

AutomationControl

Steuerungs- und Elektrotechnik für:
Konstrukteur/in, Polymechaniker/in, Anlagen- und Apparatebauer/in

Ausgabe ohne Lösungen



Impressum

Herausgeberin: Edition Swissmem

Bezeichnung: AutomationControl
Steuerungs- und Elektrotechnik
Ausgabe ohne Lösungen

Version: 2. Auflage 2019
Copyright © bei Edition Swissmem, Zürich und Winterthur

ISBN: 978-3-03866-199-3

Projektleitung: Oliver Schmid, Swissmem Berufsbildung, CH-8400 Winterthur
Autoren: Meinrad Arpagaus, GBC Gewerbliche Berufsschule Chur
Stefan Forster, BZD Berufsbildungszentrum Dietikon

Gestaltung und Zeichnungen: Daniel Baur, Swissmem Berufsbildung, CH-8400 Winterthur
Lektorat: Stefan Pulfer, bfsl – Berufsfachschule Langenthal
Gody Berger, Fraubrunnen

Druck: Printed in Switzerland

Feedback-tool: Für Verbesserungsvorschläge, Korrekturen oder Anmerkungen
<https://www.swissmem-berufsbildung.ch/feedback-tool>

Bezugsquelle: Swissmem Berufsbildung
Brühlbergstrasse 4
CH-8400 Winterthur
Telefon +41 52 260 55 55
Fax +41 52 260 55 59
vertrieb.berufsbildung@swissmem.ch
www.swissmem-berufsbildung.ch

Urheberrecht

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf deshalb der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlags.

Vorwort

In der Maschinen-, Elektro- und Metallindustrie (MEM-Industrie) werden für den weltweiten Markt Produktionsanlagen und Systeme für die unterschiedlichsten Anwendungen entwickelt und hergestellt. Dazu sind sehr gute Kenntnisse im gesamten Anlagenbau notwendig. Mit dem Lehrmittel **AutomationControl** sollen dafür die technischen Grundlagen wie auch sicherheitsrelevante und ökologische Zusammenhänge nachhaltig vermittelt werden.

Das Lehrmittel **AutomationControl** ist speziell für die Maschinenbau-Berufe wie Polymechaniker/in EFZ, Konstrukteur/in EFZ und Anlagen- und Apparatebauer/in EFZ entwickelt worden. Um dem Niveau gerecht zu werden, haben wir zwei sehr erfahrene Maschinenbau-Berufsschullehrer auf den Gebieten der Elektro- und Steuerungstechnik als Autoren gewinnen können. Sie achteten gezielt darauf, dass Inhalt und Aufbau des Lehrmittels sinnvoll strukturiert sind und die Theorie mit vielen Übungsbeispielen angewendet und vertieft werden kann.

AutomationControl deckt die erforderlichen schulischen Ressourcen des Kompetenzen-Ressourcen-Katalogs der Berufsfachschule für die oben genannten Berufe in den Fächern Elektro- und Steuerungstechnik ab.

Inhalt:

- Elektrotechnik
- Pneumatische Steuerungen
- Elektronik
- Elektrische Steuerungen
- SPS Steuerungsgrundlagen

Wir bedanken und freuen uns, dass Sie mit diesem praxisorientierten Lehrmittel arbeiten. Wir wünschen Ihnen im Unterricht viel Spass und Erfolg!

