-Netz)	39
3.1.1.1	Auslegung der Trenntransformatoren für einen OP (Med. IT-Netz)	42
3.1.2	Einteilung der medizinisch genutzten Räume in Gruppen	43
3.1.3	Überwachung des Isolationswiderstandes beim IT-Netz	48
3.1.4	Anforderung an die Stromversorgung für Sicherheitszwecke nach VDE 0100 Teil 710:2012 (Sicherheitsstromquellen)	49
3.1.5	Anschluss von Medizinischen elektrischen Systemen (MES) an die Spannungsversorgung in Räumen der Gruppe 2	53
3.2	Integrierte Systeme und VDE 0100 Teil 710	54
3.3	Potenzialausgleich (PA)	58
3.3.1	Baulicher Potenzialausgleich	59
3.4	Normale TN-S-Netzanschlüsse im Raum der Gruppe 2 (Med. IT-Netz)	65

4	Elektrische Sicherheit in der Medizintechnik	71
4.1	Normen und Sicherheit in der Medizintechnik	75
4.2	DIN EN 60601-1	77
4.2.1	Klassifikation nach Grad des Schutzes gegen elektrischen Schlag	82
4.2.2	Isolierung der Anwendungsteile und Bedeutung der Typklassen B, BF und CF	88
4.2.3	Ableitströme	93
4.2.4	Vorrichtung für den zusätzlichen Potenzialausgleich an aktiven Medizinprodukten	97
4.2.5	Medizinische elektrische Systeme (MES)	99
4.2.5.1	Kombinationen von ME-Geräten gemäß Anhang I (informativ) der DIN EN 60601-1	102
4.2.5.2	Patientenumgebung	108
4.3	DIN EN 62353 (VDE 0751-1) Erstprüfungen und Wiederholungs- prüfungen	110
4.3.1	DIN EN 62353:2008-08	113
4.4	VDE 0701	115
4.5	VDE 0702	117
4.6	DIN EN 60950 Sicherheit von Einrichtungen der Informationstechnik	120
4.7	DIN EN 61010 Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte	122
4.8	Sichere Stromversorgung über Mehrfachsteckdosen	123
4.8.1	Problematik der Mehrfachsteckdosen	123
4.8.2	Anforderungen an Mehrfachsteckdosen, 3. Ausgabe DIN EN 60601-1	126
4.8.3	Netzleitungen und Überlastung	128
4.9	Beispiele für Gefahrenpotenziale	133
5	Elektrische Sicherheit – Bezugswerte (Erstgemessene Werte) in der Medizintechnik nach DIN EN 62353 (VDE 0751-1)	141
5.1	Bezugswerte	142
5.2	Entwicklung der Prüfnorm DIN EN 62353:2008 (VDE 0751-1)	144
5.3	Anforderungen der Medizinprodukte-Betreiberverordnung (MPBetreibV)	147
5.4	Ermittlung der Bezugswerte der elektrischen Sicherheit nach MPG und MPBetreibV vor der Inbetriebnahme	150
5.5	DIN EN 62353:2012	152
6	DGUV Vorschrift 3 – Elektrische Anlagen und Betriebsmittel (BGV A3)	153
6.1	Historische Bedeutung der Berufsgenossenschaften und Unfallverhütungsvorschriften (UVV)	153
6.2	Ablösung der UVV'en durch das Unfallversicherungs- modernisierungsgesetz (UWMG)	154

6.3	DUGV Vorschrift 3	155
7	Zusätzlicher Potenzialausgleich (ZPA) in der Medizintechnik	165
7.1	VDE-Anwendungsregeln	165
7.2	Grenzwertberechnung	166
7.3	Vorrichtung für den zusätzlichen Potenzialausgleich an aktiven Medizinprodukten	170
7.4	Nutzung des ZPA bei Medizinprodukten	172
7.5	Zusätzlicher Potenzialausgleich bei medizinischen elektrischen Systemen	174
8	Statische Elektrizität in der Medizin – BGR 132 und TRBS 2153	177
8.1	Elektrostatik in der Medizin	177
8.2	Frühere BGR 132 „Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen“	178
8.3	Ableitfähige Fußböden	182
9	Sauerstoff und Elektrizität	183
9.1	Anforderungen an Medizinprodukte und Nicht-Medizinprodukte in sauerstoffangereicherter Atmosphäre	183
9.2	Gefährdungen der Patientensicherheit durch Sauerstoff	185
10	Zusammenfassung und Ausblick	187

Vorwort zur 2. aktualisierten und überarbeiteten Auflage „Elektrische Sicherheit in der Medizintechnik“

Die erste Auflage des Bandes 2 „Elektrische Sicherheit“ in der Reihe Medizinproduktesicherheit war Anfang 2014 vergriffen.

