



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für elektrotechnische Berufe

# Fachkunde Elektrotechnik

**32. überarbeitete und erweiterte Auflage**

Bearbeitet von Lehrern an beruflichen Schulen und von Ingenieuren  
(siehe Rückseite)

Lektorat: Klaus Tkotz, Kronach

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL • Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsselberger Straße 23 • 42781 Haan-Gruiten

**Europa-Nr.: 30138**

### **Autoren der Fachkunde Elektrotechnik:**

Bumiller, Horst	Freudenstadt
Burgmaier, Monika	Durbach
Duhr, Christian	Schwabach
Eichler, Walter	Kaiserslautern
Feustel, Bernd	Kirchheim-Teck
Käppel, Thomas	Münchberg
Klee, Werner	Mehlingen
Manderla, Jürgen	Berlin
Reichmann, Olaf	Altlandsberg
Schwarz, Jürgen	Tettngang
Tkocz, Klaus	Kronach
Winter, Ulrich	Kaiserslautern

**Lektorat und Leitung des Arbeitskreises:** Klaus Tkocz

**Bildentwürfe:** Die Autoren

**Fotos:** Autoren und Firmen (Firmenverzeichnis Seite 675)

- Windows ist ein eingetragenes Warenzeichen der Microsoft Corporation
- INTEL ist ein eingetragenes Warenzeichen der INTEL Corporation
- Linux ist ein eingetragenes Warenzeichen von Linus Torvalds
- Nachdruck der Box Shots von Microsoft-Produkten mit freundlicher Erlaubnis der Microsoft Corporation
- Alle anderen Produkte, Warenzeichen, Schriftarten, Firmennamen und Logos sind Eigentum oder eingetragene Warenzeichen ihrer jeweiligen Eigentümer

### **Bildbearbeitung:**

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel GmbH & Co., Ostfildern

In diesem Buch finden sich Verweise/Links auf Internetseiten. Für die Inhalte auf diesen Seiten sind ausschließlich die Betreiber verantwortlich, weshalb eine Haftung ausgeschlossen wird. Für den Fall, dass Sie auf den angegebenen Internetseiten auf illegale oder anstößige Inhalte treffen, bitten wir Sie, uns unter [info@europa-lehrmittel.de](mailto:info@europa-lehrmittel.de) davon in Kenntnis zu setzen, damit wir beim Nachdruck dieses Buches den entsprechenden Link entfernen können.

32. Auflage 2020

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert.

ISBN 978-3-8085-3791-6

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2020 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfotos: Steckdose: © emmi – Fotolia.com; Weltkugel: © erdquadrat – Fotolia.com; Figur: Klaus Tkocz;

Logomodul LOGO!: Siemens AG

Umschlagidee: Klaus Tkocz

Druck: Himmer GmbH, 86167 Augsburg

**Kapitelnummer und Symbole**

**● Allgemeines**

<b>Vorwort</b> .....	4
<b>Inhaltsverzeichnis</b> (ausführlich) .....	5–10
<b>Lernfeldhinweise und Projektbearbeitung</b> .....	11–14
<b>Sachwortverzeichnis Deutsch – Englisch</b> .....	ab Seite 676

**● Elektrotechnik**

<b>Inhaltsverzeichnis (Kurzform)</b>	
1 Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz .....	15
2 Grundbegriffe der Elektrotechnik .....	21
3 Grundsaltungen der Elektrotechnik .....	49
4 Elektrisches Feld .....	71
5 Magnetisches Feld .....	82
6 Schaltungstechnik .....	100
7 Wechselstromtechnik .....	127
8 Messtechnik .....	169
9 Elektronik .....	195
10 Elektrische Anlagen .....	277
11 Schutzmaßnahmen .....	345
12 Gebäudetechnische Anlagen .....	383
13 Elektrische Maschinen .....	462
14 Informationstechnik .....	524
15 Automatisierungstechnik .....	548
16 Werkstoffe, Fertigung, Umwelt, Energieeinsparung .....	604

**● Beruf und Betrieb** 625

**● Infoseiten (Auswahl)**

- DIN-Normen in der Elektrotechnik .....
- Schaltzeichen .....
- Elektrotechnische u. allg. Symbole, Prüfzeichen .....
- Widerstände und Kondensatoren (Kennzeichnung) .....
- Überstrom-Schutzeinrichtungen (Auslösekennlinien) ..
- Leitungen u. Kabel (Verlegearten, Mindestquerschnitte)
- Leitungen (Strombelastbarkeit, Umrechnungsfaktoren)
- Drehstrommotoren (Betriebsdaten) .....
- Dioden, Transistoren, Thyristor, Triac (Kennlinien) ..
- Wichtige Abkürzungen .....
- Fachbegriffe Englisch – Deutsch .....

**● Praxistipps (Auswahl)**

- Praktisches Messen mit dem Digitalmultimeter .....
- Effektivwertmessung nicht sinusförmiger Größen .....
- Messen mit dem Oszilloskop .....
- Auslegung, Dimensionierung einer Fotovoltaikanlage ..
- Farbkennzeichnung von Leitern .....
- Verlegen von Leitungen .....
- Beispiel einer Leitungsberechnung .....
- Prüfung elektrischer Anlagen .....
- Multimediaverkabelung, vernetztes Haus .....
- Anschluss eines Elektromotors, Auswahl .....
- Auswahl eines PC-Mainboard .....
- Herstellen einer WLAN-Verbindung .....
- Existenzgründung .....

<b>1</b>	
<b>2</b>	
<b>3</b>	
<b>4</b>	
<b>5</b>	
<b>6</b>	
<b>7</b>	
<b>8</b>	
<b>9</b>	
<b>10</b>	
<b>11</b>	
<b>12</b>	
<b>13</b>	
<b>14</b>	
<b>15</b>	
<b>16</b>	
<b>17</b>	
	

# Liebe Leserin, lieber Leser,

unsere **Fachkunde Elektrotechnik, 32. Auflage** ist da! In dieser Auflage sind die neuesten DIN-VDE-Vorschriften eingearbeitet und neue Inhalte eingefügt. Neue Inhalte sind z. B.:

- Energiemanagement, • RFID-Technologie, • Industrie 4.0, • SPS-Programmierung mit TIA-Portal sowie Videodateien und Programmausdrucke über QR-Code abrufbar und • Analogwertverarbeitung mit SPS.

## Zum Buch

- Das Buch ist fachsystematisch aufgebaut und fördert Ihr eigenständiges Lernen.
- Sie finden Erklärungen und einheitliche Darstellungen zu wichtigen Gesetzen und Formeln der Elektrotechnik.
- Wiederholungsseiten mit Rechenaufgaben vertiefen und festigen Ihr erworbenes Wissen. Ergebnisse der Rechenaufgaben: Seite 652.
- Praxistippseiten unterstützen Ihre berufliche Tätigkeit.
- Ein Infoteil am Buchende unterstützt Ihre kompetenzorientierte und praxisnahe Ausbildung.
- Im virtuellen Medienregal EUROPATHEK finden Sie z. B. alle Abbildungen, Tabellen und Infoseiten aus dem Buch zur eigenen Verwendung sowie weitere Informationen.

## Ergänzungen zur Fachkunde Elektrotechnik

Für die Seiten „Wiederholen-Anwenden-Vertiefen“ gibt es ein Lösungsbuch. Ihr Fachwissen können Sie durch ergänzende Fachliteratur ergänzen und vertiefen.

## Die Fachkunde Elektrotechnik auf einen Blick



**i Buch-Icons**

Kennzeichnung für zusätzliche Informationen im Medienregal EUROPATHEK zum Abruf über [www.europathek.de](http://www.europathek.de) mithilfe eines Freischaltcodes (Vorsatzseite im Buch). Dort können z. B. die Bilder des Buches, Tabellen und Infoseiten für eigene Arbeitsmaterialien verwendet werden.

Hinweis auf weitere Buchseiten.

Hinweis auf Internetseiten.

Hinweis auf weitere Informationen per QR-Code abrufbar.

SimElektro-Icon, Simulationen zu ausgewählten Themen, die erworben werden können. [www.europa-lehrmittel.de/simelektro](http://www.europa-lehrmittel.de/simelektro)

**i Ergänzende Fachliteratur**

- ▶ Arbeitsblätter zur Fachkunde Elektrotechnik
- ▶ Fachkunde Elektrotechnik Aufgaben und Lösungen
- ▶ Arbeitsbuch Elektrotechnik Lernfelder 1–4 und 5–13
- ▶ Rechenbuch Elektrotechnik
- ▶ Formeln für Elektrotechniker
- ▶ Praxis Elektrotechnik
- ▶ Tabellenbuch Elektrotechnik
- ▶ Technische Kommunikation Elektrotechnik

Sie haben Fragen? Das Autorenteam hat die Antworten! Weiterhin würden wir uns über eine ehrliche Bewertung und nette Worte freuen. Schreiben Sie uns unter: [lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de). Das Autorenteam und der Verlag Europa-Lehrmittel wünschen Ihnen mit diesem Buch interessante Anreize und eine wertvolle Hilfe für Ihre Ausbildung und berufliche Tätigkeit. Frühjahr 2020

**1 Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz 15**

1.1 Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz ..... 15  
 1.2 Produktsicherheitsgesetz ..... 15  
 1.3 Gefahrstoffverordnung ..... 16  
 1.4 Sicherheitszeichen ..... 17  
 1.5 Erste Hilfe ..... 18  
 Praxistipp: Gefährdungsbeurteilung ..... 19  
 Wiederholen – Anwenden – Vertiefen:  
 Arbeitsschutz ..... 20

**2 Grundbegriffe der Elektrotechnik ..... 21**

2.1 Umgang mit physikalischen Größen ..... 21  
 2.2 Arten von Stromkreisen ..... 23  
 2.3 Elektrische Ladung (Elektrizitätsmenge) ..... 26  
 2.4 Elektrische Spannung ..... 28  
 2.4.1 Spannungserzeugung ..... 28  
 2.4.2 Spannung am Verbraucher ..... 28  
 2.4.3 Potenziale in elektrischen Schaltungen ..... 28  
 2.4.4 Arten der Spannungserzeugung ..... 29  
 2.4.5 Messen elektrischer Spannung ..... 30  
 2.5 Elektrischer Strom ..... 31  
 2.5.1 Elektrischer Strom in Metallen ..... 32  
 2.5.2 Messen elektrischer Stromstärke ..... 32  
 2.5.3 Wirkungen des elektrischen Stromes ..... 33  
 2.5.4 Stromarten ..... 34  
 2.5.5 Stromdichte ..... 35  
 2.6 Elektrischer Widerstand und Leitwert ..... 36  
 2.7 Ohmsches Gesetz ..... 37  
 2.8 Leiterwiderstand ..... 38  
 2.9 Temperaturabhängigkeit des Widerstandes ..... 39  
 2.10 Bauarten von Widerständen ..... 40  
 2.11 Elektrische Energie und Arbeit ..... 42  
 2.11.1 Gewinnung elektrischer Energie ..... 42  
 2.11.2 Elektrische Arbeit ..... 43  
 2.12 Elektrische Leistung ..... 44  
 2.13 Wirkungsgrad ..... 46  
 2.14 Elektrowärme ..... 47  
 Wiederholen – Anwenden – Vertiefen:  
 Grundbegriffe der Elektrotechnik ..... 48

**3 Grundschaltungen der Elektrotechnik ... 49**

3.1 Reihenschaltung ..... 49  
 3.1.1 Gesetze der Reihenschaltung ..... 49  
 3.1.2 Vorwiderstände ..... 51  
 3.1.3 Spannungsfall an Leitungen ..... 52  
 3.2 Parallelschaltung ..... 53  
 3.3 Gemischte Schaltungen ..... 55  
 3.3.1 Spannungsteiler ..... 55  
 3.3.2 Brückenschaltung ..... 57  
 3.3.2.1 Abgeglichene Brückenschaltung ..... 57  
 3.3.2.2 Nicht abgeglichene Brückenschaltung ..... 58  
 3.3.3 Widerstandsbestimmung durch Strom- und Spannungsmessung ..... 59  
 3.4 Spannungsquelle ..... 60  
 3.4.1 Belastungsfälle einer Spannungsquelle ..... 60  
 3.4.2 Ersatzschaltbild einer Spannungsquelle ..... 61  
 3.4.3 Anpassung ..... 61  
 3.4.4 Schaltungen von Spannungsquellen ..... 63  
 3.5 Galvanische Elemente ..... 64  
 3.5.1 Umwandlung chemischer Energie in elektrische Energie ..... 64  
 3.5.2 Primärelemente ..... 65  
 3.5.3 Sekundärelemente (Akkumulatoren) ..... 67  
 Wiederholen – Anwenden – Vertiefen:  
 Grundschaltungen ..... 70

**4 Elektrisches Feld ..... 71**

4.1 Eigenschaften des elektrischen Feldes ..... 71  
 4.2 Grundbegriffe ..... 72  
 4.2.1 Elektrische Feldstärke ..... 72  
 4.2.2 Elektrische Influenz und Polarisation ..... 72  
 4.2.3 Elektrische Felder in der Praxis ..... 73  
 4.3 Kondensator im Gleichstromkreis ..... 74  
 4.3.1 Verhalten eines Kondensators ..... 74  
 4.3.2 Kapazität eines Kondensators ..... 74  
 4.3.3 Laden und Entladen von Kondensatoren ..... 76  
 4.3.4 Energie des geladenen Kondensators ..... 77  
 4.4 Schaltungen von Kondensatoren ..... 78  
 4.4.1 Parallelschaltung ..... 78  
 4.4.2 Reihenschaltung ..... 78  
 4.5 Kenngrößen und Bauarten von Kondensatoren ..... 79  
 4.5.1 Kenngrößen ..... 79  
 4.5.2 Bauarten ..... 79  
 Wiederholen – Anwenden – Vertiefen:  
 Elektrisches Feld ..... 81