September 2016, Swissmem Berufsbildung

Leseprobe

1.	Elektrotechnik	5
1.1	Grundlagen Elektrotechnik	6
1.1.1	Elektrische Ladung	6
1.1.2	Elektrische Spannung U	6
1.1.3	Elektrischer Strom I	7
1.1.4	Stromkreis	8
1.1.5	Stromrichtung	8
1.1.6	Wirkungen des elektrischen Stroms	9
1.1.7	Spannungserzeugung	10
1.1.8	Stromarten	11
1.1.9	Stromdichte J	12
1.1.10	Elektrischer Widerstand	13
1.1.11	Ohmsche Gesetz	14
1.2	Elektrosicherheit	16
1.2.1	Spannungs- und Strombereiche	16
1.2.2	Wirkungen des Stroms	16
1.2.3	Fehler an elektrischen Anlagen	18
1.2.4	Prinzip des Personenschutzes	18
1.2.5	Schutzmassnahmen bei Arbeiten an elektrischen Anlagen	20
1.2.6	Prüfungen	20
1.2.7	Fehlerstromschutzschalter (FI/RCD)	21
1.2.8	Überlast und Kurzschluss	22
1.2.9	Überstromschutzorgane	22
1.2.10	Überlastschutz von Motoren durch Motorschutzschalter	23
1.2.11	IP-Schutzsystem	23
1.2.12	Installationsberechtigung, Installationsvorschriften	25
1.3	Elektrische Energie	27
1.3.1	Elektrische Leistung	27
1.3.2	Elektrische und mechanische Arbeit	29
1.3.3	Wirkungsgrad	32
1.3.4	Energiekosten	33
1.3.5	Energiespeicherung	35
1.3.6	Primärelemente	36
1.3.7	Sekundärelemente (Akkumulatoren)	37
1.4	Erweiterter Stromkreis	38
1.4.1	Serieschaltung von Widerständen	38
1.4.2	Parallelschaltung von Widerständen	42
1.4.3	Gemischte Schaltungen	46
1.4.4	Schaltung von Spannungsquellen	48
1.4.5	Betriebsverhalten von Spannungserzeugern	49
1.4.6	Messgeräte	51
1.4.7	Wechselspannung und Wechselstrom	55
1.4.8	Drehstrom	58
1.4.9	Anschluss ans Versorgungsnetz	60
1.4.10	Leistungsberechnung	61
1.4.11	Wirkungsgrad	63
1.4.12	Anschluss von Drehstrommotoren	64
2.	Pneumatische Steuerungen	71
2.1	Pneumatik	72
2.1.1	Druckluft	73
2.2	Pneumatikanlage	74
2.2.1	Erzeugung und Speicherung der Druckluft	75
2.2.2	Druckluftaufbereitung	77
2.3	Pneumatische Antriebe	78
2.3.1	Druckluftzylinder	78
2.3.2	Druckluftmotor	79
2.4	Pneumatische Ventile	83
2.4.1	Wegeventile	83
2.4.2	Wegeventile Bauformen	84
2.4.3	Sperrventile	85

2.4.4	Stromventile	86
2.4.5	Druckventile	86
2.4.6	Ventilgruppen	87
2.5	Pneumatische Grundsaltungen	89
2.5.1	Aufbau von pneumatischen Schaltplänen	90
2.5.2	Darstellung der Elemente gemäss DIN ISO 1219-2	91
2.5.3	Kennzeichnung von Betriebsmitteln gemäss EN 81346-2	92
2.6	Übungen zu Verknüpfungssteuerungen	97
2.7	Funktionsdiagramme	101
2.8	Übungen zu Ablaufsteuerungen	104

3. Elektronik 109

3.1	Widerstände	110
3.1.1	Bauformen	110
3.1.2	Temperaturabhängigkeit von Widerständen	111
3.1.3	Nichtlineare Widerstände	112
3.2	Kondensator	114
3.2.1	Aufbau eines Kondensators	114
3.3	Dioden	115
3.3.1	Funktion	115
3.3.2	Gleichrichter	117
3.3.3	Zenerdioden	118
3.3.4	Leuchtdiode (LED)	119
3.4	Transistoren als Schalter	120
3.4.1	Bipolare Transistoren	120

4. Elektrische Steuerungen 121

4.1	Signalarten	122
4.2	Signalgeber	124
4.2.1	Schalter/Taster	124
4.2.2	Kennbuchstaben für Betriebsmittel nach EN 81346-2	127
4.2.3	Sensoren	128
4.3	Relais und Schützen	142
4.3.1	Zeitrelais	143
4.3.2	Schutzbeschaltungen	144
4.4	Logische Grundfunktionen	147
4.4.1	Begriff der Funktion	147
4.4.3	Gesetz von Morgan	158
4.5	Schaltpläne	160
4.6	Grundsaltungen	163
4.7	Übungen	164