Da besonders dieser Band in der Reihe Medizinproduktesicherheit nach wie vor nachgefragt wird, habe ich mich zusammen mit dem Verlag TÜV Media GmbH entschlossen, den vorliegenden Band zu aktualisieren und zu überarbeiten.

Die elektrische Sicherheit hat unverändert nach wie vor einen hohen Stellenwert in der Medizintechnik, sodass die 2. Auflage wieder die Grundlagen, die einschlägigen, aktuellen Normen und die Schutzphilosophien beschreibt, um Patienten, Anwender und Dritte vor den Gefahren des elektrischen Stromes zu schützen.

Ich weise darauf hin, dass ich keinerlei Haftung für die absolute Richtigkeit und Aktualität der beschriebenen Sachthemen übernehmen kann. Insbesondere die angegebenen und zitierten Websites können sich ohne Information aktuell ändern und nicht mehr zugänglich sein. Die zitierten Quellen und die Literatur sind unter Beachtung der Urheberrechte angegeben, sofern sie – bei Internet-Informationen – noch zugänglich sind. Für die von Dritten zur Verfügung gestellten Bilder sind die Quellen angegeben. Die zur Illustration dieses Buches verwendeten Bilder und Abbildungen stammen – wenn nicht anders angegeben – vom Verfasser. Nicht bei allen Abbildungen war die Herkunft bzw. die Quelle mehr zu klären. Bei allen fremden Abbildungen haben sich Autor und Verlag bemüht, die Herkunft zu klären und die Quelle anzugeben. Sollte trotzdem eine Angabe falsch sein, so bitte ich um eine entsprechende Information.

Armin Gärtner, August 2014
Ingenieurbüro für Medizintechnik
armin.gaertner@t-online.de

Der Verfasser ist ö. b. u. v. Sachverständiger der IHK Düsseldorf für Medizintechnik und Telemedizin.

Einleitung

Die heutige Medizintechnik ist ohne elektrische Energieversorgung nicht denkbar. Abbildung 1 zeigt beispielhaft, wie viele medizinische elektrische Geräte (aktive Medizinprodukte und Nicht-Medizinprodukte) im Umfeld eines Patienten vorhanden sind und eingesetzt werden können.

In der Medizin/Medizintechnik hat die elektrische Sicherheit einen hohen Stellenwert, weil ein Patient unter besonderen Umständen mit elektrisch betriebenen Geräten verbunden und damit den Gefahren des elektrischen Stromes ausgesetzt ist:



Abbildung 1: Aktive Medizinprodukte in der Patientenumgebung

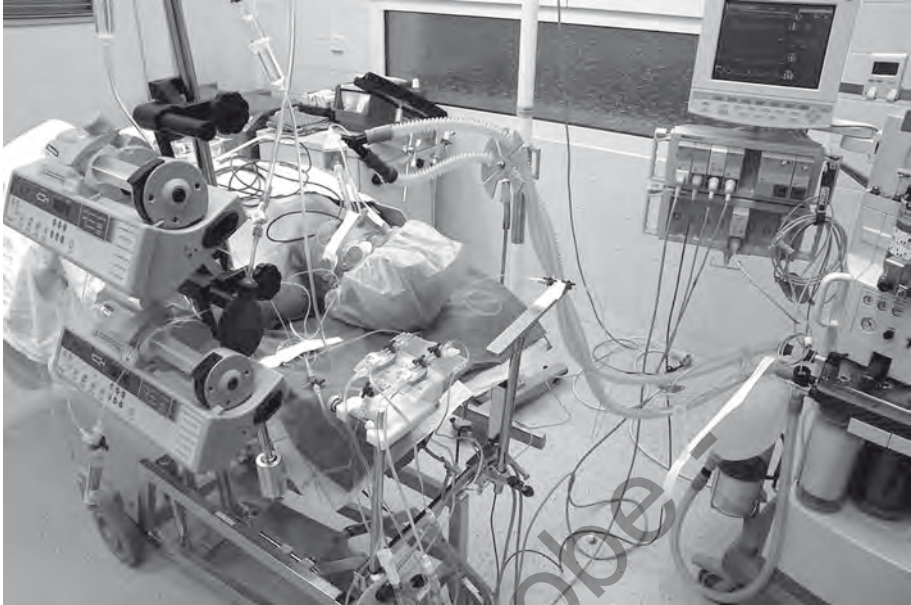


Abbildung 2: Patient im OP [Quelle Dr. Krauskopf, Wuppertal]

- er ist sediert
- er ist relaxiert
- er ist narkotisiert
- der natürliche Hautwiderstand ist durch künstliche, z. T. leitfähige Zugänge aufgehoben.

Dies bedeutet, dass bei einer Narkose die normalen, natürlichen Schutzreflexe eines Patienten aufgehoben sind. Daher können Ableitströme von Geräten und Ausgleichsströme, die z. B. aus einem leitfähige Gebilde eines Krankenhauses wie dem IT-Netzwerk in die Patientenumgebung fließen, einen Patienten gefährden. Bereits geringe Ströme können über Zugänge durch das Herz fließen und Kammerflimmern hervorrufen.

Der Schutz des Patienten vor den Gefahren des elektrischen Stromes ist eine der Zielsetzungen der EG-Richtlinie Medical Device Directive 93/42/EWG (MDD), die in Deutschland in das Medizinproduktegesetz (MPG) umgesetzt wurde. Die auf dem MPG basierende Medizinprodukte-Betreiberverordnung (MPBetreibV) verpflichtet den Betreiber von Medizinprodukten, diese nach den geltenden Regeln der Technik, Unfallverhütungsvorschriften und sonstigen Regelwerken zu betreiben, regelmäßig zu prüfen und instand zu halten. Zwar definiert die MPBetreibV den Begriff des Betreibers nicht, er lässt sich aber aus § 2 Abs. (2) der Verordnung ableiten. Unter Betreiber versteht man die Organisation wie ein Krankenhaus, das die Sachherrschaft über

Medizinprodukte ausübt und für den sicheren Betrieb, die sichere Anwendung und korrekte Instandhaltung verantwortlich ist.

Die Schutzphilosophien der elektrischen Sicherheit in der Medizintechnik lassen sich in vier Forderungen zusammenfassen:

- Der Raum muss sicher sein.
- Die elektrische Energieversorgung muss sicher sein.
- Das Gerät muss sicher sein.
- Die Anwendung muss sicher sein.

Dieses Buch beschreibt für alle interessierten Leser aus dem Gesundheitswesen (Techniker, Ärzte, Pflegepersonal und Geschäftsführungen) die Grundlagen, die Normen und alle sonstigen Aspekte, die hinsichtlich der elektrischen Sicherheit in der Medizintechnik einzuhalten sind.

Kapitel 1 und 2 beschreiben die Grundlagen der technischen Sicherheit, der elektrischen Größen und die Auswirkungen von Elektrounfällen. Kapitel 3 gibt einen kurzen Überblick über die elektrotechnischen Voraussetzungen, wie sie vor allem in der VDE 0100 Teil 710 mit den Raumgruppen, dem besonderen Potenzialausgleich und der Sicherheitsstromversorgung niedergelegt sind. Die Kenntnisse der VDE 0100 Teil 710 sind für die sichere Anwendung von Medizinprodukten aufgrund der Raumdefinitionen und der besonderen Stromversorgung in den Räumen der Anwendungsgruppe 2 mit dem Med. IT-Netz unabdingbar.