**5 Magnetisches Feld ..... 82**

5.1 Eigenschaften der Magnete und Darstellungshilfen ..... 82  
 5.2 Elektromagnetismus ..... 84  
 5.2.1 Stromdurchflossener Leiter und Magnetfeld ..... 84  
 5.2.2 Stromdurchflossene Spule und Magnetfeld ..... 85  
 5.3 Magnetische Größen ..... 86  
 5.3.1 Magnetischer Fluss  $\Phi$  ..... 86  
 5.3.2 Elektrische Durchflutung  $\Theta$  ..... 86  
 5.3.3 Magnetische Feldstärke  $H$  ..... 86  
 5.3.4 Magnetische Flussdichte  $B$  ..... 87  
 5.4 Eisen im Magnetfeld einer Spule ..... 87  
 5.5 Strom und Magnetfeld ..... 90  
 5.5.1 Stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld ..... 90  
 5.5.2 Stromdurchflossene Spule im Magnetfeld ..... 92  
 5.5.3 Stromdurchflossene parallele Leiter ..... 92  
 5.6 Spannungserzeugung durch Induktion ..... 93  
 5.6.1 Generatorprinzip (Induktion der Bewegung) ..... 93  
 5.6.2 Lenzsche Regel ..... 94  
 5.6.3 Transformatorprinzip (Induktion der Ruhe) ..... 95  
 5.6.4 Selbstinduktion ..... 97  
 5.6.5 Wirbelströme ..... 98  
 Wiederholen – Anwenden – Vertiefen:  
 Magnetisches Feld ..... 99

**6 Schaltungstechnik ..... 100**

6.1 Schaltungsunterlagen ..... 100  
 Praxistipp: Installation einer Wechsel-schaltung mit Steckdose ..... 102  
 6.2 Installationsschaltungen ..... 103  
 6.2.1 Lampenschaltungen ..... 103  
 6.2.2 Schaltungen mit Meldeleuchten ..... 105  
 6.2.3 Stromstoßschaltung ..... 106  
 6.2.4 Infrarot-Bewegungsmelder ..... 106  
 6.2.5 Treppenlicht-Zeitschaltung ..... 107  
 6.2.6 Hausrufanlagen ..... 107  
 6.2.7 Haussprechanlagen ..... 108  
 6.3 Elektromagnetische Schalter ..... 110  
 6.3.1 Relais ..... 111  
 6.3.2 Schütze ..... 113  
 6.3.3 Schützsicherungen ..... 114  
 6.4 Klemmenplan ..... 120  
 6.5 Elektrische Ausrüstung von Maschinen ..... 121  
 6.5.1 Prüfen der elektrischen Ausrüstung von Maschinen ..... 122  
 Praxistipp: Anforderungen an Steuer-stromkreise ..... 124  
 Praxistipp: Stromlaufplan und Aufbau einer Stern-Dreieck-Schaltung ..... 125  
 Wiederholen – Anwenden – Vertiefen:  
 Schaltungstechnik ..... 126

<b>7</b>	<b>Wechselstromtechnik</b> ..... 127	<b>8</b>	<b>Messtechnik</b> ..... 169
7.1	<b>Kenngrößen der Wechselstromtechnik</b> ..... 127	8.1	<b>Elektrische Messgeräte</b> ..... 169
7.1.1	Periode und Scheitelwert ..... 127	8.1.1	Grundbegriffe der Messtechnik ..... 169
7.1.2	Frequenz und Periodendauer ..... 127	8.1.2	Anzeigarten von Messgeräten ..... 170
7.1.3	Frequenz und Wellenlänge ..... 128	8.1.3	Analoge Messgeräte ..... 170
7.2	<b>Sinusförmige Wechselgrößen</b> ..... 129	8.1.3.1	Messfehler von analogen Messgeräten ..... 171
7.2.1	Zeigerdarstellung von Sinusgrößen ..... 129	8.1.3.2	Elektrische Messwerke ..... 172
7.2.2	Kreisfrequenz ..... 130	8.1.4	Digitale Messgeräte ..... 173
7.2.3	Erzeugung von Sinusspannungen ..... 130	8.1.5	PC-Messtechnik ..... 175
7.2.4	Scheitelwert und Effektivwert bei sinusförmigen Wechselgrößen ..... 131	8.1.6	Elektrizitätszähler ..... 176
7.2.5	Zeitlicher Verlauf von Wechselgrößen ..... 132	8.1.6.1	Induktionszähler ..... 176
7.2.6	Nichtsinusförmige Spannungen und Ströme ..... 133	8.1.6.2	Elektronische Elektrizitätszähler ..... 177
7.2.7	Phasenverschiebung ..... 134	8.2	<b>Praktisches Messen</b> ..... 178
7.2.8	Wirkwiderstand ..... 134	8.2.1	Messen von Leistungen ..... 178
7.2.9	Scheinwiderstand ..... 134	8.2.2	Messen von Widerständen ..... 178
7.3	<b>Spule im Wechselstromkreis</b> ..... 135	8.2.3	Messen mit Strommesszangen ..... 179
7.3.1	Induktiver Blindwiderstand ..... 135	8.2.4	Messkategorien ..... 179
7.3.2	Reihenschaltung aus Wirkwiderstand und induktivem Blindwiderstand ..... 136		<b>Praxistipp: Praktisches Messen mit dem Digitalmultimeter</b> ..... 180
7.3.3	Spannungsdreieck ..... 137		<b>Praxistipp: Effektivwertmessung nicht sinusförmiger Größen</b> ..... 181
7.3.4	Widerstandsdreieck ..... 138	8.3	<b>Oszilloskop</b> ..... 182
7.3.5	Verlustwinkel, Verlustfaktor und Gütefaktor einer Spule ..... 138	8.3.1	Analog-Oszilloskop ..... 182
7.3.6	Parallelschaltung aus Wirkwiderstand und induktivem Blindwiderstand ..... 139	8.3.2	Digital-Oszilloskop ..... 183
7.3.7	Stromdreieck und Leitwertdreieck ..... 139		<b>Praxistipp: Messen mit einem Digital-Oszilloskop</b> ..... 184
7.4	<b>Leistungen im Wechselstromkreis</b> ..... 140		<b>Praxistipp: Messen mit dem Oszilloskop</b> ..... 185
7.4.1	Wirkleistung ..... 140	8.4	<b>Messen nichtelektrischer Größen mit Sensoren</b> ..... 186
7.4.2	Blindleistung ..... 140	8.4.1	Aktive und passive Sensoren ..... 186
7.4.3	Scheinleistung ..... 141	8.4.2	Anwendungen von Sensoren ..... 187
7.4.4	Zusammenhang zwischen der Wirk-, Blind- und Scheinleistung ..... 142	8.4.2.1	Sensoren zur Weg- und Winkelmessung ..... 187
7.4.5	Leistungsfaktor, Wirkfaktor und Blindfaktor ..... 143	8.4.2.2	Sensoren zur Messung von Dehnung, Kraft, Druck und Drehmoment ..... 189
7.4.6	Verlustleistung bei realen Spulen ..... 143	8.4.2.3	Sensoren zur Messung von Temperaturen ..... 190
7.5	<b>Kondensator im Wechselstromkreis</b> ..... 144	8.4.3	Näherungsschalter ..... 191
7.5.1	Kapazitiver Blindwiderstand ..... 144	8.4.3.1	Optische Näherungsschalter ..... 191
7.5.2	Reihenschaltung aus Wirkwiderstand und kapazitivem Blindwiderstand ..... 145	8.4.3.2	Induktive Näherungsschalter ..... 191
7.5.3	Parallelschaltung aus Wirkwiderstand und kapazitivem Blindwiderstand ..... 146	8.4.3.3	Kapazitive Näherungsschalter ..... 192
7.5.4	Verlustwinkel und Gütefaktor eines Kondensators ..... 147	8.4.3.4	Ausführung von Näherungsschaltern ..... 192
7.6	<b>Schaltung aus Spule, Kondensator und Wirkwiderstand</b> ..... 148	8.4.4	RFID-Technologie ..... 193
7.6.1	Reihenschaltung aus Wirkwiderstand, induktivem und kapazitivem Blindwiderstand ..... 148		<b>Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Messtechnik</b> ..... 194
7.6.2	Parallelschaltung aus Wirkwiderstand, induktivem und kapazitivem Blindwiderstand ..... 149	<b>9</b>	<b>Elektronik</b> ..... 195
7.7	<b>Schwingkreise</b> ..... 150	9.1	<b>Halbleiterwerkstoffe</b> ..... 195
7.7.1	Resonanz ..... 151	9.2	<b>Halbleiterwiderstände</b> ..... 197
7.7.2	Reihenschwingkreis ..... 151	9.2.1	Spannungsabhängige Widerstände (Varistoren) ..... 197
7.7.3	Parallelschwingkreis ..... 152	9.2.2	Heißleiter (NTC-Widerstände) ..... 198
7.8	<b>Siebschaltungen</b> ..... 154	9.2.3	Kaltleiter (PTC-Widerstände) ..... 199
7.8.1	RL-Tiefpass ..... 154	9.2.4	Feldplatten ..... 201
7.8.2	RL-Hochpass ..... 154	9.3	<b>Hallgeneratoren</b> ..... 201
7.8.3	RC-Tiefpass ..... 155	9.4	<b>Halbleiterdioden</b> ..... 202
7.8.4	RC-Hochpass ..... 155	9.4.1	Wirkungsweise ..... 202
7.9	<b>Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)</b> ..... 156	9.4.2	Leistungsdioden ..... 202
7.9.1	Entstehung der Dreiphasenwechselspannung ..... 156	9.4.3	Z-Dioden (Begrenzerdioden) ..... 203
7.9.2	Verkettung ..... 156	9.4.4	Halbleiterkennzeichnung ..... 204
7.9.3	Sternschaltung (Zeichen: Y) ..... 158	9.4.5	Kühlung von Halbleiterbauelementen ..... 205
7.9.4	Dreieckschaltung (Zeichen: $\Delta$ ) ..... 160	9.5	<b>Transistoren</b> ..... 206
7.9.5	Leiterfehler in Drehstromsystemen ..... 161	9.5.1	Bipolare Transistoren ..... 206
7.9.6	Leistungen in Drehstromsystemen ..... 162	9.5.1.1	Transistoren in der Praxis ..... 208
7.9.7	Leistungsmessung in Drehstromsystemen ..... 163	9.5.1.2	Einstellung des Arbeitspunktes ..... 209
7.10	<b>Kompensation</b> ..... 164	9.5.1.3	Stabilisierung des Arbeitspunktes ..... 210
7.10.1	Kompensationsarten ..... 165	9.5.1.4	Transistor als Schalter ..... 211
7.10.2	Bemessung von Kompensationskondensatoren ..... 166	9.5.1.5	Kippschaltungen ..... 213
7.10.3	Tonfrequenzsperrkreise ..... 166	9.5.1.6	Verstärkerschaltungen ..... 215
7.10.4	Kompensation bei nichtsinusförmigen Strömen ..... 167	9.5.2	Feldeffekttransistoren (FET) ..... 217
	<b>Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Wechselstromtechnik</b> ..... 168	9.6	<b>Optoelektronik</b> ..... 220
		9.6.1	Optoelektronische Sender ..... 220
		9.6.2	Optoelektronische Empfänger (Detektoren) ..... 222
		9.6.3	Flüssigkristallanzeigen (LCD) ..... 224
		9.6.4	Optokoppler ..... 224
		9.7	<b>Operationsverstärker</b> ..... 225