5. SPS Steuerungsgrundlagen 183

5.1	Verbindungs- oder Speicherprogrammiert	184
5.2	Aufbau und Funktionsprinzip	185
5.2.1	Aufbau einer SPS	186
5.2.2	Programmiergeräte	189
5.3	Begriffe aus der Informatik	190
5.3.1	Digitale Wörter	190
5.4	SPS-Steuerungen	192
5.4.1	Variablentabelle (Symboltabelle)	193
5.4.2	Elektrischer Anschlussplan	193
5.4.3	CAFY-Prinzip	194
5.4.4	AWL Anweisungsliste	194
5.4.5	KOP Kontaktplan	195
5.4.6	FUP Funktionsplan	196
5.4.7	Programmerstellung und -dokumentation	197
5.5	Übungen zu SPS-Steuerungen	203
5.6	Strukturierte Programmierung	213
5.7	Ablaufsteuerungen, Schrittketten nach Grafset EN 60848	224
5.7.1	Programmieren einer Schrittkeette	226
5.8	Übungen zu Ablaufsteuerungen	227

1. Elektrotechnik



1.1 Grundlagen Elektrotechnik

1.1.1 Elektrische Ladung

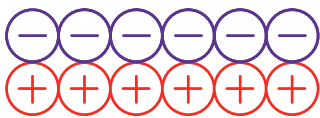
Elektrische Ladung ist ein räumlich begrenzter Überschuss oder Mangel an Elektronen.

Positive elektrische Ladung	Negative elektrische Ladung	ungleiche Ladungen

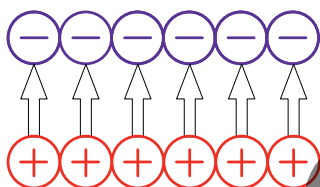
1.1.2 Elektrische Spannung U

Spannung entsteht durch Ladungstrennung.

Werden zwei unterschiedliche Ladungen auseinander geschoben, herrscht zwischen diesen Ladungsgruppen ein Spannungszustand. Man spricht auch von Potentialunterschied. Für diese Trennung muss Arbeit aufgewendet werden.



keine Spannung



elektrische Spannung vorhanden

Elektronenüberschuss

← W zu

Elektronenmangel

Masseinheit der elektrischen Spannung U :

1.1.2.1 Beispiele von Spannungen:

AA Batterie	
Haushalt	
Tram, Trolleybus	
Fahrdraht SBB	
Freileitung	
Autobatterie	



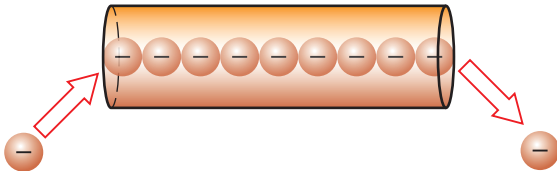
Eine Spannung kann vorhanden sein, ohne dass Strom fließt!

1.1.3 Elektrischer Strom I

Verbindet man getrennte Ladungen mit verschiedenen Vorzeichen mit einem elektrischen Leiter, so findet ein Ladungsausgleich statt.

Die Spannung ist die Ursache des elektrischen Strom. Der elektrische Strom ist bewegte Ladung. In Metallen ist es der Elektronenfluss. Die freien Elektronen in einem metallischen Leiter bewegen sich relativ langsam. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des elektrischen Stromes entspricht aber der Impulsfortpflanzung der freien Elektronen und entspricht fast der Lichtgeschwindigkeit.

Impulsfortpflanzung der freien Elektronen:



Ladungsträgertransport im Leiter

Masseinheit der elektrischen Stroms I :

1.1.3.1 Beispiele von Strömen:

Phasenprüfer	
Netzteil Laptop	
Haushalt	
Alu-Herstellung	

Beispiel:

Eine Kupferleitung ist vom elektrischen Schalter zur Lampe 8 m lang.

1.1.3.2 Wie lange braucht der Impuls, um diese Strecke zurückzulegen?

Geometrie

1.1.4 Stromkreis

Die Normen schreiben vor, wie Stromkreise schematisch dargestellt werden. Im Normenauszug oder in entsprechenden Tabellenbüchern finden sich die Symbole.