Kapitel 4 widmet sich schwerpunktmäßig der Elektrischen Sicherheit in der Medizintechnik, indem die Normen wie DIN EN 60601-1 3. Ausgabe (3rd), die Ableitströme exemplarisch und Beispiele für Gefahrenpotenziale vorgestellt werden. Kapitel 5 und 6 beschreiben die erforderlichen prophylaktischen Maßnahmen der elektrischen Sicherheit, wie sie die Unfallverhütungsvorschrift DGUV 3 (bisherige BGV A3) und die Philosophie der sogenannten Bezugswerte (früher Erstgemessene Werte) fordern. Kapitel 7 definiert und beschreibt bildhaft die Bedeutung des zusätzlichen Potenzialausgleiches für aktive Medizinprodukte.

Der Band 2 „Elektrische Sicherheit in der Medizintechnik“ fasst beispielhaft die wichtigsten Aspekte der elektrischen Sicherheit ohne Anspruch auf Vollständigkeit zusammen, die der Betreiber, Anwender und Techniker kennen muss, um die elektrische Sicherheit für den Patienten zu gewährleisten.

Hinweis: Wird eine Norm ohne Erscheinungsdatum im Text erwähnt (Verweis auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.), so ist immer die jeweils neueste gültige Ausgabe der angesprochenen Norm gemeint.

Wird eine Norm mit Ausgabedatum im Text erwähnt, so ist nur die betreffende Norm gemeint, auf die Bezug genommen wird.

Sofern sich für die in dieser aktualisierten 2. Auflage angeführten technischen Normen als Regeln der Technik Überarbeitungen bzw. Neuausgaben abzeichnen, werden diese kurz vorgestellt.

Soweit Normen, Unfallverhütungsvorschriften usw. vom Autor erläutert und besprochen werden, geschieht dies nach bestem Wissen und Gewissen und folgt allein der Zielsetzung der Buchreihe, einen Überblick einer praktischen Umsetzung zu geben. Sie sind, soweit nicht anders gekennzeichnet, ausschließlich Erfahrungswerte und die unverbindliche Ansicht des Autors, die den Leser nicht davon entbindet, sich selbst mit den zitierten Vorschriften, Regeln, Normen und Gesetzen gründlich auseinanderzusetzen.

Die juristische Verantwortung für die korrekte Umsetzung des Regelwerkes, insbesondere auch für die Beachtung einer etwaig geänderten Gesetzeslage, liegt allein beim Leser.

- Leseprobe -

1 Elektrotechnische Grundlagen der Elektrizität

Wenn ein Mensch spannungsführende Teile (230 V Wechselspannung) berührt und dabei Schädigungen erleidet, spricht man von einem sogenannten Stromunfall.

Um die Vorgangsweise und die Schädigungsmechanismen im Körpergewebe bei der Berührung spannungsführender Teile zu verstehen, werden nachfolgend die physikalischen Grundlagen der Elektrizität erläutert:

Spannung bzw. Spannungsdifferenz

Die **elektrische Spannung** ist eine physikalische Größe, die angibt, wie viel Arbeit bzw. Energie nötig ist, um ein Objekt mit einer bestimmten elektrischen Ladung entlang eines elektrischen Feldes zu bewegen.

Das Formelzeichen der Spannung ist U – abgeleitet vom lat. urgere (drängen, treiben, drücken). Die SI-Einheit ist das *Volt* (V), benannt nach Alessandro Volta.

Auf „natürliche“ Weise entsteht elektrische Spannung zum Beispiel durch Reibungselektrizität wie bei Gewittern. Zur technischen Nutzung werden Spannungen meistens durch elektromagnetische Induktion (Kraftwerk) sowie durch Elektrochemie erzeugt.