9.7.1 Grundlagen ..... 225

9.7.2 Analoge Schaltungen mit Operationsverstärkern ..... 227

9.7.3 Digitale Schaltungen mit Operationsverstärkern ..... 229

**9.8 Digitaltechnik** ..... **231**

9.8.1 Signalarten der Digital- und Steuerungstechnik ..... 231

9.8.2 Grundverknüpfungen ..... 231

9.8.2.1 UND-Verknüpfung ..... 231

9.8.2.2 ODER-Verknüpfung ..... 232

9.8.2.3 NICHT-Verknüpfung ..... 232

9.8.3 Grundverknüpfungen mit Ausgangs- oder Eingangsnegation ..... 233

9.8.3.1 Verknüpfungen mit Ausgangsnegation ..... 233

9.8.3.2 Verknüpfungen mit Eingangsnegation ..... 233

9.8.3.3 Eingangsbeschaltung logischer Verknüpfungen ..... 234

9.8.3.4 Anwendung der Grundverknüpfungen ..... 234

9.8.4 Schaltkreisfamilien ..... 235

9.8.4.1 TTL-Schaltkreisfamilie ..... 235

9.8.4.2 CMOS-Schaltkreisfamilie ..... 235

9.8.5 Schaltalgebra ..... 236

9.8.6 Antivalenz-Verknüpfung und Äquivalenz-Verknüpfung ..... 237

9.8.7 Kippglieder ..... 238

9.8.7.1 Zustandsgesteuerte und taktgesteuerte Kippglieder ..... 238

9.8.7.2 Zweiflankengesteuertes JK-Kippglied ..... 239

9.8.7.3 Schaltungen mit Kippgliedern ..... 240

9.8.8 Analog-Digital-Umsetzer (AD-Umsetzer) ..... 241

9.8.9 Digital-Analog-Umsetzer (DA-Umsetzer) ..... 243

**9.9 Leistungselektronik** ..... **244**

9.9.1 Bauelemente der Leistungselektronik ..... 244

9.9.1.1 Thyristor ..... 244

9.9.1.2 GTO-Thyristor ..... 247

9.9.1.3 Triac ..... 247

9.9.1.4 Diac ..... 248

9.9.1.5 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) ..... 249

9.9.2 Begriffe der Leistungselektronik ..... 250

9.9.3 Gleichrichterschaltungen ..... 251

9.9.3.1 Ungesteuerte Gleichrichterschaltungen ..... 251

9.9.3.2 Gesteuerte Gleichrichterschaltungen ..... 256

9.9.4 Wechselrichterbetrieb von netzgeführten Stromrichtern ..... 259

9.9.5 Wechselstrom-Umrichter ..... 260

9.9.5.1 Wechselwegschaltung W1C ..... 260

9.9.5.2 Vielperiodensteuerung ..... 261

9.9.6 Gleichstrom-Umrichter ..... 262

9.9.6.1 Gleichstromsteller ..... 262

9.9.6.2 Durchflusswandler und Sperrwandler ..... 263

9.9.6.3 Ansteuerungsarten für Gleichstromsteller ..... 263

9.9.7 Selbstgeführte Wechselrichter ..... 264

9.9.8 Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) ..... 265

9.9.9 Stromrichter-Antriebe ..... 266

9.9.9.1 Betriebsarten elektrischer Antriebe ..... 266

9.9.9.2 Gleichstrommotor am Thyristor-Stromrichter ..... 267

9.9.9.3 Gleichstrommotor an Sechspuls-Brückenschaltung B6C ..... 268

9.9.9.4 Gleichstrommotor im Vierquadranten-Betrieb ..... 268

9.9.9.5 Drehzahlsteuerung mit Transistor-Gleichstromsteller ..... 269

9.9.9.6 Frequenzumrichter ..... 270

9.9.9.7 Drehstrom-Asynchronmotor am Frequenzumrichter ..... 271

9.9.9.8 Auswahl eines Frequenzumrichters ..... 272

**Praxistipp: Frequenzumrichter, Installation u. Inbetriebnahme** ..... **273**

9.9.10 Netzgeräte ..... 274

9.9.10.1 Geregelte Netzgeräte ..... 274

9.9.10.2 Spannungsregler ..... 275

9.9.10.3 Schaltnetzgeräte ..... 275

**Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Elektronik** ..... **276**

**10**



**Elektrische Anlagen ..... 277**

**10.1 Energieerzeugung und Energieübertragung** ..... **277**

10.1.1 Kraftwerke ..... 277

10.1.1.1 Wärmekraftwerke ..... 278

10.1.1.2 Umweltschutz in Wärmekraftwerken ..... 279

10.1.1.3 Blockheizkraftwerke (BHKW) ..... 280

10.1.1.4 Wasserkraftwerke ..... 281

10.1.1.5 Erneuerbare Energien ..... 282

**Praxistipp: Auslegung und Dimensionierung einer Fotovoltaikanlage** ..... **285**

10.1.2 Energiemanagement in intelligenten Netzen (Smart Grid) ..... 287

10.1.2.1 Smart Grid in Gebäuden ..... 288

10.1.2.2 Energiespeichersysteme ..... 288

**Praxistipp: Aufbau eines Energiemanagement-Systems im Wohnhaus** ..... **289**

10.1.3 Übertragungs- und Verteilnetze ..... 290

10.1.3.1 Höchstspannungsnetze ..... 290

10.1.3.2 Spannungsebenen ..... 291

10.1.3.3 Umspannanlagen ..... 291

10.1.3.4 Hochspannungsschalter ..... 292

10.1.4 Netzformen ..... 294

10.1.5 Niederspannungsanlagen ..... 295

10.1.5.1 Netzaufbau ..... 295

10.1.5.2 Hausanschluss ..... 296

10.1.5.3 Erdungsanlagen ..... 298

10.1.5.4 Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene ..... 299

10.1.5.5 Hauptstromversorgungssysteme ..... 300

**Praxistipp: Zählerschrank mit Stromkreis- und Multimediaverteiler** ..... **302**

**Praxistipp: Ausstattung elektr. Anlagen in Wohngebäuden** ..... **305**

10.1.6 Elektromagnetische Verträglichkeit und TN-System ..... 306

**10.2 Isolierte Leitungen, Kabel und Freileitungen** ..... **309**

10.2.1 Isolierte Leitungen ..... 309

**Praxistipp: Farbkennzeichnung von Leitern** ..... **312**

10.2.2 Kabel für Mittelspannungs- und Niederspannungsanlagen ..... 313

10.2.3 Freileitungen für Hoch- und Mittelspannungsanlagen ..... 313

10.2.4 Datenleitungen ..... 314

**Praxistipp: Verlegen von Leitungen** ..... **315**

**10.3 Schutz elektrischer Leitungen und Verbraucher** ..... **317**

**10.4 Schutzschalter** ..... **320**

10.4.1 Thermischer Auslöser ..... 320

10.4.2 Elektromagnetischer Auslöser ..... 320

10.4.3 Leitungsschutzschalter ..... 321

10.4.4 Selektiver Hauptleitungsschutzschalter ..... 321

10.4.5 Brandschutzschalter (AFDD) ..... 322

10.4.6 Leistungsschalter ..... 323

10.4.7 Motorschutzeinrichtungen ..... 323

**10.5 Bemessung von fest verlegten Kabeln und Leitungen** ..... **326**

10.5.1 Spannungsfall an Leitungen ..... 327

10.5.2 Anordnung von Überstrom-Schutzrichtungen ..... 328

**Praxistipp: Beispiel einer Leitungsberechnung** ..... **329**

**Praxistipp: Leiterquerschnittsermittlung bei Oberschwingungsströmen** ..... **330**

**10.6 Räume und Anlagen besonderer Art** ..... **332**

10.6.1 Elektroinstallation in Räumen mit Badewanne oder Dusche ..... 332

10.6.2 Sauna-Anlagen ..... 334

10.6.3 Baustellen ..... 334

10.6.4 Landwirtschaftliche und gartenbauliche Betriebsstätten ..... 335

10.6.5 Feuergefährdete Betriebsstätten ..... 336

10.6.6 Explosionsgefährdete Bereiche ..... 338

10.6.7 Medizinisch genutzte Bereiche ..... 339

10.6.8 Stromversorgungen für Elektro-Fahrzeuge ..... 340

10.6.8.1 Ladestationen ..... 340

10.6.8.2 Ladebetriebsarten und Ladesteckeinrichtungen ..... 341

10.6.8.3	Installationsvorschriften	341
10.6.9	Übersicht der Räume und Anlagen besonderer Art	342
<b>10.7</b>	<b>Brandbekämpfung in elektrischen Anlagen</b>	<b>343</b>
10.7.1	Verhalten beim Brand in elektrischen Anlagen	343
10.7.2	Löschmittel	343
	Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Elektrische Anlagen	344

**11**  **Schutzmaßnahmen** ..... 345

<b>11.1</b>	<b>Gefahren im Umgang mit dem elektrischen Strom</b>	<b>345</b>
11.1.1	Wirkungen des elektrischen Stroms im menschlichen Körper	345
11.1.2	Direktes und indirektes Berühren	347
11.1.3	Fachbegriffe Schutzmaßnahmen (nach DIN VDE)	347
<b>11.2</b>	<b>Sicherheitsbestimmungen für Niederspannungsanlagen</b>	<b>348</b>
11.2.1	Schutzklassen	348
11.2.2	IP-Schutzarten	349
11.2.3	Maßnahmen bei Arbeiten an elektrischen Anlagen	350
11.2.4	Qualifikationen für Arbeiten in der Elektrotechnik	351
11.2.5	Fehlerarten in elektrischen Anlagen	352
11.2.6	Spannungen im Fehlerfall	352
<b>11.3</b>	<b>Netzsysteme</b>	<b>353</b>
<b>11.4</b>	<b>Schutz gegen elektrischen Schlag</b>	<b>354</b>
<b>11.5</b>	<b>Automatische Abschaltung der Stromversorgung</b>	<b>355</b>
11.5.1	Anforderungen an den Basisschutz	355
11.5.2	Anforderungen an den Fehlerschutz	356
11.5.3	Schutz im TN-System	357
11.5.4	Schutz im TT-System	358
11.5.5	Schutz im IT-System	359
<b>11.6</b>	<b>Doppelte oder verstärkte Isolierung</b>	<b>360</b>
<b>11.7</b>	<b>Schutztrennung</b>	<b>360</b>
<b>11.8</b>	<b>Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV</b>	<b>361</b>
<b>11.9</b>	<b>Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen</b>	<b>362</b>
11.9.1	Aufbau und Funktion	362
11.9.2	Anwendungen von RCDs	363
11.9.3	Kennwerte von RCDs	364
11.9.4	Auswahl und Einsatz von RCDs	364
11.9.5	RCD als Brandschutz	366
<b>11.10</b>	<b>Differenzstrom-Überwachungseinrichtung</b>	<b>366</b>
<b>11.11</b>	<b>Schutzvorkehrungen für Anlagen, die nur durch Elektrofachkräfte betrieben und überwacht werden</b>	<b>367</b>
<b>11.12</b>	<b>Prüfen der Schutzmaßnahmen</b>	<b>368</b>
11.12.1	Erstprüfungen von ortsfesten elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln nach DIN VDE 0100-600	369
11.12.2	Prüfen der Schutzleiter und Schutzpotenzialausgleichsleiter	371
11.12.3	Messen der Isolationswiderstände in elektrischen Anlagen	371
11.12.4	Prüfen der Schutzmaßnahmen SELV, PELV und Schutztrennung	372
11.12.5	Isolationswiderstandsmessung von isolierenden Fußböden und Wänden	372
11.12.6	Prüfen der Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung im TN-, TT- und IT-System	373
11.12.6.1	Prüfen im TN-System	373
11.12.6.2	Prüfen im TT-System	374
11.12.6.3	Messen des Erdungswiderstandes	374
11.12.6.4	Prüfen im IT-System	375
11.12.6.5	Prüfen der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD)	375
11.12.6.6	Prüfen der Drehfeldrichtung	375

**12**  **Gebäudetechnische Anlagen** ..... 383

<b>12.1</b>	<b>Beleuchtungsanlagen</b>	<b>383</b>
12.1.1	Farbspektrum und Farbwiedergabe	384
12.1.2	Lichttechnische Größen	385
12.1.3	Kriterien für eine gute Beleuchtung	387
12.1.4	Energieeffizienzanforderungen	388
12.1.5	Lampenübersicht	389
12.1.6	Halogenlampen	390
12.1.7	Leuchtstofflampen	392
12.1.8	Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen	393
12.1.9	Induktionslampen	394
12.1.10	LED-Lampen	394
	Praxistipp: Ersatz einer Halogen-Beleuchtung durch LED-Beleuchtung	395
	Praxistipp: Beispiel zur Ermittlung der Lampenzahl	396
12.1.11	Lichtberechnungssoftware	397
12.1.12	Lichtstärkeverteilung von Leuchten	397
12.1.13	Lichtmanagementsysteme	398
<b>12.2</b>	<b>Elektrogeräte</b>	<b>399</b>
12.2.1	Allgemeines über Elektrogeräte	399
12.2.2	Elektrische Warmwasserbereiter	400
12.2.3	Elektrische Raumheizung	402
12.2.4	Elektrische Geräte zur Nahrungsvorrats-haltung und -zubereitung	406
12.2.5	Elektrische Geräte zur Wäschepflege und Geschirreinigung	410
12.2.5.1	Waschmaschine	410
12.2.5.2	Wäschetrockner	411
12.2.5.3	Geschirrpülmaschine	412
12.2.6	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) elektrischer Geräte	413
12.2.7	Prüfen von Elektrogeräten nach Instandsetzung und Änderung	415
12.2.8	Wiederholungsprüfungen an elektrischen Geräten	417
<b>12.3</b>	<b>Antennen- und Verteilanlagen</b>	<b>418</b>
12.3.1	Wirkungsweise der Antennen	418
12.3.2	Empfangsantennen	419
12.3.3	Verstärkungsmaß, Dämpfungsmaß und Pegel	421
12.3.4	Aufbau von Antennenanlagen	422
12.3.5	Satelliten-Fernsehempfangsanlagen	423
	Praxistipp: Baugruppen zum digitalen Sat-Empfang	426
12.3.6	DVB-T2 HD-Fernsehempfangsanlagen	427
12.3.7	Breitband-Kommunikationsanlagen	427
12.3.8	Berechnung einer Empfangsantennenanlage	428
12.3.9	Errichten von Empfangsantennenanlagen	429
	Praxistipp: Multimediaverkabelung im Wohnbereich	431
<b>12.4</b>	<b>All-IP-Technik</b>	<b>432</b>
12.4.1	Grundsätzliches zu All-IP	432
12.4.2	Anschlusstechnik	433
12.4.3	VoIP-Technik	434
	Praxistipp: Auswahl und Anschluss eines DSL-Routers	435
12.4.4	ISDN am All-IP-Anschluss	436
<b>12.5</b>	<b>Gebäudeautomation</b>	<b>437</b>
12.5.1	Gebäudeleittechnik	437
12.5.2	Gebäudesystemtechnik	438
	Praxistipp: KNX-Projekt programmieren	442
	Praxistipp: Umrüsten einer Jalousiesteuerung auf KNX	444
	Praxistipp: Vernetzungsmöglichkeiten im Smart Home	445
12.5.3	Gebäudeautomation mit Visualisierung	447