1.1.4.1 Quellen mit Symbolen und Schaltzeichen



Symbole

1.1.4.2 Zeichnen Sie die Symbole und notieren Sie die entsprechenden Kennbuchstaben.



Benennung	Symbol	Kennbuchstabe	Benennung	Symbol	Kennbuchstabe
Batterie		_____	Signallampe		_____
Generator		_____	Motor		_____
Schliesskontakt		_____	Widerstand		_____

1.1.5 Stromrichtung

Die Definition einer technischen Stromrichtung ist historisch bedingt und geht von einem Strom positiver Ladungen aus, der sich vom elektrisch positiven zum negativen Spannungspol bewegt. Zur Zeit dieser Festlegung waren die negativ geladenen Elektronen, welche in metallischen Leitern als Ladungsträger vom negativen zum positiven Pol fließen, noch nicht bekannt. Die Definition für die technische Stromrichtung wurde auch nach der Entdeckung der Elektronen als einheitliche Konvention beibehalten.

1.1.5.1 Aufgabe:

Zeichnen Sie einen einfachen Stromkreis bestehend aus einer Batterie, einem Taster mit Schliesskontakt und einer Lampe schematisch auf.

Bezeichnen Sie mit einem roten Pfeil die technische Stromrichtung und mit einem blauen den Elektronenstrom.



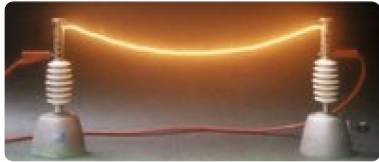
1.1.6 Wirkungen des elektrischen Stroms

Einige Wirkungen treten immer auf, sie können nicht verhindert werden, andere beobachten wir nur unter bestimmten Bedingungen. Die wesentlichen Wirkungen sind:

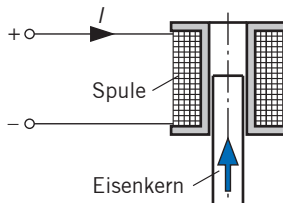


Der elektrische Strom ist nur an seinen Wirkungen erkennbar.

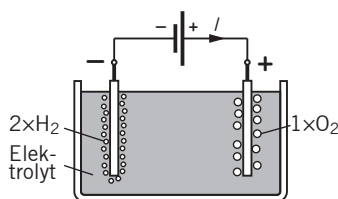
1.1.6.1 Ergänzen Sie die Tabelle.



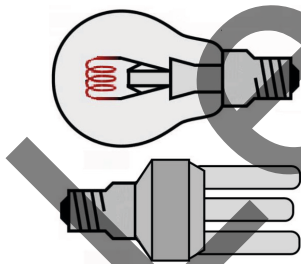
Durchfließt ein Strom einen Widerstand, wird dieser warm; es wird elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt. Bei Wärmeapparaten ist diese Wirkung erwünscht, bei Leitungen und Wicklungen muss sie in Kauf genommen werden.



Jeder stromdurchflossene Leiter ist von einem Magnetfeld umgeben. Diese Wirkung kann Kräfte erzeugen.



In leitenden Flüssigkeiten (Säuren, Laugen, Salzlösungen) besteht der Stromfluss aus Ionen. Dabei wird Material «transportiert» (Galvanotechnik), oder die Flüssigkeit wird chemisch zerlegt (Elektrolyse).



In den Glühlampen entsteht das Licht durch Wärmewirkung in einem weiss-glühenden Wolframdraht. Nur etwa 5% der elektrischen Energie im Vakuum wird zu Licht.

Bei den Entladungslampen bringt der Strom ein Gas mit geringem Druck zum Leuchten. Wirkungsgrad ca. 20%.



Elektrizität reizt und beeinflusst das Nervensystem von Lebewesen. Bei Überschreitung eines Grenzwertes verursacht Strom Muskelkrämpfe. Bereits kleine Ströme (mortale Grenze ab 50 mA. Kleinspannung max. 50 V AC und 120 V DC) können zu einem Herzstillstand führen, grössere Ströme verursachen Verbrennungen und Tod.

1.1.7 Spannungserzeugung

Der notwendige «Druck» zum Bewegen von freien Ladungsträgern — die elektrische Spannung — kann auf verschiedene Arten erzeugt werden.