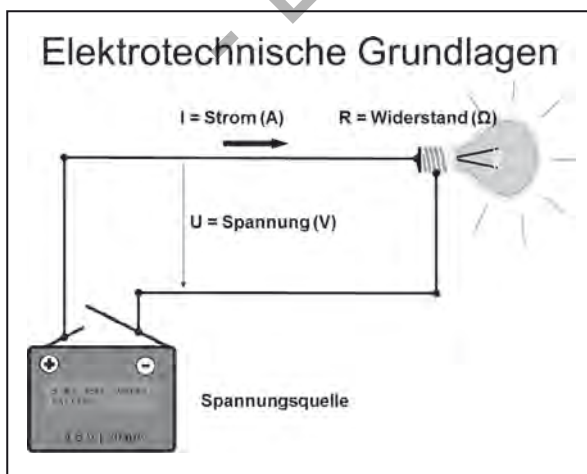


Abbildung 1.1: Zusammenhang zwischen Spannung, Strom und Widerstand

Strom kann nur fließen, wenn **an zwei verschiedenen Punkten eine Spannungsdifferenz** anliegt. Diese Spannungsdifferenz kann zwischen zwei stromführenden Teilen selbst und/oder zwischen Erde, einer Person, einem Tier etc. und einem stromführenden Leiter bestehen. Ohne Spannungsdifferenz kann kein Strom fließen (Vögel sitzen vergnügt auf der Starkstromleitung).

Besteht eine Spannungsdifferenz zwischen Stromleiter und Mensch (zu große Annäherung an einen herabhängenden Stromleiter), so kann bei hohen Spannungen ein Überschlag entstehen – es kommt zu einem Lichtbogen. Dabei beträgt die überbrückbare Distanz in der Luft bis zu 1 cm/1000 Volt, was bedeutet, dass bei einer Hochspannungsleitung mit 380 kV (Kilovolt) ein Lichtbogen bis 4 m möglich ist. Klettern Personen auf Eisenbahnwaggons, über denen Oberleitungen gespannt sind, können Spannungsüberschläge mit tödlichem Ausgang auftreten, da insbesondere Vollbahnen Wechselspannungen von 15 kV ($16\frac{2}{3}$ Hz) verwenden.

→ **Vorsicht bei herabhängenden stromführenden Leitungen!** ✓



Abbildung 1.2: Lebensgefahr bei Hochspannungsleitungen der Bahn [15 kV, $16\frac{2}{3}$ Hz]

Elektrischer Strom und Stromstärke

Elektrischer Strom ist die Bezeichnung für eine gerichtete Bewegung von Ladungsträgern, zum Beispiel von Elektronen oder Ionen in einem Stoff oder im Vakuum.

Das Formelzeichen für die zeitlich konstante elektrische Stromstärke ist **I**. Die zeitabhängige Stromstärke wird mit **i** oder auch als **i(t)** bezeichnet. Gemessen wird die Stromstärke in Ampere, benannt nach dem französischen Physiker und Mathematiker André Marie Ampère. Die SI-Einheit ist das Ampere A.

Die Stromstärke (A – Ampere) ist abhängig vom Widerstand und der Spannungsdifferenz. Der hohe Widerstand der Isolatoren bei stromführenden Freileitungen verhindert einen Stromfluss in die Erde (Strom fließt immer entlang des geringsten Widerstandes). Damit überhaupt Strom fließen kann, ist eine entsprechende Spannung notwendig.

Eine Stromstärke **< 0,5 mA** ist nicht spürbar; bei höheren Stromstärken wird ein Kribbeln wahrgenommen (z. B. bei einer Reizstrombehandlung in der Medizin). Im Bereich **15–25 mA** kommt es (bei 230 Volt) schon zu starken Muskelkontraktionen – die Loslassgrenze wird bereits überschritten. Da die Beugemuskulatur überwiegt, ist ein Loslassen des Stromträgers nicht mehr möglich. Ab **25 mA** kann Kammerflimmern entstehen, ab **50–80 mA** sind Bewusstlosigkeit und Kreislaufstillstand wahrscheinlich.

Tabelle 1.1: Stromstärken

Strom bei einer LED:	ca. 0,02 A = 20 mA
Strom bei einer Taschenlampe:	ca. 0,2 A = 200 mA
Strom bei einem Ventilator:	ca. 0,12 A = 120 mA
Strom einer Zimmerbeleuchtung:	ca. 0,2 A bis 1 A (200 mA bis 1.000 mA)
Strom zum Betrieb einer Elektrolokomotive:	über 300 A
Strom in einem Blitz:	ca. 100.000 A bis 1.000.000 A

Widerstand

Der **elektrische Widerstand** ist in der Elektrotechnik ein Maß dafür, welche elektrische Spannung erforderlich ist, um einen bestimmten elektrischen Strom durch einen elektrischen Leiter fließen zu lassen. Als Formelzeichen für den elektrischen Widerstand wird in der Regel **R** – wahrscheinlich abgeleitet vom Lateinischen *resistere* für „widerstehen“ – verwendet. Der Widerstand hat die SI-Einheit Ohm, sein Einheitenzeichen ist das große Omega (Ω).