**12.6 Gefahrenmeldeanlagen . . . . . 448**

12.6.1 Allgemeine Festlegungen . . . . . 448

12.6.2 Brandmeldeanlagen . . . . . 449

12.6.3 Einbruchmeldeanlagen . . . . . 451

12.6.4 Überfallmeldeanlagen . . . . . 453

Praxistipp: Beispiel einer Einbruchmeldeanlage . . . . . 454

Praxistipp: Installation von Rauchmeldern . . . . . 455

**12.7 Blitzschutz . . . . . 456**

12.7.1 Entstehung der Gewitterzelle . . . . . 456

12.7.2 Wirkungen des Blitzstromes . . . . . 456

12.7.3 Blitzschutzsysteme . . . . . 456

12.7.3.1 Äußerer Blitzschutz . . . . . 457

12.7.3.2 Innerer Blitzschutz . . . . . 458

12.7.3.3 Trennungsabstand . . . . . 459

Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Gebäudetechnik . . . . . 461

**13 Elektrische Maschinen . . . . . 462**

**13.1 Transformatoren . . . . . 463**

13.1.1 Einphasentransformatoren . . . . . 463

13.1.1.1 Aufbau und Wirkungsweise . . . . . 463

13.1.1.2 Leerlaufspannung . . . . . 463

13.1.1.3 Übersetzungen . . . . . 464

13.1.1.4 Betriebsverhalten im Leerlauf . . . . . 465

13.1.1.5 Betriebsverhalten bei Belastung . . . . . 465

13.1.1.6 Betriebsverhalten bei Kurzschluss . . . . . 466

13.1.1.7 Kurzschlussstrom und Einschaltstrom . . . . . 467

13.1.1.8 Wirkungsgrad von Transformatoren . . . . . 468

13.1.2 Kleintransformatoren . . . . . 469

13.1.2.1 Aufbau . . . . . 469

13.1.2.2 Arten von Kleintransformatoren . . . . . 470

13.1.2.3 Prüfspannungen bei Kleintransformatoren . . . . . 471

13.1.3 Sondertransformatoren . . . . . 472

13.1.3.1 Spartransformatoren . . . . . 472

13.1.3.2 Streufeldtransformatoren . . . . . 473

13.1.4 Messwandler . . . . . 473

13.1.4.1 Spannungswandler . . . . . 473

13.1.4.2 Stromwandler . . . . . 474

13.1.5 Drehstromtransformatoren . . . . . 475

13.1.5.1 Aufbau und Prinzip . . . . . 475

13.1.5.2 Schaltungen . . . . . 476

13.1.5.3 Unsymmetrische Belastung . . . . . 478

13.1.5.4 Gebräuchliche Schaltgruppen . . . . . 479

13.1.6 Parallelschalten von Transformatoren . . . . . 480

**13.2 Rotierende elektrische Maschinen . . . . . 481**

13.2.1 Grundlagen . . . . . 481

13.2.1.1 Leistung und Drehmoment . . . . . 481

13.2.1.2 Aufbau umlaufender Maschinen . . . . . 482

13.2.1.3 Leistungsschild . . . . . 482

13.2.1.4 Drehsinn . . . . . 482

13.2.1.5 Betriebsarten elektrischer Maschinen . . . . . 483

13.2.1.6 Kühlung elektrischer Maschinen . . . . . 484

13.2.1.7 Bauformen und Baugrößen von drehenden elektrischen Maschinen . . . . . 485

13.2.1.8 Elektrische Isolierung . . . . . 485

13.2.2 Drehstromasynchronmotoren . . . . . 486

13.2.2.1 Entstehung des Drehfeldes . . . . . 486

13.2.2.2 Kurzschlussläufermotor . . . . . 487

13.2.2.3 Anlassen von Kurzschlussläufermotoren . . . . . 490

13.2.2.4 Schleifringläufermotor . . . . . 492

13.2.2.5 Polumschaltbare Motoren . . . . . 493

Praxistipp: Anschließen eines Drehstrommotors . . . . . 494

Praxistipp: Formelübersicht zum Drehstrom-Asynchronmotor . . . . . 495

Praxistipp: Auswahl eines Elektromotors . . . . . 496

13.2.2.6 Bremsbetrieb von Drehstromasynchronmotoren . . . . . 498

13.2.2.7 Drehstrommotor an Wechselspannung (Steinmetzschtaltung) . . . . . 499

13.2.2.8 Wechselstrom-Asynchronmotor . . . . . 500

13.2.3 Drehstromlinearmotoren . . . . . 501

13.2.4 Synchronmotor . . . . . 502

13.2.5 Sondermotoren . . . . . 503

13.2.5.1 Spaltpolmotor . . . . . 503

13.2.5.2 Reluktanzmotor . . . . . 504

13.2.5.3 Schrittmotor . . . . . 504

13.2.6 Synchrongenerator . . . . . 507

13.2.7 Stromwendermotoren . . . . . 509

13.2.7.1 Aufbau von Gleichstrommotoren . . . . . 509

13.2.7.2 Wirkungsweise . . . . . 510

13.2.7.3 Ankerquersfeld und Ankerrückwirkung . . . . . 511

13.2.7.4 Anschlussbezeichnungen . . . . . 512

13.2.7.5 Arten von Gleichstrommotoren . . . . . 513

13.2.7.6 Anlassen von Gleichstrommotoren . . . . . 515

13.2.7.7 Drehzahlsteuerung von Gleichstrommotoren . . . . . 516

13.2.7.8 Universalmotor . . . . . 517

13.2.8 Servomotoren . . . . . 518

13.2.8.1 Gleichstromservomotor . . . . . 519

13.2.8.2 Drehstromservomotor . . . . . 519

13.2.9 Wartung und Prüfung elektrischer Maschinen . . . . . 522

Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Elektrische Maschinen . . . . . 523

**14 Informationstechnik . . . . . 524**

**14.1 Bereiche der Informationstechnik . . . . . 524**

**14.2 Computer, Programme und Peripherie . . . . . 525**

14.2.1 Bestandteile und Funktionsweise eines Computers . . . . . 525

14.2.2 Hardware, Software und Firmware . . . . . 526

14.2.3 Computersystem . . . . . 526

**14.3 Mikrocomputer . . . . . 527**

**14.4 Personal Computer (PC) . . . . . 528**

14.4.1 Komponenten eines PC . . . . . 528

14.4.2 Mikroprozessor (CPU) . . . . . 529

14.4.3 Halbleiterspeicher . . . . . 530

14.4.4 Buskommunikation . . . . . 531

14.4.5 Eingabe- und Ausgabe-Einheit . . . . . 531

Praxistipp: Auswahl eines PC-Mainboard . . . . . 532

**14.5 Geräte für Eingabe, Ausgabe und Speicherung . . . . . 533**

14.5.1 Geräte zur Eingabe . . . . . 533

14.5.2 Geräte zur Ausgabe . . . . . 533

14.5.2.1 Drucker . . . . . 533

14.5.2.2 Farbmonitore . . . . . 534

14.5.3 Periphere Geräte zur Datenspeicherung . . . . . 535

Praxistipp: Servicearbeiten am PC . . . . . 536

**14.6 Software . . . . . 537**

14.6.1 Systemprogramme . . . . . 537

14.6.2 Anwendungsprogramme . . . . . 538

14.6.3 Softwareentwicklung . . . . . 539

**14.7 Vernetzung von Computern . . . . . 540**

14.7.1 Dienste in Computernetzwerken . . . . . 540

14.7.2 Netzwerktopologien . . . . . 540

14.7.3 Bestandteile eines lokalen Netzwerkes (LAN) in Sterntopologie . . . . . 541

14.7.4 Netzwerkprotokoll . . . . . 542

14.7.5 Globales Netzwerk Internet . . . . . 543

Praxistipp: Verbinden von zwei PCs über ein Netzwerk . . . . . 544

Praxistipp: Herstellen einer WLAN-Verbindung zu einem Netzwerk . . . . . 545

**14.8 Datensicherheit, Datenschutz und Urheberrechte . . . . . 546**

**14.9 Schädliche Programme (Malware) . . . . . 546**

Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Informationstechnik . . . . . 547

**15 Automatisierungstechnik . . . . . 548**

**15.1 Industrie 4.0 . . . . . 548**

**15.2 Steuerungstechnik . . . . . 549**

15.2.1 Steuern . . . . . 549

15.2.1.1 Fachbegriffe der Steuerungstechnik . . . . . 549

15.2.1.2 Steuerungsarten . . . . . 550

**15.3 Kleinststeuergeräte . . . . . 552**

**15.4 Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) . . . . . 554**

15.4.1 Aufbau . . . . . 554

15.4.2 Programmiersprachen . . . . . 555

15.4.3 Arbeitsweise einer SPS . . . . . 555

15.4.4 Baueinstruktur in STEP 7 . . . . . 557

15.4.5	Programmierung (Bitverknüpfungen) .....	558
15.4.5.1	Grundverknüpfungen .....	558
15.4.5.2	Öffner und Schließer .....	559
15.4.5.3	Speicherfunktionen .....	561
15.4.6	Bibliotheksfähige Bausteine .....	563
15.4.7	Symbolische Adressierung (PLC-Variablen) .....	564
15.4.8	Zeit- und Zählfunktionen .....	565
15.4.8.1	Simatic-Zeitfunktionen .....	565
15.4.8.2	Simatic-Zählfunktionen .....	566
15.4.8.3	IEC-Zeitfunktionen .....	566
15.4.8.4	IEC-Zählfunktionen .....	567
15.4.8.5	Instanzenbaustein für IEC-Zeit- und Zählfunktionen .....	568
15.4.9	Vergleicher .....	570
15.4.10	Ablaufsteuerungen .....	571
15.4.10.1	Arten von Ablaufsteuerungen .....	571
15.4.10.2	Betriebsarten .....	571
15.4.10.3	Ablaufkette (Struktur) .....	572
15.4.10.4	Programmierung einer Ablaufkette mit Schrittmern .....	573
15.4.10.5	Programmierung einer Ablaufkette als bibliotheksfähigen Baustein .....	574
15.4.10.6	Ablaufkette mit Alternativverzweigung (ODER-Verzweigung) .....	575
15.4.10.7	Ablaufkette mit Parallelverzweigung (UND-Verzweigung) .....	576
15.4.11	Analogwertverarbeitung .....	577
15.4.11.1	Analoge Signalverarbeitung .....	577
15.4.11.2	Darstellung analoger Werte in der SPS .....	577
15.4.11.3	Messbereiche von Analogbaugruppen .....	578
15.4.11.4	Normierung und Skalierung von Analogwerten .....	578
15.4.12	Feldbusse .....	580
15.4.12.1	Aktor-Sensor-Interface (AS-i) .....	581
15.4.12.2	Profibus DP .....	582
15.4.12.3	Profinet IO .....	583
15.4.13	Prozessvisualisierung .....	584
<b>15.5</b>	<b>Maschinensicherheit .....</b>	<b>586</b>
15.5.1	Sicherheitskategorien (Performance Level) .....	586
15.5.2	Sicherheitsbezogene Teile .....	586
15.5.3	Handlungen im Notfall (NOT-HALT, NOT-AUS) .....	587
<b>15.6</b>	<b>Regelungstechnik .....</b>	<b>588</b>
15.6.1	Aufgaben und Begriffe .....	588
15.6.2	Regelstrecken .....	589
15.6.2.1	Statisches Verhalten von Regelstrecken .....	589
15.6.2.2	Dynamisches Verhalten von Regelstrecken .....	590
15.6.3	Regler .....	593
15.6.3.1	Unstetige Regler .....	593
15.6.3.2	Stetige Regler .....	595
15.6.4	Regelkreis .....	599
15.6.4.1	Schwingungsverhalten .....	599
15.6.4.2	Reglerauswahl .....	599
15.6.4.3	Reglereinstellung .....	600
15.6.5	Universalregler .....	601
15.6.7	Prozessleitsystem .....	601
	<b>Praxistipp: Entwurf einer Regelung .....</b>	<b>602</b>
	<b>Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Automatisierungstechnik .....</b>	<b>603</b>

**16**

**Werkstoffe, Fertigungsverfahren, Umweltschutz und Energieeinsparung 604**

<b>16.1</b>	<b>Werkstoffe der Elektrotechnik .....</b>	<b>604</b>
16.1.1	Leiter- und Kontaktwerkstoffe .....	605
16.1.1.1	Leiterwerkstoffe .....	605
16.1.1.2	Kontaktwerkstoffe .....	606
16.1.2	Isolierstoffe .....	607
16.1.2.1	Elektrische Eigenschaften von Isolierstoffen .....	607
16.1.2.2	Anorganische und organische Isolierstoffe .....	608
16.1.2.3	Flüssige und gasförmige Isolierstoffe .....	609
<b>16.2</b>	<b>Fertigungsverfahren .....</b>	<b>610</b>
16.2.1	Verbindungen (Fügen) .....	610
16.2.1.1	Lösbare Verbindungen in der Elektrotechnik .....	610
16.2.1.2	Unlösbare Verbindungen in der Elektrotechnik .....	610
16.2.2	Gedruckte Schaltungen .....	613
16.2.3	SMD-Technik .....	615

