

**Wichtige Formelzeichen, Größen und Einheiten** Nach DIN 1304

Formelzeichen <sup>1</sup>	Größe	Einheit, Einheitenname	Einheitenzeichen, Bemerkungen	Formelzeichen <sup>1</sup>	Größe	Einheit, Einheitenname	Einheitenzeichen, Bemerkungen
<b>Elektrizität und Magnetismus</b>				<b>Länge und ihre Potenzen</b>			
$Q$ $e$	elektrische Ladung, Elektrizitätsmenge Elementarladung	Coulomb	1 C = 1 As	$l$ $d, \delta$ $r, R$ $d, D$ $s$	Länge, Abstand Dicke, Schichtdicke Radius, Halbmesser Durchmesser Weglänge, Kurvenlänge	Meter	m
$I$ $I_w$ $I_{BL}$ $I_{BC}$ $i$ $\hat{i}$ $\hat{i}$	elektrische Stromstärke Wirkstrom induktiver Blindstrom kapazitiver Blindstrom Augenblickswert Amplitude, Scheitelwert Spitze-Tal-Wert	Ampere	A	$A, S$ $S, q$ $\alpha, \beta, \gamma$ $\varphi, \alpha$	Flächeninhalt, Fläche Querschnittsfläche ebener Winkel Drehwinkel	Meter hoch zwei Grad Radiant, Grad	m <sup>2</sup>  ° rad, °(Grad)
$J$	elektrische Stromdichte	Ampere je m <sup>2</sup>	$\frac{A}{m^2}$	<b>Raum und Zeit</b>			
$U$ $U_w$ $U_{BL}$ $U_{BC}$ $u$ $\hat{u}$ $\hat{u}$	elektrische Spannung Wirkspannung indukt. Blindspannung kapazit. Blindspannung Augenblickswert Amplitude, Scheitelwert Spitze-Tal-Wert	Volt	V	$t$ $\Delta t$ $T$ $\tau, T$ $f$ $\omega$	Zeit, Dauer Zeitspanne Periodendauer Zeitkonstante Frequenz Kreisfrequenz, Winkelgeschwindigkeit	Sekunde  Hertz je Sekunde Radiant je Sek.	s  Hz = 1/s 1/s rad/s
$R$	elektr. Widerstand, Wirkwiderstand	Ohm	$\Omega$	$n, f_r$ $\lambda$ $v, u,$ $w, c$ $a$	Drehzahl, Umdrehungsfrequenz Wellenlänge Geschwindigkeit Beschleunigung, Verzögerung	je Sekunde Meter Meter je Sekunde Meter je Sek. hoch zwei	$\frac{1}{s}$ m $\frac{m}{s}$ $\frac{m}{s^2}$
$G$ $B$ $Y$	elektrischer Leitwert Blindleitwert Scheinleitwert	Siemens	$1 S = 1 \frac{1}{\Omega}$	<b>Mechanik</b>			
$\rho$ $\gamma, \sigma, \kappa$	spezifischer Widerstand elektrische Leitfähigkeit	Ohm · m Siemens je m	$\Omega \cdot m$ $\frac{S}{m} = \frac{1}{\Omega \cdot m}$	$m$ $F$ $M$ $W, A, E$ $P$ $\eta$ $\zeta$	Masse, Gewicht Kraft Kraftmoment, Drehmoment Arbeit, Energie Leistung Wirkungsgrad Arbeitsgrad, Nutzungsgrad	Kilogramm Newton Newtonmeter Joule Watt – 1	kg N Nm J W 1
$X$ $X_L$ $X_C$	Blindwiderstand indukt. Blindwiderstand kapazit. Blindwiderstand	Ohm	$\Omega$	<b>Wärme und Wärmeübertragung</b>			
$Z$	Scheinwiderstand, Impedanz	Ohm	$\Omega$	$T, \theta$ $\Delta T, \Delta t, \Delta \vartheta$ $t, \vartheta$ $Q$ $C_{th}$ $c$	thermodynamische Temperatur Temperaturdifferenz Celsius-Temperatur Wärmemenge Wärmekapazität spezifische Wärmekapazität	Kelvin  Grad Celsius Joule Joule je Kelvin Joule je kg und Kelvin	K  °C J $\frac{J}{K}$ $\frac{J}{kg \cdot K}$
$W$	Arbeit, Energie	Joule	1 J = 1 Vs	<b>Licht und elektromagnetische Strahlung</b>			
$P$	Leistung, Wirkleistung	Watt	W	$I_v$ $\Phi_v$ $E_v$ $L_v$ $\eta$	Lichtstärke Lichtstrom Beleuchtungsstärke Leuchtdichte Lichtausbeute	Candela Lumen Lux Candela je m <sup>2</sup> Lumen je Watt	cd 1 lm = 1 cd · sr 1 lx = 1 lm/m <sup>2</sup> cd/m <sup>2</sup> lm/W
$S$	Scheinleistung	Volt · Ampere	VA				
$Q_L$ $Q_C$	induktive Blindleistung kapazitive Blindleistung	Volt Ampere reaktiv, Watt	var, W				
$E$	elektrische Feldstärke	Volt je m	V/m				
$C$	elektrische Kapazität	Farad	1 F = 1 As/V				
$\epsilon$ $\epsilon_0$	Permittivität elektr. Feldkonstante	Farad je m	F/m				
$\epsilon_r$	Permittivitätszahl,	–	1				
$\varphi$	Phasenverschiebungswinkel	Grad, Radiant	° rad				
$N$	Windungszahl	–	1				
$\Theta$	elektr. Durchflutung	Ampere	A				
$H$	magnetische Feldstärke	Ampere je m	A/m				
$\Phi$	magnetischer Fluss	Weber	1 Wb = 1 Vs				
$B$	magnet. Flussdichte	Tesla	1 T = 1 Vs/m <sup>2</sup>				
$L$	Induktivität	Henry	1 H = 1 Vs/A				
$\mu$	Permeabilität	Henry je m	$1 \frac{H}{m} = 1 \frac{Vs}{Am}$				
$\mu_0$	magnet. Feldkonstante	–	1				
$\mu_r$	Permeabilitätszahl relative Permeabilität	–	1				