- Existiert ein hoher Widerstand innerhalb einer Spannungsdifferenz (z. B. Luft hat einen sehr hohen Widerstand), so kann nur wenig Strom fließen.
- Kleidung und die Haut selbst haben generell einen hohen Widerstand, der allerdings bei Nässe enorm sinkt.

- Blutgefäße und Nerven haben einen sehr niedrigen Widerstand. Der Gesamtwiderstand des Körpers beträgt ca. 1.000 bis 1.200 Ohm.

Ohm'sches Gesetz – Dieses Gesetz besagt, dass der Widerstand des Körpers darüber entscheidet, wie viel Strom bei einer vorgegebenen Spannung den Körper durchströmt.

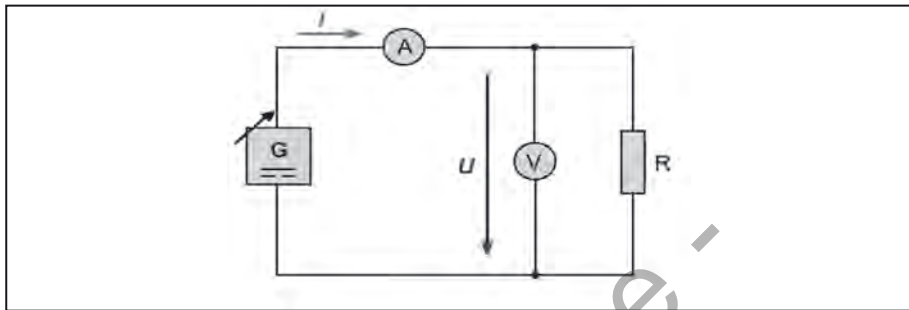


Abbildung 1.3: Ohm'sches Gesetz

Strom = Spannung / Widerstand

Bei niedrigem Hautwiderstand (Schweiß, keine gut isolierenden Schuhe etc.) fließt wesentlich mehr Strom durch den Organismus als bei trockener Haut und guter Schuhsohle (Elektriker prüfen auf der HOLZ-Leiter stehend mit den Fingern stromführende Leitungen – **NICHT empfehlenswert und nicht nachahmenswert!**).

Abbildung 1.4 zeigt, dass bei einer defekten Schreibtischlampe (Schutzleiter defekt, Isolationsschaden) und der gleichzeitigen Berührung einer Heizung (Erdpotenzial) Strom über den Menschen fließt, wenn dieser eine Verbindung von der defekten Lampe zum geerdeten Heizungskörper herstellt.

Stromarten

Fließt der Strom nur in eine Richtung, ändert er also die Polarität nicht, dann spricht man von **Gleichstrom** (z. B. Telefonnetz, Spielzeugetisenbahn, Straßenbahn etc.).

Wechselt der Strom ständig die Richtung bzw. die Polarität, so spricht man von **Wechselstrom**. Steckdosen im Haushalt führen **230 Volt = Haushaltsstrom**.

Elektrische Verbraucher mit höherem Leistungsbedarf – wie z. B. Chirurgische Bildverstärker gemäß Abbildung 1.5 – werden mit sogenanntem **Drehstrom** betrieben. Dieser führt eine höhere Spannung (380 Volt) und entspricht 3 um 120° verschobenen Wechselspannungen. Umgangssprachlich wird der Begriff „Drehstrom“ verwendet. Wechsel- und Drehströme haben medizinisch gesehen die gleichen Auswirkungen. Wechselstrom ist für den Organismus aber grundsätzlich gefährlicher als Gleichstrom, da jeder Polaritätswechsel die vulnerable Phase des Herzens treffen kann. Da-



Abbildung 1.4: Stromfluss über einen Menschen



Abbildung 1.5: Drehstromanschluss

runter versteht man diejenige Phase im Erregungszyklus des Herzens, bei der ein Teil des Herzens refraktär, ein anderer Teil aber erregbar ist. Ein Polaritätswechsel darf daher nicht in diese Phase fallen, weil ansonsten Kammerflimmern ausgelöst werden kann. Dies bedeutet, dass der elektrische Eigenrhythmus des Herzens gestoppt wird, in den Herzkammern treten ungeordnete Erregungen auf, wodurch der Herzmuskel sich nicht mehr geordnet kontrahieren kann. Aufgrund der fehlenden Pumpleistung des Herzmuskels führt das Kammerflimmern unbehandelt zum Tode des Betroffenen.