<b>16.3</b>	<b>Umweltschutz .....</b>	<b>616</b>
16.3.1	Umweltschutzverordnungen im Bereich der Elektrotechnik .....	616
16.3.2	Umweltschutz im Betrieb .....	617
16.3.3	Wiederverwertung und Entsorgung von Abfallstoffen .....	618
<b>16.4</b>	<b>Energieeinsparung .....</b>	<b>620</b>
16.4.1	Rationeller Umgang mit Energie .....	620
16.4.2	Stand-by-Betrieb .....	622
16.4.3	Tipps zum Energiesparen .....	623
	<b>Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Werkstoffe, Fertigung, Umwelt .....</b>	<b>624</b>

**17**

**Beruf und Betrieb .....** **625**

<b>17.1</b>	<b>Berufliche Handlungskompetenz .....</b>	<b>625</b>
	<b>Praxistipp: Benehmen und Stil im Beruf – Business-Etikette .....</b>	<b>626</b>
17.1.1	Teamarbeit .....	628
17.1.2	Arbeitsmethoden und Zeitplanung .....	629
17.1.3	Kommunikation .....	630
17.1.4	Kreativitätstechniken .....	631
17.1.5	Informationsbeschaffung .....	632
<b>17.2</b>	<b>Präsentation .....</b>	<b>633</b>
17.2.1	Aufgaben einer Präsentation und Vorbereitung .....	633
17.2.2	Visualisierung .....	634
17.2.3	Vortragen einer Präsentation .....	635
<b>17.3</b>	<b>Projektmanagement .....</b>	<b>636</b>
17.3.1	Aufgaben von Projekten .....	636
17.3.2	Projektphasen .....	637
<b>17.4</b>	<b>Kundenauftrag und Kundenservice .....</b>	<b>638</b>
17.4.1	Kundenerwartungen und Umgang mit dem Kunden .....	638
17.4.2	Phasen eines Kundenauftrags .....	639
17.4.3	Kundenservice .....	641
<b>17.5</b>	<b>Kalkulation und Angebot .....</b>	<b>642</b>
17.5.1	Kalkulation im Industriebetrieb .....	643
17.5.2	Kalkulation von Dienstleistungen .....	644
17.5.3	Kalkulation im Handwerksbetrieb .....	645
17.5.4	Rechnungsstellung .....	646
<b>17.6</b>	<b>Qualitätsmanagement .....</b>	<b>647</b>
17.6.1	Ziele des Qualitätsmanagements .....	647
17.6.2	Normenreihe DIN EN ISO 9000 ff. .....	647
17.6.3	TQM-Methode .....	648
17.6.4	Qualitätswerkzeuge .....	649
	<b>Praxistipp: Existenzgründung .....</b>	<b>650</b>
	<b>Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Beruf und Betrieb .....</b>	<b>651</b>
	<b>Ergebnisse der Rechenaufgaben .....</b>	<b>652</b>



**Infoteil .....** **653**

Arten von DIN-Normen in der Elektrotechnik (Auswahl) ..	653
Schaltzeichen .....	654
Wichtige elektrotechnische Symbole .....	660
Wichtige Prüfzeichen, Symbole und Logos .....	661
Kennzeichnung von Widerständen und Kondensatoren ..	662
Auslösekennlinien von Überstrom-Schutzeinrichtungen ..	663
Verlegearten von Kabeln und isolierten Leitungen, Mindestquerschnitte elektrischer Leiter .....	664
Strombelastbarkeit, Umrechnungsfaktoren von Kabeln und isolierten Leitungen .....	665
Betriebsdaten von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Kurzschlussläufer .....	666
Dioden .....	667
NPN-Transistor .....	668
Thyristor, Triac .....	669
Wichtige Abkürzungen von AC bis ISDN .....	670
Wichtige Abkürzungen von KNX bis ZVEI .....	671
Fachbegriffe Englisch – Deutsch .....	672
Firmenverzeichnis .....	675
Sachworte Deutsch – Englisch .....	676

**Vordere Innenumschlagseite:**

Wichtige Formelzeichen, Größen und Einheiten

**Hintere Innenumschlagseite:**

Arbeitssicherheit und Unfallverhütung

## 2.2 Arten von Stromkreisen

In der Elektrotechnik muss die elektrische Energie sicher und wirtschaftlich bis zum Verbraucher geliefert werden. Dazu benötigt man verschiedene Stromkreise. Man unterscheidet in der Praxis:

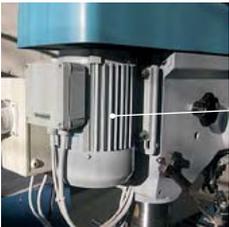
- Elektrische Gleichstromkreise,
- Einphasen-Wechselstromkreise (vereinfacht Wechselstromkreise genannt),
- Dreiphasen-Wechselstromkreise (auch Drehstromkreise genannt).

Elektrischer Gleichstromkreis (Seite 24)		
Betriebsmittelanschluss	Kennzeichnung	Schaltplan
Positiver Pol	+	
Negativer Pol	-	
Leiterbenennung	Kennzeichnung	
Positiver Leiter	L+	
Negativer Leiter	L-	

Überstrom-Schutzeinrichtungen (Sicherungen)

Gleichrichtung: Seite 251

Dreiphasen-Wechselstromkreis (Seite 155)		
Leiterbenennung	Kennzeichnung	Schaltplan
Außenleiter 1	L1	
Außenleiter 2	L2	
Außenleiter 3	L3	
Neutralleiter	N	
Schutzleiter	PE	
Neutralleiter mit Schutzfunktion	PEN	



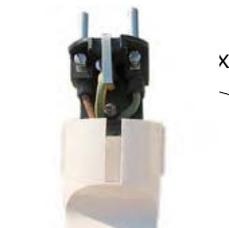
Drehstrommotor

- Motoren: Seite 481
- Schaltzeichen: Seite 654

Einphasen-Wechselstromkreis (Seite 127)		
Leiterbenennung	Kennzeichnung	Schaltplan
Außenleiter	L*	
Neutralleiter	N	
Schutzleiter	PE	



Schutzkontaktsteckdose



Schutzkontaktstecker

Anstelle der schwarzen Ader bei 5-adrigen Leitungen kann bei dreiadrigen Leitungen die blaue Ader verwendet werden.

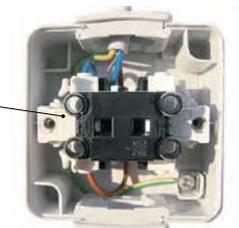
- Installationsschaltungen: Seite 103
- Farbkennzeichnung von Leitern: Seite 309
- Leitungsverlegung: Seite 315



Abzweigdose



Leuchte mit Lampe



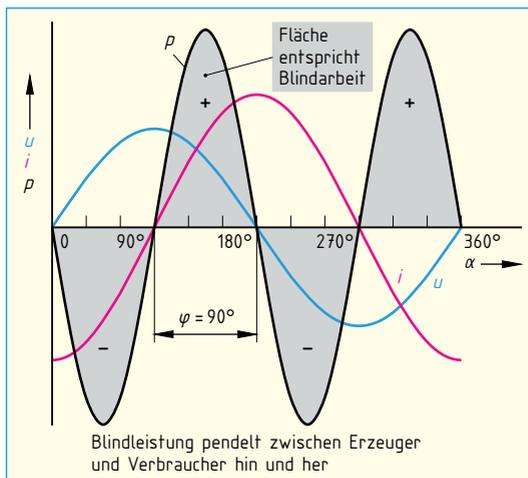
Ausschalter

\* Die Zahl nach „L“, z.B. L1, L2, L3, wird nur in Stromkreisen mit mehr als einem Außenleiter angegeben.

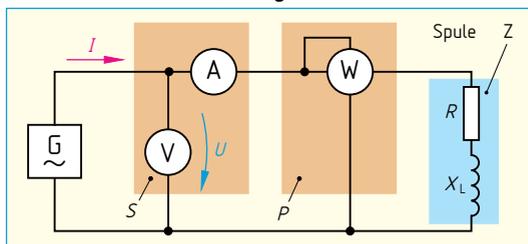


Multipliziert man die zusammengehörigen Augenblickswerte von Spannung und Strom, ergibt sich eine Sinuskurve. Die positiven und negativen Flächenteile haben die gleiche Größe (**Bild 1**). Der Mittelwert der Leistung, d.h. die Wirkleistung  $P$  ist dann null. Die auftretende Leistung an der Induktivität oder Kapazität nennt man induktive bzw. kapazitive Blindleistung  $Q_L$  bzw.  $Q_C$  (**Seite 142 und 145**).

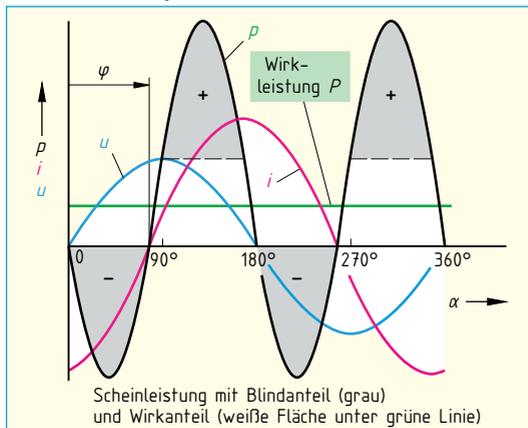
Zwischen  $90^\circ$  und  $180^\circ$  sowie zwischen  $270^\circ$  bis  $360^\circ$  wird elektrische Energie in magnetische Energie umgewandelt und das Magnetfeld der Spule aufgebaut (**Bild 1**). Ab  $0^\circ$  bis  $90^\circ$  sowie  $180^\circ$  bis  $270^\circ$  wird das Magnetfeld abgebaut. Dabei entsteht eine Selbstinduktionsspannung, die den Strom entgegengesetzt zur angelegten Spannung treibt. Die magnetische Energie wird in elektrische umgewandelt und der Stromquelle wieder zugeführt. Die ganze Energie pendelt zweimal in einer Periode zwischen Verbraucher und Erzeuger hin und her.



**Bild 1: Induktive Blindleistung**



**Bild 2: Ermittlung der Wirkleistung und Scheinleistung an einer Spule**



**Bild 3: Wirkleistung  $P$  (Phasenverschiebungswinkel  $\varphi = 90^\circ$ )**

### 7.4.3 Scheinleistung

**Versuch:** Schließen Sie eine Spule, z. B. mit 1000 Windungen, an Wechselspannung 10 V/50 Hz an (**Bild 2**). Messen Sie Stromstärke, Spannung und Leistung mit dem Leistungsmesser. Vergleichen Sie das Produkt aus Spannung und Stromstärke mit der Anzeige des Leistungsmessers.

Die berechnete Scheinleistung ist größer als die Anzeige des Leistungsmessers.

Die Scheinleistung  $S$  ist das Produkt der Effektivwerte von Spannung und Stromstärke.

Der Leistungsmesser zeigt die **Wirkleistung  $P$**  an, die so groß ist wie der Mittelwert aller Augenblickswerte  $p = u \cdot i$ . Die Wirkleistung  $P$  ist deshalb bei einer Phasenverschiebung  $\varphi$  zwischen Strom und Spannung immer kleiner als die **Scheinleistung  $S$** .

Während der Periodenabschnitte mit positiver Leistung wird Energie aus dem Netz entnommen. Negative Leistung bedeutet, dass die Energie an das Netz zurück geliefert wird (**Bild 1**). Die Differenz zwischen der positiven Energie und der negativen Energie wird in der Spule in Wirkarbeit (Wärme) umgesetzt (**Bild 3, grüne Linie**).

Bei induktiven Verbrauchern im Wechselstromnetz, z. B. Motoren in Haushaltsgeräten, treten **Wirk- und Blindleistung** gemeinsam auf. Diese Gesamtleistung bezeichnet man als Scheinleistung und hat die Einheit VA (Voltampere). Die Scheinleistung entspricht der **geometrischen Summe** aus Wirkleistung und Blindleistung (**siehe Seite 142**).

Die Scheinleistung  $S$  ist entscheidend für die Belastung der elektrischen Leitungsnetze. Deshalb müssen z. B. Transformatoren, Generatoren, Schaltanlagen und Leiterquerschnitte für die auftretende Scheinleistung dimensioniert sein.



Kompensation: **Seite 164**

#### Scheinleistung

$$S = U \cdot I$$

$$[S] = V \cdot A = VA$$

$$S^2 = P^2 + Q_L^2$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$$

$S$  Scheinleistung

$U$  Spannung (Effektivwert)

$I$  Strom (Effektivwert)

$P$  Wirkleistung

$Q_L$  induktive Blindleistung



### 7.10.4 Kompensation bei nichtsinusförmigen Strömen

In Verbrauchern (**Übersicht**) mit elektronischen Steuerungen, z.B. Dimmern, Stromrichtern oder Frequenzumrichtern fließen nichtsinusförmige Ströme, die ins Netz zurück wirken und zu einer Überlagerung der Netzspannung führen (**Bild 1, Seite 308**). Diese Verzerrung entsteht aus einer Überlagerung verschiedener sinusförmiger Spannungen unterschiedlicher Frequenz. Im 50-Hz-Netz sind das die Grundschiwingung von 50 Hz und Oberschwingungen mit einem ganzzahligen Vielfachen der Grundschiwingung. Oberschwingungen werden mit einer Ordnungszahl  $n$ , z.B. 5 oder 7, gekennzeichnet. Bei einer Netzfrequenz von 50 Hz, hat z.B. die 5. Oberschwingung eine Frequenz von  $5 \cdot 50 \text{ Hz} = 250 \text{ Hz}$ .