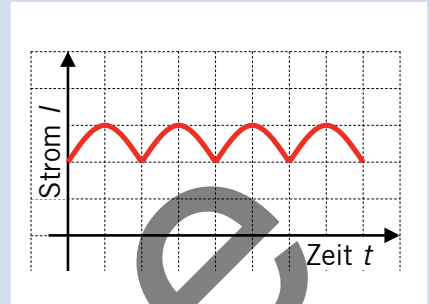
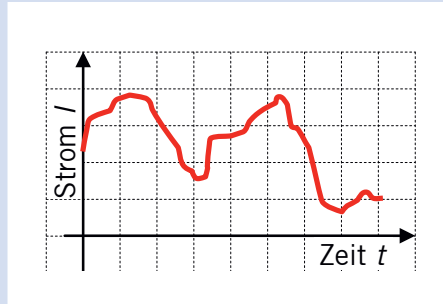
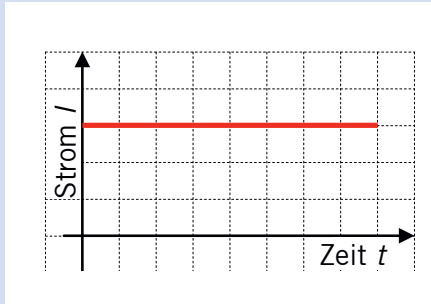
1.1.7.1 Ergänzen Sie die Tabelle.

	Ändert in einer Leiterschleife der magnetische Fluss, so wird eine Spannung induziert. Sofern der Stromkreis geschlossen ist, fließt ein Strom.	 									
	Taucht man zwei Leiterplatten in einen Elektrolyten, z.B. in Säure, entsteht zwischen den Platten Spannung. Durch elektrochemische Vorgänge entstehen auch im Nervensystem von Lebewesen Spannungen und Ströme.										
	Ein Fotoelement wandelt Licht, z.B. Sonnenstrahlen, in elektrische Energie um. Das aktive Halbleiterelement mit Minus- und Pluspol besteht meistens aus dünnen Siliziumscheiben. Fällt Licht auf die Zelle, so entsteht eine elektrische Spannung.										
	Erwärmt man die Kontaktstelle zweier Metalle, so entsteht eine Spannung, die proportional mit der Temperatur ansteigt. Die produzierte elektrische Energie steht in einem sehr schlechten Verhältnis zur aufgewendeten Wärmeenergie.										
	Viele Kristalle, hauptsächlich Quarze, haben die Eigenschaft, sich bei mechanischer Zug- oder Druckbelastung durch Deformation des Ionengitters an der Oberfläche aufzuladen und dadurch Spannungen zu erzeugen.										
<table border="1"> <tr> <td>neutral + - + -</td> <td>Ladungs- übertritt + + + + - - - -</td> <td>Ladungs- überschuss + + + + - - - -</td> </tr> <tr> <td>neutral</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nichtleiter</td> <td>Berühren</td> <td>Trennen</td> </tr> </table>	neutral + - + -	Ladungs- übertritt + + + + - - - -	Ladungs- überschuss + + + + - - - -	neutral			Nichtleiter	Berühren	Trennen	Durch Reiben oder Trennen von Isolierstoffen, aber auch durch Umschütten von nicht leitenden Flüssigkeiten entstehen Ladungen und damit hohe Spannungen. Diese statische Elektrizität entsteht meist ungewollt.	
neutral + - + -	Ladungs- übertritt + + + + - - - -	Ladungs- überschuss + + + + - - - -									
neutral											
Nichtleiter	Berühren	Trennen									

1.1.8 Stromarten

1.1.8.1 Ergänzen Sie die Tabelle.

Gleichstrom Abkürzung: oder (direct current)