<sup>1</sup> Sind für eine Größe mehrere Zeichen angegeben, so ist das an erster Stelle stehende (meist internationale) Zeichen zu bevorzugen.



## KOSTENLOSE ERGÄNZUNGEN DIGITAL+

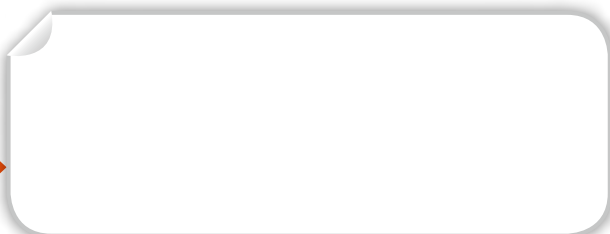
- **Abbildungen:** Zur Unterrichtsvorbereitung und zur Erstellung eigener Arbeitsmaterialien.
- **Lernbilder:** Abbildungen mit ein- und ausblendbaren Beschriftungen zum eigenständigen oder gemeinsamen Lernen.
- **Infoseiten:** Z. B. Datenblätter, Schaltzeichen, Symbole für eine praxisnahe Unterstützung.
- **Wiederholungsseiten:** Festigen und vertiefen Sie Ihr Wissen.

Die ergänzenden digitalen Materialien finden Sie in unserem virtuellen Medienregal EUROPATHEK kostenlos unter

[www.europathek.de](http://www.europathek.de)

- Öffnen Sie [www.europathek.de](http://www.europathek.de) auf Ihrem Gerät (PC/MAC, Smartphone oder Tablet).
- Melden Sie sich mit Ihrem Nutzerkonto (bestehend aus E-Mail-Adresse und Passwort) an.
- Sofern Sie noch nicht über ein eigenes Nutzerkonto verfügen, können Sie sich kostenlos registrieren.