Bei der Kompensation der Blindleistung durch Kompensationskondensatoren wird das Netz von induktiver Blindleistung entlastet. Bildet aber die Kompensationskapazität zusammen mit der Induktivität des Netzes einen Reihenschwingkreis, so werden die entstehenden Oberschwingungen bei Resonanz zusätzlich verstärkt. Es kommt zu Spannungserhöhungen die zu Spannungsüberschlägen und damit z.B. zu Anlagenbränden führen können. Um dies zu verhindern, wird zum Kompensationskondensator eine Drossel in Reihe geschaltet (**Bild 1 und Bild 2**). Dieser Reihenschwingkreis wird so abgestimmt, dass die Resonanzfrequenz unterhalb der Frequenz der im Netz vorkommenden Oberschwingungen liegt.

Oberschwingungen verursachen im Netz Störungen und werden durch geeignete Schaltungen, z.B. verdrosselte Kompensationskondensatoren, oder Blindleistungs-Regelanlagen kompensiert.

Verdrosselte Kompensationsanlagen haben Vorteile:

- Reduzierung von Resonanzerscheinungen,
- Verminderung von Oberschwingungen,
- Verbesserung der Betriebssicherheit von Betriebsmitteln,
- Stabilisierung der Netzspannung,
- Verringerung der Blindleistung und deren Betriebskosten und
- Entlastung des Leitungsnetzes.

Ein Maß für die Verdrosselung ist der Verdrosselungsfaktor  $p$ . Er gibt das Verhältnis zwischen induktiven Blindwiderstand der Drossel und der Kapazität des Kompensationskondensators an. Für den Verdrosselungsfaktor  $p$  wurden Standardwerte, z.B. 7 %, vereinbart. Die Rundsteuerfrequenz von Tonfrequenz-Rundsteueranlagen (**Seite 166**) wird durch geeignete Wahl des Verdrosselungsfaktors  $p$  nicht beeinträchtigt.

Man unterscheidet Kompensationsanlagen mit z.B.:

- 7 %-Verdrosselung für Netze mit Oberschwingungsbelastung und Rundsteuerfrequenzen über 250 Hz, und
- 14 %-Verdrosselung für Netze mit Oberschwingungsbelastung und Rundsteuerfrequenzen von 168 Hz bis 190 Hz.

**Beispiel:**

Eine Kompensationsanlage hat eine Verdrosselung von 7 %. Wie groß ist die Resonanzfrequenz  $f_r$  der Anlage?

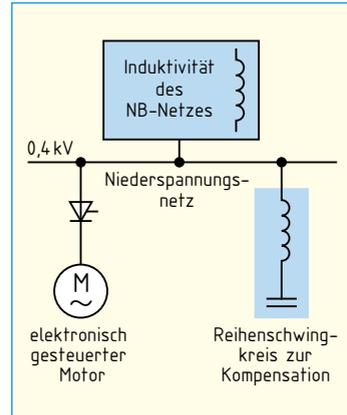
**Lösung:**

$$f_r = f_n \cdot \sqrt{\frac{1}{p}} = 50 \text{ Hz} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,07}} = \mathbf{189 \text{ Hz}}$$

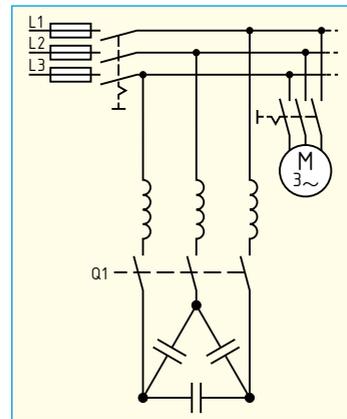
**Übersicht:**

**Verbraucherarten (Beispiele)**

- Verbraucher, die keine Oberschwingungen erzeugen: Widerstandsheizungen, Beleuchtungsanlagen, Drehstrommotoren.
- Verbraucher, die Oberschwingungen erzeugen: Transformatoren, Stromrichter, Frequenzumrichter.



**Bild 1: Kompensation einer Stromrichterschaltung (Prinzip)**



**Bild 2: Verdrosselte Kondensatoren**

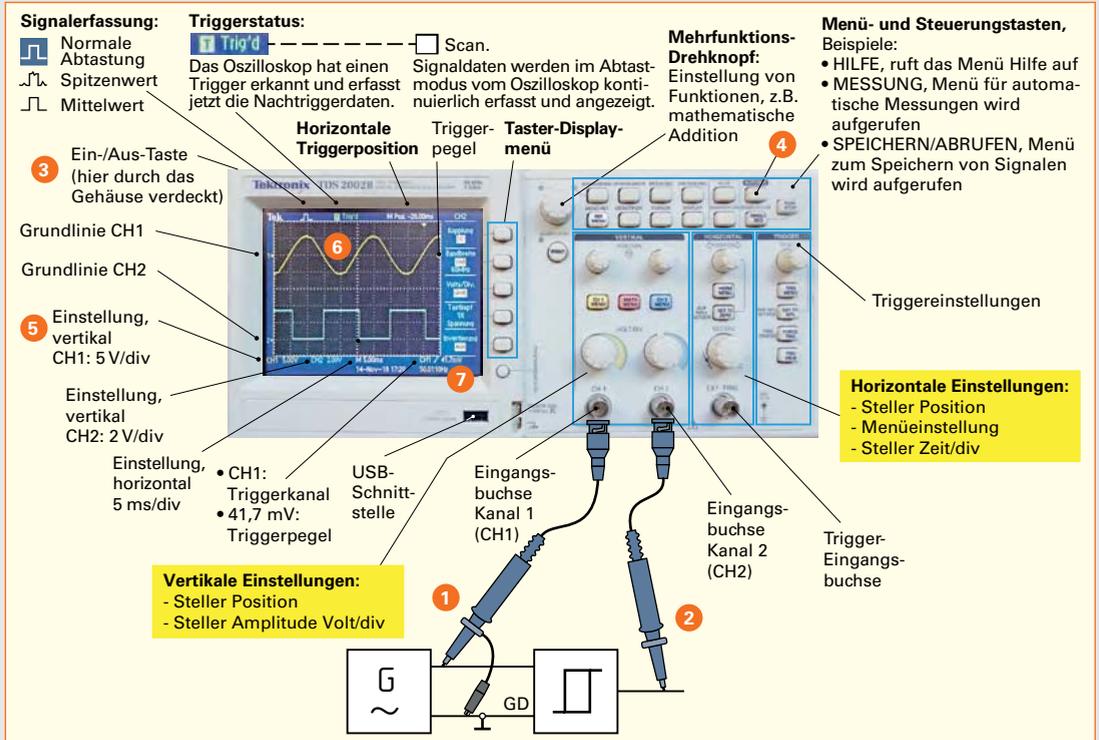
**Verdrosselungsfaktor**

$$p = \frac{X_L}{X_C}; \quad f_r = f_n \cdot \sqrt{\frac{1}{p}}$$

$p$	Verdrosselungsfaktor
$X_L, X_C$	Kompensationsblindwiderstände
$f_r$	Resonanzfrequenz der Kompensationsanlage
$f_n$	Netzfrequenz

**Situationsbeschreibung:**

Mit einem digitalen Oszilloskop soll an einer elektronischen Schaltung, z. B. an einem Schwellwertschalter (**Seite 214**), gemessen werden. **a)** Beschreiben Sie die Vorgehensweise. **b)** Bestimmen Sie mithilfe des Oszilloskopbildes die Eingangsspannung  $U$  und **c)** die Frequenz  $f$  der Ausgangsspannung



**Triggerung:** Zum Bestimmen des Startpunktes des Messsignals auf dem Bildschirm (Display). Auf dem Leuchtschirm erscheint nur dann eine ruhig stehende Kurve, z. B. eine Sinuslinie, wenn die Messspannung immer von der gleichen Stelle am Bildschirm des Oszilloskops beginnend dargestellt wird. Dies erzwingt man durch Triggerung. Mit dem Steller „Pegel“ kann der Startpunkt des Messsignals verschoben werden.

**a) Durchführung der Messung**

- 1 Tastkopf 1 an die Eingangsbuchse Kanal 1 (CH1) und an das Eingangssignal gegen Ground (GD) anschließen.  
**Hinweis:** Tastköpfe verbinden das Oszilloskop mit der Prüfschaltung. Durch eine abgeschirmte Messleitung wird die Beeinflussung durch Störsignale verringert. Bei Tastköpfen mit einem integrierten Spannungsteiler (Tastteiler), z. B. 10 : 1, beträgt der Eingangswiderstand etwa 10 M $\Omega$ . Dadurch wird das Messobjekt wenig belastet und die Messspannung im Verhältnis von 10 : 1 herabgesetzt. Somit lassen sich höhere Spannungen messen, z. B. 600 V, je nach Hersteller. Tastteiler haben meist einen Schalter zum Umschalten des Teilverhältnisses zwischen 1 : 1 und 10 : 1.
- 2 Tastkopf 2 an die Eingangsbuchse Kanal 2 (CH2) und an das Ausgangssignal anschließen.
- 3 Das Oszilloskop mit der „Ein-Aus-Taste“ einschalten.
- 4 Taste „AUTOSET“ betätigen, nachdem der Selbsttest des Oszilloskops beendet ist.  
**Hinweis:** Wird die Taste „AUTOSET“ einmalig betätigt, identifiziert das Oszilloskop die Signalart und stellt sich selbst so ein, dass eine brauchbare Anzeige des Eingangssignals auf dem Bildschirm erscheint.

**b) Bestimmen der Spannung  $U$** 

- 5 Einstellung Kanal 1 (CH1): 5 V/div
- 6 Ablesung: 2 V/div  $\Rightarrow \hat{u} = 5 \text{ V/div} \cdot 2 \text{ div} = 10 \text{ V}$ ;  $\hat{u} = \hat{u}/2 = 5 \text{ V}$ ;  $U = 0,707 \cdot \hat{u} = 0,707 \cdot 5 \text{ V} = 3,5 \text{ V}$

**c) Ermitteln der Frequenz  $f$** 

- 7 Frequenz  $f$ :  $f = 50,011 \text{ Hz}$  (durch Ablesung)

**Tabelle 1: Zündverhalten Triac**

Quadrant	Verhalten
1	Spannung vom Anschluss A2 nach Anschluss A1 positiv, von G nach A1 positiv.
2	Spannung vom Anschluss A2 nach Anschluss A1 positiv, von G nach A1 negativ.
3	Spannung vom Anschluss A2 nach Anschluss A1 negativ, von G nach A1 negativ.
4	Spannung vom Anschluss A2 nach Anschluss A1 negativ, von G nach A1 positiv.

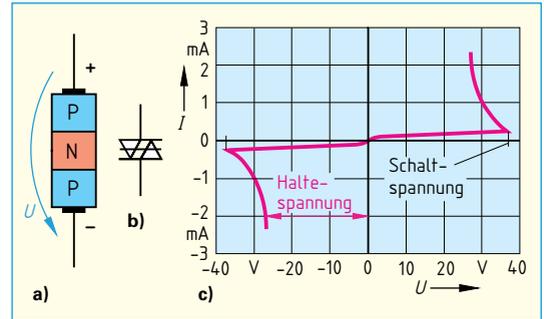
Der Triac (**Tabelle, Seite 247**) wird für Sperrspannungen bis 1200 V und Durchlassströme bis 120 A hergestellt. Er lässt sich als Stellglied für Wechselstromverbraucher, z.B. in Dimmern (**Seite 260**), und als elektronisches Schütz verwenden.

### 9.9.1.4 Diac

Der Diac<sup>1</sup> enthält ein Siliciumplättchen mit den Schichten PNP (**Bild 1a**). Beim Überschreiten der Schaltspannung (**Tabelle 2**) wird der Diac (**Bild 1b**) unabhängig von der Polarität leitend und somit niederohmig. Die Spannung an den beiden Anschlüssen sinkt sehr schnell auf etwa 75 % der Schaltspannung (**Bild 1c**). Beim Unterschreiten der Haltespannung (einige Volt) sperrt der Diac.

Diacs werden vor allem zur Erzeugung von Spannungsimpulsen und damit zum Zünden von Thyristoren und Triacs verwendet. Zu diesem Zweck schaltet man Diacs vor den Steueranschluss (Gate) des betreffenden Bauelementes, meist einem Triac (**Bild 2**).

**Funktion:** Nach Anlegen der Spannung wird der Kondensator  $C_1$  über den Widerstand  $R_1$  aufgeladen. Nach Erreichen der Schaltspannung wird der Diac leitend. Der aufgeladene Kondensator zündet den Triac und die Last erhält Spannung. Durch Ändern von  $R_1$  kann der Zeitpunkt des Zündens des Triacs verzögert werden. Dadurch erhält die Last nur einen geringen Teil der Netzspannung. Damit dient diese Schaltung der Leistungssteuerung z.B. von Glühlampen. Man spricht von einer Phasenanschnittsteuerung (Dimmer).