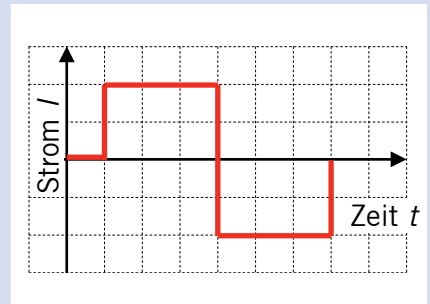
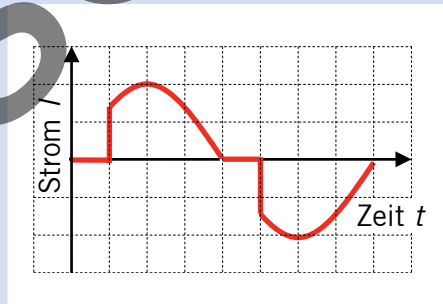
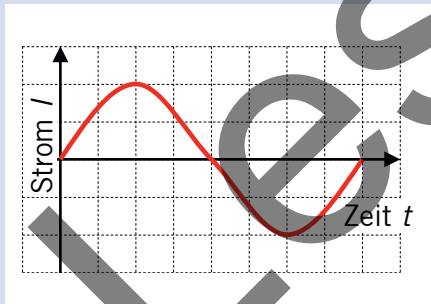


Erzeuger:

Anwendungen:



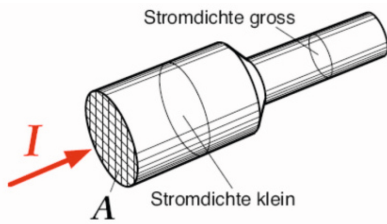
Wechselstrom Abkürzung: oder (alternating current)



Erzeuger:

Anwendungen:



1.1.9 Stromdichte J 

$$J = \frac{I}{A}$$

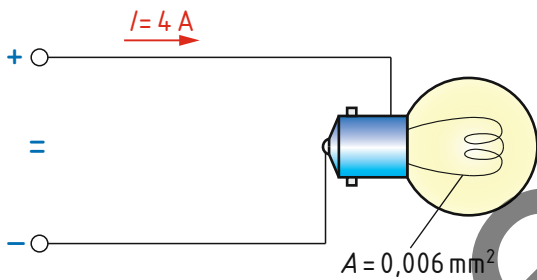
J	Stromdichte	A/mm ²
I	Strom	A
A	Leiterquerschnitt	mm ²

**Beispiel:**

Der unten abgebildete Stromkreis zeigt die verschiedenen Leiterabschnitte. Die Zuleitung (Hin- und Rückleiter) hat einen Querschnitt von 1,5 mm². Damit der Draht einer Glühlampe glüht, muss die Stromdichte mindestens 500 A/mm² betragen.

- 1.1.9.1 a) Wie gross ist die Stromdichte in der Zuleitung?
b) Wie gross ist die Stromdichte im Glühfaden?

Lösung:



Zuordnung der Strombelastbarkeit zu den Querschnitten für ortsfest verlegte Kupferleiter.

Querschnitt A in mm ²	Strom in A	Stromdichte J in A/mm ²
1	6	
1,5	16	
2,5	20	
4	25	
6	32	
10	40	
16	63	
25	80	



Die höchstzulässigen Dauerströme und damit die Absicherung für elektrische Leitungen sind nach NIN (Niederspannungs-Installationsnormen) und EN 60204 festgelegt. Sie sind abhängig vom Leitungsquerschnitt und von der Verlegungsart. Die Verlegungsart beeinflusst die Kühlung der Leitungen.



Zu starke Leitererwärmung zerstört die Isolation des Leiters.