**Durch die Eingabe des folgenden Codes schalten Sie das Medien-Paket in Ihrer EUROPATHEK frei (siehe nächste Seite).**



Dieser Freischaltcode ermöglicht den Zugriff auf das Bilder-Paket für eine Dauer von 48 Monaten.

# So erhalten Sie Ihr Bilder-Paket



1. Registrieren/Anmelden auf [www.europathek.de](http://www.europathek.de)

E-Mail Adresse

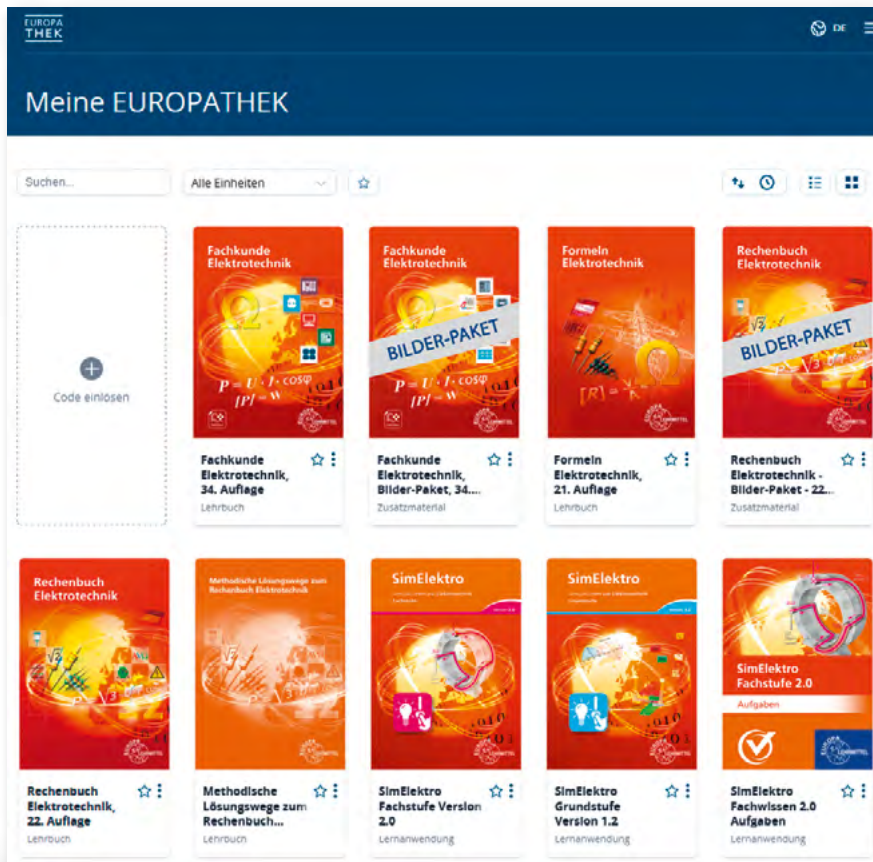
Passwort

Angemeldet bleiben Passwort zurücksetzen

Anmelden

2. Code einlösen  
Beispiel eines Freischaltcodes: VEL-XXXX-XXXX-XXXX
3. Fachkunde Elektrotechnik – Bilder-Paket starten

Eine Auswahl aktueller Elektrotechnik-Titel in der EUROPATHEK:



Weitere Infos zur EUROPATHEK sowie hilfreiche Videos zur Verwendung des virtuellen Medienregals erhalten Sie unter: [www.europa-lehrmittel.de/digital](http://www.europa-lehrmittel.de/digital)



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für elektrotechnische Berufe

# Fachkunde Elektrotechnik

**34. 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
Gmeiner, Christian	Oppenau
Käppel, Thomas	Münchberg
Klee, Werner	Mehlingen
Neumann, Ronald	Oberkail
Reichmann, Olaf	Altlandsberg
Schwarz, Jürgen	Tettngang
Tkotz, Klaus	Kronach
Winter, Ulrich	Kaiserslautern

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

**Bildentwürfe:** Die Autoren

**Fotos:** Autoren und Firmen (Bildquellen- und Firmenverzeichnis Seite 691)

- 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.