**Bild 1: a) Aufbau, b) Schaltzeichen und c) Kennlinie einer Dreischichtdiode (Diac)**

### i Arten von Diacs

Diacs sind Mehrschicht-Halbleiter und werden auch als Zweirichtungsdioden bezeichnet.

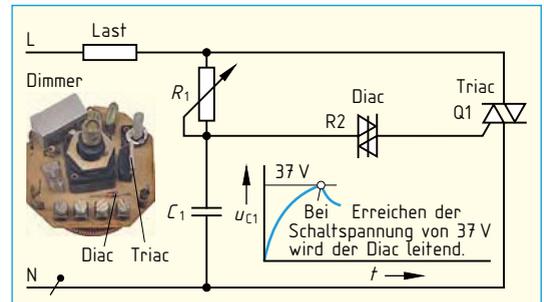
Man unterscheidet im Aufbau:

- Dreischichtdioden (PNP)
- Vierschichtdioden (PNPN)
- Fünfschichtdioden (PNPNP)

In der Praxis wird die Dreischichtdiode, z.B. zum Ansteuern von Thyristoren und Triacs, am meisten verwendet.

**Tabelle 2: Übliche Kenndaten eines Diacs**

	Schaltspannung	37 V
	Durchbruchstrom	0,4 ... 1 mA
	max. Durchlassstrom	1 A

**Bild 2: Ansteuern eines Triacs mit einem Diac (Prinzip)**

Phasenanschnittsteuerung: **Seiten 256 und 260**

### Wiederholungsfragen

- 1 Beschreiben Sie den Schichtenaufbau eines Thyristors.
- 2 Erklären Sie den Begriff Vorwärtsrichtung am Thyristor.
- 3 Welche Aufgabe hat der Gatestrom beim Thyristor?
- 4 Warum kann man Thyristoren als Gleichrichter verwenden?
- 5 Was versteht man unter der Nullkippspannung eines Thyristors?
- 6 Wozu verwendet man einen GTO-Thyristor?
- 7 Wie hoch ist die Schaltspannung eines Diacs?
- 8 Welche Anschlüsse sind bei einem Triac vorhanden?
- 9 Für welche Aufgaben verwendet man den Triac?
- 10 Was versteht man unter dem Vier-Quadranten-Betrieb beim Triac?
- 11 Welche Polaritäten der Spannungen sind zum Zünden eines Triacs im 4. Quadranten notwendig?

<sup>1</sup> Kunstwort aus Diode und alternating current (engl.) = Diode für Wechselstrom



### 10.1.1.4 Wasserkraftwerke

**Wasserkraftwerke** teilt man nach ihrer Bauart in

- Laufwasserkraftwerke,
- Speicherkraftwerke,
- Pumpspeicherkraftwerke und
- Gezeitenkraftwerke ein.

Nach der Fallhöhe des Wassers unterscheidet man Niederdruckanlagen (Fallhöhe bis 25 m), Mitteldruckanlagen (25 m bis 100 m) und Hochdruckanlagen (über 100 m). In Niederdruckanlagen verwendet man vorwiegend **Kaplanturbinen**<sup>1</sup> (Bild 1), in Mittel- und in Hochdruckanlagen **Francisturbinen**<sup>2</sup>. Bei Fallhöhen über 400 m baut man Freistrah- oder **Peltonurbinen**<sup>3</sup> ein.

Wasserkraftwerke haben einen Wirkungsgrad bis 85%.

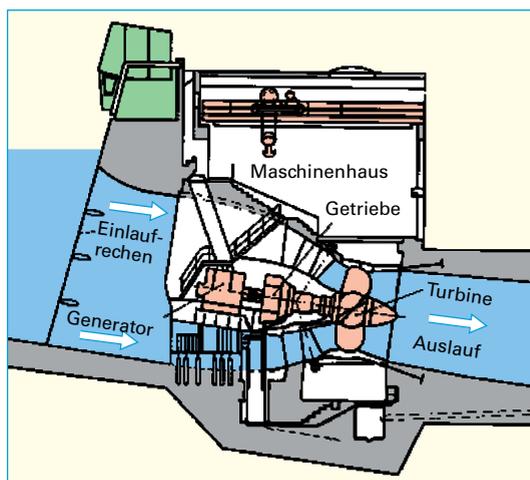


Bild 1: Kaplan-Rohrturbine

**Laufwasserkraftwerke** werden an Flussläufen oder Kanälen errichtet. Das durch die Wehranlage aufgestaute Wasser wird dem Kraftwerk direkt zugeführt. Bei geringer Fallhöhe werden meist Kaplanurbinen verwendet. Kaplanurbinen können mit senkrechter Welle oder als Rohrturbine (Bild 1) ausgeführt sein. Rohrturbinen sind in Fließrichtung des Wassers angeordnete Turbinen. Der Generator befindet sich in einem von Wasser umströmten Stahlgehäuse, das auf einem Betonsockel steht und von der Maschinenhalle aus zugänglich ist.

**Speicherkraftwerke** sammeln Regen- oder Schmelzwasser in einer Talsperre oder in einem Speicherbecken. Nach ihrem Volumen unterscheidet man Tages-, Wochen-, Monats- und Jahresspeicher.

**Pumpspeicherkraftwerke** (Bild 2) erzeugen elektrische Energie, wenn aus dem hochgelegenen Speicherbecken Wasser über die Turbine in das Unterbecken fließt. In Schwachlastzeiten, z.B. in den Nachtstunden, wird das Wasser aus dem Unterbecken wieder in das Speicherbecken hochgepumpt. Jeder Maschinensatz besteht aus Turbine, Maschine (Motor-Generator) und Pumpe (Bild 2). Die Maschine kann wahlweise als Generator oder als Motor arbeiten. Die Turbine ist mit der Maschine durch eine starre Kupplung verbunden. Zwischen Maschine und Pumpe ist zur Kraftübertragung im Motorbetrieb ein Drehmomentwandler eingebaut. Bei Turbinenbetrieb wird die Pumpe entleert und von der Maschine abgekuppelt, um unnötige Verluste zu vermeiden. Beim Übergang zum Pumpbetrieb wird zuerst das Turbinengehäuse durch Pressluft entleert und dann die Pumpe auf Bemessungsdrehzahl gebracht. Haben Pumpe und Maschine gleiche Drehzahl, wird im Drehmomentwandler die starre Kupplung eingerückt.

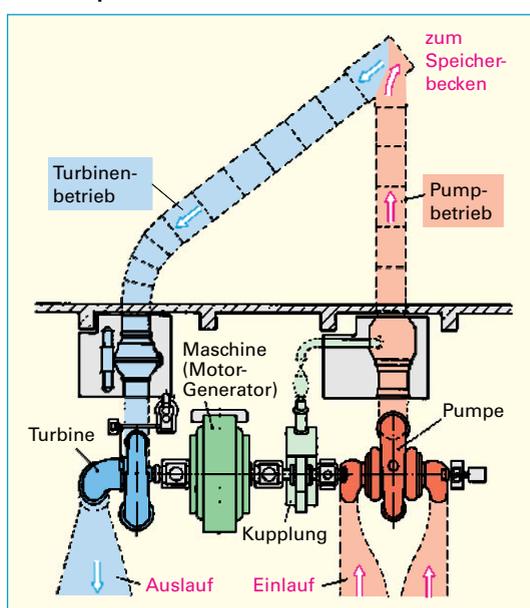


Bild 2: Maschinensatz eines Pumpspeicherkraftwerkes

**i** In modernen Maschinensätzen bilden Turbine und Pumpe eine Baueinheit.

Pumpspeicherkraftwerke können innerhalb weniger Minuten zwischen Pumpbetrieb und Turbinenbetrieb wechseln. Pumpspeicherkraftwerke decken nur den Spitzenlastbereich ab.

**Gezeitenkraftwerke** nutzen das durch Ebbe und Flut zu- bzw. abfließende Wasser. In Gezeitenkraftwerken kann elektrische Energie nur wirtschaftlich gewonnen werden, wenn ausgeprägte Gezeiten vorhanden sind, z. B. an der französischen Atlantikküste.

<sup>1</sup> Viktor Kaplan, österreichischer Ingenieur, 1876 bis 1934

<sup>3</sup> Lester Allan Pelton, amerikanischer Ingenieur, 1829 bis 1908

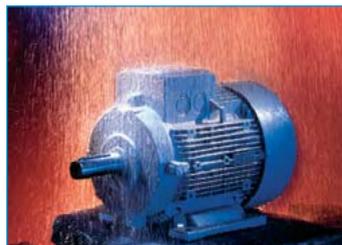
<sup>2</sup> James Francis, amerikanischer Ingenieur, 1815 bis 1892



## 11.2.2 IP-Schutzarten

Haushaltgeräte, z. B. Haartrockner oder Heizlüfter, haben Öffnungen für Lufteintritt und Luftaustritt. Um Unfallgefahren zu vermeiden, darf es nicht zur Berührung spannungsführender Teile kommen.

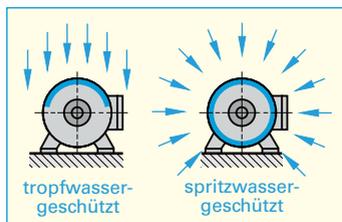
Je nach Verwendungszweck und Aufstellungsort der Betriebsmittel ist ein Berührungs- und Fremdkörperschutz und ein Schutz gegen das Eindringen von Wasser erforderlich.



**Bild 1: Motor mit Schutzart IP 54**

Das Schutzzeichen besteht aus den Buchstaben IP<sup>1</sup> und zwei nachfolgenden Kennziffern, z. B. IP 54. Nach IP und den Ziffern können zusätzliche oder ergänzende Buchstaben stehen, z. B. IP 23 CS (**Tabelle**).

Gehäuse und Klemmenkasten, z. B. von Drehstrom-Normmotoren (**Bild 1**), entsprechen meist der Schutzart IP 54 (**Tabelle**). Der Motor ist gegen Staubablagerungen (staubgeschützt) und gegen Spritzwasser aus allen Richtungen geschützt. Schutz gegen Eindringen von Wasser (**Bild 2**) erreicht man durch entsprechende Bauausführung.



**Bild 2: Schutzarten gegen das Eindringen von Wasser**

Elektrische Betriebsmittel müssen in feuchten und nassen Räumen sowie in geschützten Anlagen im Freien mindestens tropfwassergeschützt sein (IP X1), ungeschützte Anlagen im Freien müssen mindestens der Schutzart IP X3 entsprechen. Bei der Schutzart IP 68 wird zusätzlich der zulässige Druck bei Tauchbetrieb angegeben, z. B. 3 bar. Neben der Kennzeichnung der Schutzarten durch Buchstaben und Kennziffern wird die Schutzart für Installationsgeräte und elektrische Verbrauchsgeräte durch **Bildzeichen (Symbole)** gekennzeichnet, z. B. bei Leuchten, Wärmegeräten und Elektrowerkzeugen (**Tabelle**).

**Tabelle: Schutzarten elektrischer Betriebsmittel nach DIN EN 60529 (VDE 0470-1)**

Erste Kennziffer	Schutzgrad: Berührungs- und Fremdkörperschutz	Bildzeichen	Zweite Kennziffer	Schutzgrad: Wasserschutz	Bildzeichen
0	Kein besonderer Schutz.	–	0	Kein besonderer Schutz.	–
1	Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser ≥ 50 mm.	–	1	Schutz gegen senkrecht tropfendes Wasser.	tropfwassergeschützt IP X1
2	Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser ≥ 12,5 mm.	–	2	Schutz gegen senkrecht tropfendes Wasser, Betriebsmittel bis 15° geneigt.	–
3	Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser ≥ 2,5 mm.	–	3	Schutz gegen Sprühwasser (Regen) bis zu einem Winkel von 60° zur Senkrechten.	sprühwassergeschützt (regengeschützt) IP X3
4	Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser ≥ 1 mm.	–	4	Schutz gegen Spritzwasser aus allen Richtungen.	spritzwassergeschützt IP X4
5	Schutz gegen Staubablagerung (staubgeschützt). Vollständiger Berührungsschutz.	staubgeschützt IP 5X	5	Schutz gegen Strahlwasser (Düse) aus allen Richtungen.	strahlwassergeschützt IP X5
6	Schutz gegen Eindringen von Staub (staubdicht). Vollständiger Berührungsschutz.	staubdicht IP 6X	6	Schutz gegen starken Wasserstrahl oder schwere See aus allen Richtungen.	–
Wird neben den Buchstaben IP nur eine Kennziffer für den Schutzgrad benötigt, so ist anstelle der fehlenden Kennziffer ein X zu setzen, z. B. IP X4 oder IP 3X.			7	Schutz gegen Wasser bei Eintauchen des Betriebsmittels unter Druck-, Zeitbedingungen.	wasserdicht IP X7
<b>3. Stelle, z. B. IP 23C</b> A Schutz gegen Zugang mit dem Handrücken B Schutz gegen Zugang mit dem Finger C Geschützt gegen Zugang mit Werkzeugen D Geschützt gegen Zugang mit Draht			8	Schutz gegen Wasser bei dauerndem Untertauchen des Betriebsmittels.	druckwasserdicht IP X8  ...bar
<b>4. Stelle, z. B. IP 23CS</b> H Betriebsmittel für Hochspannung M Geprüft auf Wassereintritt bei laufender Maschine S Geprüft auf Wassereintritt bei stehender Maschine W Geeignet bei festgelegten Witterungsbedingungen			9	Geschützt gegen Hochdruck und hohe Strahlwassertemperaturen	–

<sup>1</sup> IP, Abk. für: International Protection (engl.) = Internationaler Schutz



### Situationsbeschreibung:

In der Praxis werden immer häufiger Wohn-, Freizeit- und ähnliche Bereiche mit einer anwendungsneutralen Kommunikationsverkabelung (siehe auch **Seite 445**) ausgestattet.