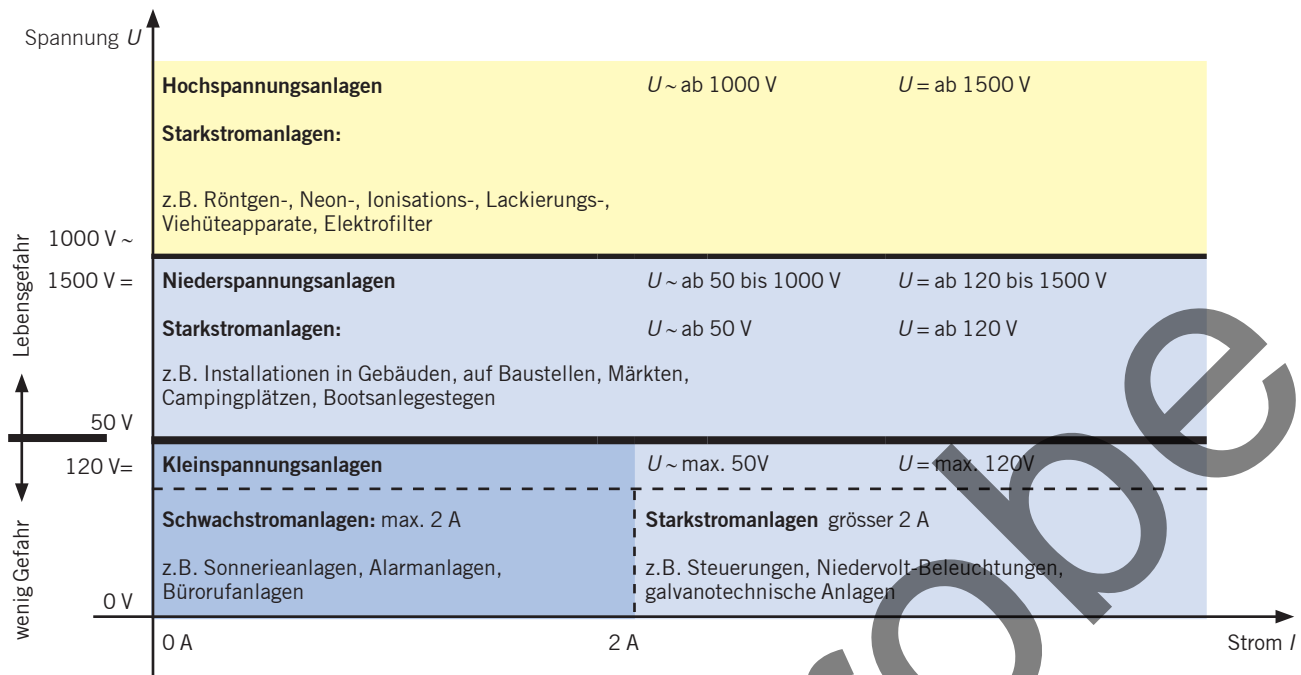
Die Wärme wird von der Oberfläche des Leiters abgeführt, daher ist die höchstzulässige Stromdichte bei grösseren Querschnitten geringer. Je grösser ein Leiterquerschnitt, desto kleiner ist die Oberfläche pro mm² Querschnitt.

Zudem ist die Erwärmung vom spezifischen Widerstand des Leitermaterials und von den gegebenen Kühlmöglichkeiten abhängig.



1.2 Elektrosicherheit

1.2.1 Spannungs- und Strombereiche



1.2.2 Wirkungen des Stroms

Fließt ein Strom durch den menschlichen Körper, können folgende Wirkungen entstehen:

1.2.2.1 Physikalische Auswirkungen:



1.2.2.2 Physiologische Auswirkungen:



Ein Kind berührt die beiden Kontakte an einer Taschenlampenbatterie (4,5 V), dabei fließt ein Strom von 0,8 mA. Dieser ist nicht wahrnehmbar.

1.2.2.3 a) Wie gross ist der Körperwiderstand an dieser Stelle?

b) Wie gross ist der Strom, wenn an derselben Körperstelle eine Spannung von 50V angelegt wird? Ist dieser Strom wahrnehmbar?



Ja, 8,9 mA sind spürbar.

Wirkungsbereich bei Wechselstrom von 15 ... 100 Hz

- | | |
|---|---|
| 1 | Meist keine Einwirkung |
| 2 | Meist keine schädlichen physiologischen Wirkung |
| 3 | Physiologische Wirkungen. Meist Blutdrucksteigerung, Muskelverkrampfung und Atemnot. Geringe Gefahr des Herzkammerflimmerns |
| 4 | <p>Verstärkte physiologische Wirkungen mit erhöhter Gefahr des Herzkammerflimmerns ab etwa 200 mA bei einer Einwirkdauer von 400 ms</p> <p>c1 Herzkammerflimmern < 5% wahrscheinlich
 c2 Herzkammerflimmern < 50% wahrscheinlich
 c3 Herzkammerflimmern > 50% wahrscheinlich</p> |