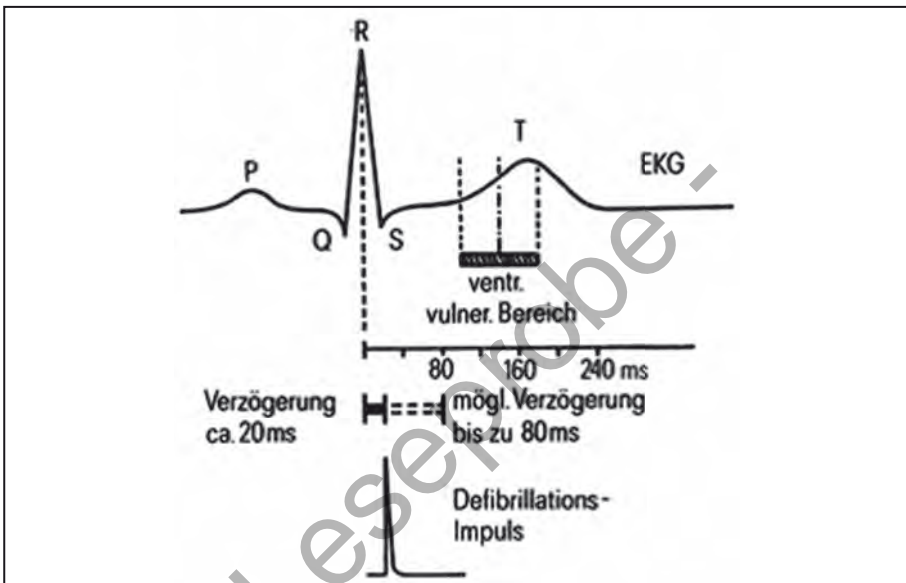


Abbildung 1.6: Vulnerable Phase des Herzens

Für den Haushaltsstrom gilt, dass ab etwa 25 mA Muskelkontraktionen und Atembeschwerden auftreten können. Ab etwa 80 mA muss bereits mit Bewusstlosigkeit sowie Atemstillstand gerechnet werden. Dabei ist die Dauer des Stromkontaktes beim Wechselstrom von wesentlicher Bedeutung und besonders gefährlich, wenn die Durchströmungsdauer des Wechselstroms mehr als 1 Sekunde beträgt. Im Hochspannungsbereich kommt bei längerem Kontakt noch die ausgedehnte thermische Schädigung des Gewebes hinzu.

Technische Stromarten

Wechselstrom

Bei Wechselstrom (engl. Alternating Current, abgekürzt AC) kommt es zu einer laufenden, meist periodischen Änderung der Stromrichtung. Diese periodische Ände-

ung wird als Frequenz [Hz] bezeichnet und gibt an, wie oft sich die Stromrichtung pro Sekunde ändert. Der technische Vorteil von Wechselstrom ist seine leichte Umwandelbarkeit zwischen verschiedenen Spannungshöhen mithilfe eines Transformators. Daher findet Wechselstrom vor allem in öffentlichen Stromversorgungsnetzen Anwendung.

In Europa und vielen anderen Ländern der Welt beträgt die Netzfrequenz der Stromversorgung 50 Hz. In Nordamerika und Teilen von Japan kommen hingegen Netzfrequenzen von 60 Hz zum Einsatz.



Abbildung 1.7: Wechselspannung/-strom

Gleichstrom

Als Gleichstrom (engl. Direct Current, abgekürzt DC) wird jener elektrische Strom bezeichnet, welcher über die Zeit seine Richtung und Stärke nicht ändert, also zeitlich konstant ist.

Praktisch alle elektronischen Geräte im Haushalt wie Radio- und Fernsehempfänger, Computer oder auch die Steuerungen heutiger Waschmaschinen benötigen für ihre elektronische Steuerung Gleichstrom.