Bei der Kommunikationsverkabelung (**Bild 1**) werden Anschlüsse für Kommunikationsdienste, z. B. Telefonie, Rundfunk, Internet, Fernsehen, Computer und gebäudetechnische Anwendungen, z. B. Temperaturerfassung, flexibel und individuell in den Räumen eines Wohnhauses angeboten.

Durch die Kommunikationsverkabelung ergeben sich für Bauherren und Planer Vorteile.

- Hohe Flexibilität für individuelle Anschlüsse.
- Bei Änderungen keine neue Leitungsinstallation.

Man unterscheidet bei der anwendungsneutralen Kommunikationsverkabelung drei Anwendungsgruppen:

- Computer und Telefon,
- Audio, Radio, Fernsehen und
- Gebäudetechnik.

### Aufbau der anwendungsneutralen Kommunikationsverkabelung

Zum Aufbau sind notwendig:

- Ein zentraler Wohnungsverteiler (**Bilder 1 und 2**),
- eine Verkabelung zu den Anschlussdosen und
- Anschlussdosen in jedem Wohnraum.

**Zentraler Wohnungsverteiler:** Vom Wohnungsverteiler, z. B. Zählerschrank mit Multimediaverteilerfeld (**Bild 2**), verläuft eine sternförmige Verkabelung zu jeder Anschlussdose. Am Wohnungsverteiler lassen sich alle Änderungen und Arbeiten, z. B. Einrichten eines Telefonanschlusses, durchführen.

**Verkabelung:** Zur elektrischen Datenübertragung verwendet man z. B. Multimediakabel (**Bild 3**) mindestens der Kategorie Cat 5 (**Seite 314**).

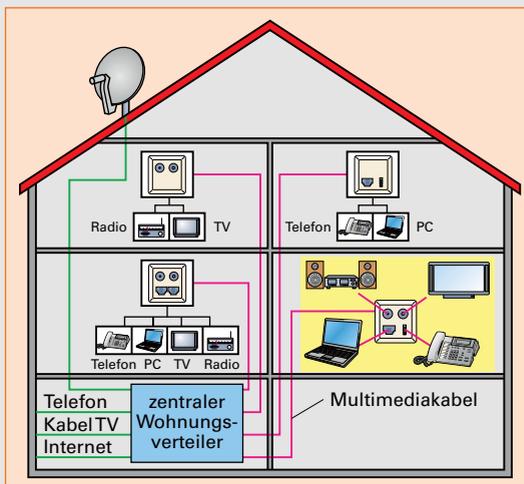
**Anschlussdose:** Es wird eine Anschlussdose für alle Kommunikationsdienste pro Raum und pro 3,75 m Wandlänge in Industrieanlagen benötigt. Als PC-Netzwerkanschlussbuchse und für ISDN-Kommunikationsgeräte verwendet man den Typ RJ45 (**Seite 436**), analoge Kommunikationsgeräte werden über Cat 5-Datendosen oder TAE-Anschlussbuchsen (**Seite 433**) angeschlossen.

### Hinweise zur Installation

- Verlegung des Datenkabels in Leerrohre, z. B. M25, in Unterflursystemen oder in Kabelkanälen.
- Bei der Kabelverlegung sind die vom Hersteller angegebenen Biegeradien nicht zu unterschreiten.
- Die Länge des Multimediakabels beträgt maximal 90 m vom Verteiler bis zur Anschlussdose.

### i Multimediaverkabelung

- Ist genormt nach DIN EN 50173.
- Nennt man auch strukturierte Heimverkabelung. (Nach Norm auch mit „Anwendungsneutraler Kommunikationskabelanlage“ bezeichnet.)



**Bild 1: Anwendungsneutrale Kommunikationsverkabelung eines Einfamilienhauses**



[www.homeway.de](http://www.homeway.de)  
[www.hager.de](http://www.hager.de)



**Bild 2: Zählerschrank mit Multimediaverteilerfeld**



**Bild 3: Multimediakabel**

**Beispiel:**

Der Antriebsmotor eines Förderbandes soll mittels Softstarter angelassen werden. Bei Anlauf beträgt das Widerstandsmoment des Förderbandes  $M_{AW} = 34,5 \text{ Nm}$ .

Der Käfigläufermotor ist in Dreieckschaltung an 400 V angeschlossen:  $P_N = 5,5 \text{ kW}$ ,  $M_A = 99,7 \text{ Nm}$ ,  $I_A = 86,1 \text{ A}$ .

- a) Auf welchen Wert ist die Startspannung des Softstarters mindestens einzustellen?  
b) Prüfen Sie, ob der Anlaufstrom des Motors die Anlaufbedingung nach TAB einhält.

**Lösung:**

- a) Berechnung Startspannung mit  $M_{A \text{ Start}} = M_{AW}$

$$U_{\text{Start}} = U_N \cdot \sqrt{\frac{M_{A \text{ Start}}}{M_A}} = 400 \text{ V} \cdot \sqrt{\frac{34,5 \text{ Nm}}{99,7 \text{ Nm}}} = 235 \text{ V}$$

- b) Berechnung des Anlaufstromes bei Startspannung

$$I_{A \text{ Start}} = I_A \cdot \frac{U_{\text{Start}}}{U_N} = 86,1 \text{ A} \cdot \frac{235 \text{ V}}{400 \text{ V}} = 50,6 \text{ A}$$

$I_{A \text{ Start}} < 60 \text{ A} \rightarrow$  Anlaufbedingung nach TAB erfüllt

**13.2.2.4 Schleifringläufermotor**

**Aufbau.** Der Ständer des Schleifringläufermotors ist genau wie der des Kurzschlussläufermotors aufgebaut. Die Welle trägt das Läuferblechpaket mit der in Nuten untergebrachten Drehstromwicklung und die **Schleifringe** (Bild 1).

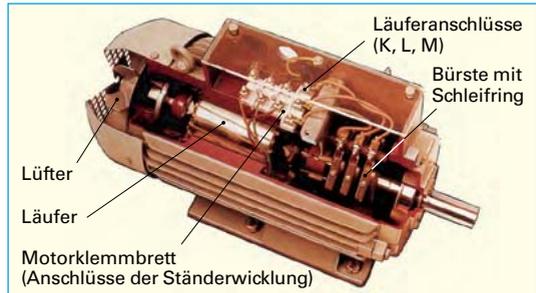
Die in Stern geschaltete, dreisträngige Läuferwicklung ist an drei Schleifringe angeschlossen. Über Kohlebürsten ist sie mit den **Klemmen K, L und M** des Klemmenbrettes verbunden. An diese Klemmen können Wirkwiderstände zum Anlassen in den Läuferkreis geschaltet werden. Eine Anlassschaltung mit Schützen zeigt Bild 2.

**Betriebsverhalten.** Durch Zuschalten der Widerstände in den Läuferkreis wird der Läuferstrom verringert, gleichzeitig jedoch sein Wirkanteil überproportional erhöht. Folge ist ein stark erhöhtes Drehmoment trotz Anlaufstrombegrenzung. Durch gezielte Auswahl der Anlasswiderstände kann der Motor mit seinem Kippmoment anlaufen (Bild 3). Nach dem Hochlaufen werden die Anlasswiderstände abgeschaltet, indem die Schleifringe durch Stifte kurzgeschlossen werden. Mit kurzgeschlossener Läuferwicklung wirken Schleifringmotoren wie Kurzschlussläufermotoren. Bei Motoren über 20 kW werden die Bürsten gleichzeitig abgehoben, um den Verschleiß zu verringern.

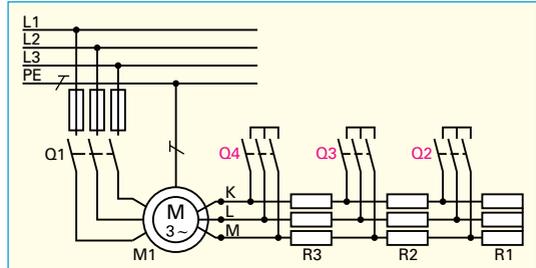
Das beim Schleifringläufermotor verwendete **Läuferanlassverfahren** gestattet den Schweranlauf mit dem Kippmoment des Motors.

**Anwendung.** Schleifringläufermotoren haben Bemessungsleistungen von etwa 5 kW bis 10 MW (Beispiel Bild 4). Sie werden als Antrieb bei Volllast- und Schweranlauf verwendet, z.B. Wasserwerkspumpen und Hebezeuge.

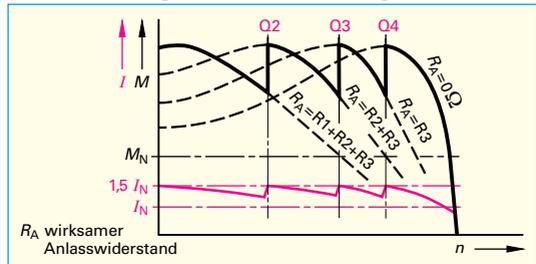
Wegen Brandgefahr dürfen Schleifringläufermotoren z.B. in landwirtschaftlichen Betriebsstätten nicht verwendet werden.



**Bild 1: Schleifringläufermotor**



**Bild 2: Schleifringläufermotor mit 3-stufigem Anlasser**



**Bild 3: Drehmoment und Anlaufstrom zu Bild 2**

Hersteller	
Typ DA 80	
D - Motor	Nr. 7660
$\Delta$ 400	178 A
100 kW S3	$\cos \varphi$ 0,89
1460/min	50 Hz
Läufer $\gamma$	245 V*
Th.CI.155 (F)	248 A
	IP 44
	1,1 t
* Läuferstillstandspannung	
DIN VDE 0530 EN 60034	

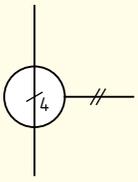
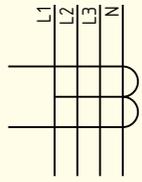
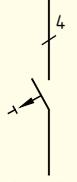
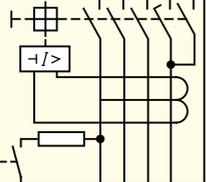
**Bild 4: Leistungsschild**



## Schaltzeichen (3)

nach DIN EN 60617

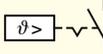
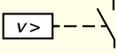
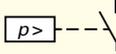
## Stromwandler, Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD)

 einpolig	 allpolig	Summenstromwandler mit vier durchgefädelt Primärwicklungen (Summation current transformer with four threaded primary windings)	 einpolig	 allpolig	Fehlerstrom-Schutz-einrichtung (RCD) (Residual current protective device)
---	---	--	---	---	---

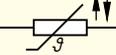
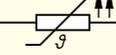
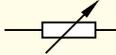
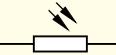
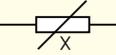
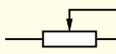
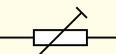
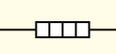
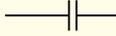
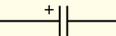
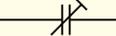
## Kontaktarten

	Schließer (Make contact)		Öffner (Break contact)		Wechsler (Umschaltkontakt) (Change-over break before make contact)
---	--------------------------	---	------------------------	---	--

## Schalterantriebe

Schaltzeichen	Benennung*	Schaltzeichen	Benennung*	Schaltzeichen	Benennung*
	Handbetätigung, allgemein (Manual actuator)		Betätigung durch Drücken (Operated by pushing)		Betätigung durch Ziehen (Operated by pulling)
	Betätigung durch Rollen (Operated by roller)		Betätigung durch Schlüssel (Operated by key)		Betätigung durch Drehen (Rotary actuator)
	Schütz- oder Relaispule, Antrieb elektromechanisch (Contactor or relais coil)		Antrieb, ansprechverzögert (Delayed pull-on relay)		Antrieb, rückfallverzögert (Delayed pull-off relay)
	Remanenzrelais (Remanent relay)		Kontakt eines Überlastrelais (Contact of a thermal relay)		Thermisches Relais (Operating device of thermal relay)
	Thermokontakt (Self-operating thermal switch)		Endschalter, Öffner (Position switch, break contact)		Endschalter, Schließer (Position switch, make contact)
	Schaltenschloss (Tip-free mechanism)		Näherungsschalter allgemein (Proximity switch, make contact)		Durch Annähern von Magneten (Proximity switch, operated on the approach of magnet)
	Schutztemperaturbegrenzer (Protective temperature limiter)		Strömungswächter (Flow monitor)		Druckwächter (Manostat)

## Passive Bauelemente

	Widerstand, allgemein (Resistor)		NTC-Widerstand (NTC-resistor)		PTC-Widerstand (PTC-resistor)
	Widerstand, veränderbar (Adjustable resistor)		LDR-Widerstand (Light dependent resistor)		Feldplatte (Magnetoresistor)
	Potenziometer (Potentiometer)		Einstellbarer Widerstand (Resistor with preset adjustment)		Heizwiderstand (Heating element)
	Kondensator, ungepolt (Capacitor)		Elektrolyt-Kondensator (Polarized capacitor)		Einstellbarer Kondensator (Capacitor with preset adjustment)
	Induktivität (Inductor)		Induktivität mit Magnetkern (Inductor with magnetic core)		Transformator (Transformer with two windings)

\* englischer Fachbegriff in Klammern