34. Auflage 2024

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-7585-3273-3

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

© 2024 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
[www.europa-lehrmittel.de](http://www.europa-lehrmittel.de)

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Ertstadt

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfotos: Weltkugel: © erdquadrat – Adobe Systems Software, Ireland Ltd., Adobe Stock, Dublin, Irland;  
Icons: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald und  
Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Ertstadt

Umschlagidee: Klaus Tkotz

Druck: Himmer GmbH, 86167 Augsburg

Kapitelnummer und Symbole

## ● Allgemeines

Vorwort .....	4
Inhaltsverzeichnis (ausführlich) .....	5–10
Lernfeldhinweise und Projektbearbeitung .....	11–14
Sachwortverzeichnis Deutsch – Englisch .....	ab Seite 692

## ● 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 .....	351
12 Gebäudetechnische Anlagen .....	390
13 Elektrische Maschinen .....	474
14 Informationstechnik .....	536
15 Automatisierungstechnik .....	561
16 Werkstoffe, Fertigung, Umwelt, Energieeinsparung .....	620

## ● Beruf und Betrieb

641

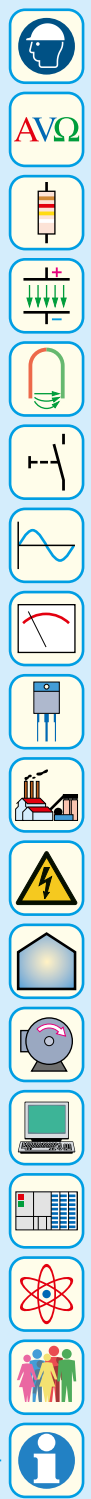
## ● Infoseiten (Auswahl)

- 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 .....
- Analyse 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 .....
- Installation eines lokalen Computernetzwerkes .....
- Existenzgründung .....

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17



# Liebe Leserin, lieber Leser,

unser Autorenteam möchte Sie für die **Fachkunde Elektrotechnik** begeistern. Fachliche Aktualität, prüfungsrelevante Inhalte, Praxistipps, neueste technische Vorschriften der Elektrotechnik – in einer verständlichen Sprache – sind uns wichtige Merkmale bei der Weiterentwicklung des Buches. Deshalb freut es uns, dass Sie sich für unsere Fachkunde Elektrotechnik, jetzt in der **34. Auflage**, entschieden haben, um damit Ihr Fachwissen zu erweitern.