Mischstrom

Eine Kombination aus Wechselstrom und Gleichstrom wird Mischstrom genannt. Dabei kommt es nicht unbedingt zu einer kompletten Richtungsänderung des Mischstromes, sondern der zeitlich konstante Gleichstromanteil wird durch den zusätzlich aufgebrachten Wechselstrom in seiner Stärke laufend und meist periodisch geändert (pulsierender Gleichstrom). Dieser Mischstrom tritt beispielsweise bei Gleichrichtern auf und wird mit Kondensatoren in Netzteilen geglättet. Diese elektrische Spannung wird auch als Brummspannung bezeichnet.

Bei Durchströmen des menschlichen Körpers von Arm zu Arm (siehe Abbildung 1.4) treten bei einem niederfrequenten elektrischen Strom folgende Wirkungen auf:

- 1 mA merklicher Reiz
- 10 mA Kontraktion der Armmuskulatur
- 25 mA Atmungsbehinderung
- 80 mA Rhythmusstörungen des Herzens
- 100 mA Herzkammerflimmern
- Unter ungünstigen Umständen können schon Spannungen ab 65 V tödliche Stromstärken verursachen.

Die allgemeine Regel lautet: 65 V Wechselspannung bzw. 120 V Gleichspannung sind die Grenze der höchstzulässigen Berührungsspannung (vgl. TAEG 2004 IV/1.1). Ab etwa 65 Volt Wechselspannung ist Spannung für den Menschen gefährlich, weil der Übergang von der Haut zum Körperinneren überwunden wird und die Leitfähigkeit des menschlichen Körpers erheblich zunimmt.

Doch nicht die Spannung U , sondern die Stromstärke I ist für einen tödlichen Schlag verantwortlich. Da sich jedoch mit der Spannung auch der fließende Strom erhöht (siehe Ohm'sches Gesetz), gilt: Je höher die Spannung, desto gefährlicher! Eine Stromstärke von 50 mA kann bereits tödlich sein.

Die Schädigung bei höheren Strömen erfolgt durch Verbrennung des Gewebes. Die Gefährlichkeit kleiner Wechselströme rührt von der Gefahr des Herzkammerflimmerns her: Die Herzmuskulatur wird mit der Frequenz des Wechselstroms angeregt (50 Schläge pro Sekunde), sodass ein Versagen eintritt. Bei Gleichstrom dagegen erfolgt beim Berühren eine Verkrampfung von Arm- bzw. Beinmuskulatur, die ein gewolltes Unterbrechen des Stromflusses verhindert.

Zu beachten ist, dass auch bei „ungefährlichen“ Spannungen schwere Unfälle durch Verbrennung erfolgen können, wenn metallischer Körperschmuck (Fingerring, Arm- oder Halsketten) einen Kurzschluss verursacht oder wenn eine Sicherung bei starken Verbrauchern entnommen wird, wobei ein nicht abreißender Lichtbogen entstehen kann.

Literatur und Quellenangaben

1. http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrischer_Strom, letzter Zugriff 01.04.2014
2. Karl Küpfmüller: Theoretische Elektrotechnik und Elektronik. 14. Auflage. Springer Verlag, ISBN 3-540-56500-0
3. Hagmann, Gert: Grundlagen der Elektrotechnik. Aula Verlag, 16. Auflage 2013
4. Biegelmeier, G.: Wirkungen des elektrischen Stroms auf Menschen und Nutztiere. Lehrbuch der Elektropathologie. VDE-Verlag, Berlin 1986, ISBN 3-80071452-3
5. DIN IEC/TS 60479-1 (VDE 0140-479-1):2007-05 Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere – Teil 1: Allgemeine Aspekte (IEC/TS 60479-1: 2005 + Corrigendum Oktober 2006). VDE-Verlag, Berlin
6. <http://de.wikipedia.org/wiki/Kammerflimmern>, letzter Zugriff 01.04.2014
7. <http://www.bgetem.de/redaktion/arbeits-sicherheit-gesundheitsschutz/dokumente-und-dateien/arbeitsmedizin/strom-gesundheitsgefahren-massnahmen-synopsis-1>, letzter Zugriff 01.04.2014