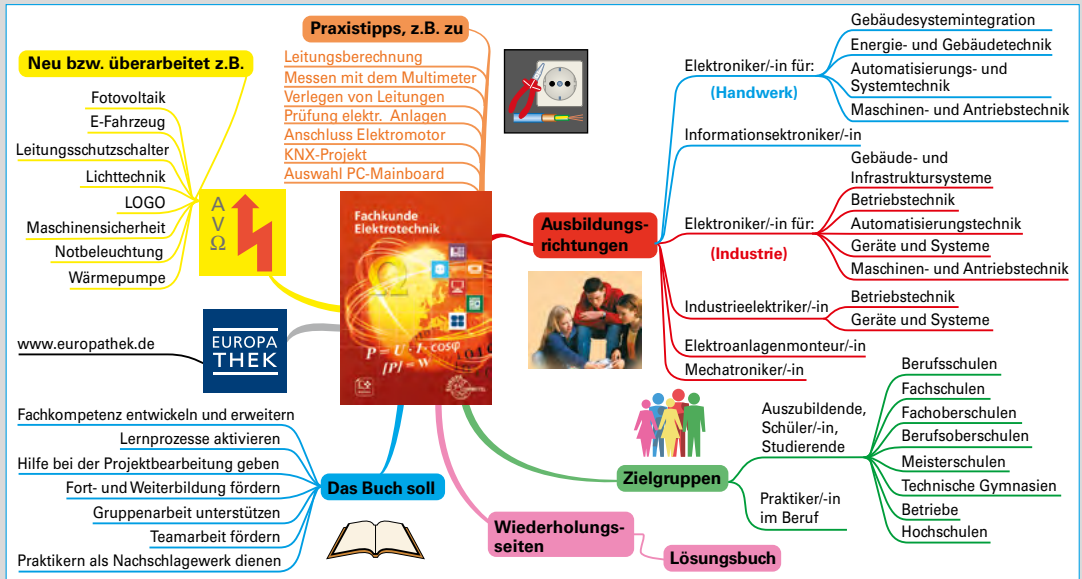
## Zum Buch

- 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. Die Ergebnisse der Rechenaufgaben sind auf Seite 668.
- Praxistippseiten unterstützen Ihre berufliche Tätigkeit.
- Ein Infoteil am Buchende unterstützt Ihre kompetenzorientierte und praxisnahe Ausbildung.
- Im virtuellen Medienregal EUROPATHEK finden Sie 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. Vertiefen Sie Ihr Fachwissen durch ergänzende Fachliteratur.

## Die Fachkunde Elektrotechnik auf einen Blick



Wollen Sie mithelfen unsere Fachkunde Elektrotechnik zukünftig zu verbessern? Wir sind offen für Verbesserungsvorschläge, Kritik, Anregungen und freuen uns über einen lebhaften Austausch. Schreiben Sie uns unter [lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de).

Wir, Autoren und Verlag, wünschen Ihnen mit unserer Fachkunde Elektrotechnik viel Erfolg und hoffen, dass dieses Buch Ihnen eine Hilfe bei Ihrer beruflichen Ausbildung oder Tätigkeit ist. Frühjahr 2024

**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**

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



<b>1</b>	 <b>Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz</b> 15
1.1	<b>Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz</b> ..... 15
1.2	<b>Produktsicherheitsgesetz</b> ..... 15
1.3	<b>Gefahrstoffverordnung</b> ..... 16
1.4	<b>Sicherheitszeichen</b> ..... 17
1.5	<b>Erste Hilfe</b> ..... 18
	Praxistipp: Gefährdungsbeurteilung ..... 19
	Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Arbeitsschutz ..... 20
<b>2</b>	 <b>Grundbegriffe der Elektrotechnik</b> ..... 21
2.1	<b>Umgang mit physikalischen Größen</b> ..... 21
2.2	<b>Arten von Stromkreisen</b> ..... 23
2.3	<b>Elektrische Ladung (Elektrizitätsmenge)</b> ..... 26
2.4	<b>Elektrische Spannung</b> ..... 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	<b>Elektrischer Strom</b> ..... 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	<b>Elektrischer Widerstand und Leitwert</b> ..... 36
2.7	<b>Ohmsches Gesetz</b> ..... 37
2.8	<b>Leiterwiderstand</b> ..... 38
2.9	<b>Temperaturabhängigkeit des Widerstandes</b> ..... 39
2.10	<b>Bauarten von Widerständen</b> ..... 40
2.11	<b>Elektrische Energie und Arbeit</b> ..... 42
2.11.1	Gewinnung elektrischer Energie ..... 42
2.11.2	Elektrische Arbeit ..... 43
2.12	<b>Elektrische Leistung</b> ..... 44
2.13	<b>Wirkungsgrad</b> ..... 46
2.14	<b>Elektrowärme</b> ..... 47
	Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Grundbegriffe der Elektrotechnik ..... 48
<b>3</b>	 <b>Grundschaltungen der Elektrotechnik</b> .. 49
3.1	<b>Reihenschaltung</b> ..... 49
3.1.1	Gesetze der Reihenschaltung ..... 49
3.1.2	Vorwiderstände ..... 51
3.1.3	Spannungsfall an Leitungen ..... 52
3.2	<b>Parallelschaltung</b> ..... 53
3.3	<b>Gemischte Schaltungen</b> ..... 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	<b>Spannungsquelle</b> ..... 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	<b>Galvanische Elemente</b> ..... 64
3.5.1	Umwandlung chemischer Energie in elektrische Energie ..... 64
3.5.2	Brennstoffzellen ..... 64
3.5.3	Grundbegriffe zu Primär- und Sekundärbatterien ..... 65
3.5.4	Batterien (Primärbatterien) ..... 66
3.5.5	Akkumulatoren (Sekundärbatterien) ..... 67
3.5.5.1	Arten von Akkumulatoren ..... 67
3.5.5.2	Laden von Akkumulatoren ..... 69
	Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Grundschaltungen ..... 70

<b>4</b>	 <b>Elektrisches Feld</b> ..... 71
4.1	<b>Eigenschaften des elektrischen Feldes</b> ..... 71
4.2	<b>Grundbegriffe</b> ..... 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	<b>Kondensator im Gleichstromkreis</b> ..... 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	<b>Schaltungen von Kondensatoren</b> ..... 78
4.4.1	Parallelschaltung von Kondensatoren ..... 78
4.4.2	Reihenschaltung von Kondensatoren ..... 78
4.5	<b>Kenngößen und Bauarten von Kondensatoren</b> ..... 79
4.5.1	Kenngößen ..... 79
4.5.2	Bauarten ..... 79
	Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Elektrisches Feld ..... 81
<b>5</b>	 <b>Magnetisches Feld</b> ..... 82
5.1	<b>Eigenschaften der Magnete und Darstellungshilfen</b> ..... 82
5.2	<b>Elektromagnetismus</b> ..... 84
5.2.1	Stromdurchflossener Leiter und Magnetfeld ..... 84
5.2.2	Stromdurchflossene Spule und Magnetfeld ..... 85
5.3	<b>Magnetische Größen</b> ..... 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	<b>Eisen im Magnetfeld einer Spule</b> ..... 87
5.5	<b>Strom und Magnetfeld</b> ..... 90
5.5.1	Stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld ..... 90
5.5.2	Stromdurchflossene parallele Leiter ..... 92
5.5.3	Stromdurchflossene Spule im Magnetfeld ..... 92
5.6	<b>Spannungserzeugung durch Induktion</b> ..... 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
<b>6</b>	 <b>Schaltungstechnik</b> ..... 100
6.1	<b>Schaltungsunterlagen</b> ..... 100
	Praxistipp: Installation einer Wechsel-schaltung mit Steckdose ..... 102
6.2	<b>Installationsschaltungen</b> ..... 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	<b>Elektromagnetische Schalter</b> ..... 110
6.3.1	Relais ..... 111
6.3.2	Schütze ..... 113
6.3.3	Schützsicherungen ..... 114
6.4	<b>Klemmenplan bei elektrischen Steuerungen</b> .. 120
6.5	<b>Elektrische Ausrüstung von Maschinen</b> ..... 121
6.5.1	Prüfen der elektrischen Ausrüstung von Maschinen ..... 122
	Praxistipp: Anforderungen an Steuerstromkreise ..... 124
	Praxistipp: Stromlaufplan und Aufbau einer Stern-Dreieck-Schaltung ..... 125
	Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Schaltungstechnik ..... 126



<b>7</b>	<b>Wechselstromtechnik</b> ..... 127	
7.1	<b>Kenngößen der Wechselstromtechnik</b> ..... 127	
7.1.1	Periode und Scheitelwert ..... 127	
7.1.2	Frequenz und Periodendauer ..... 127	
7.1.3	Frequenz und Wellenlänge ..... 128	
7.2	<b>Sinusförmige Wechselgrößen</b> ..... 129	
7.2.1	Zeigerdarstellung von Sinusgrößen ..... 129	
7.2.2	Kreisfrequenz ..... 130	
7.2.3	Erzeugung von Sinusspannungen ..... 130	
7.2.4	Scheitelwert und Effektivwert bei sinusförmigen Wechselgrößen ..... 131	
7.2.5	Zeitlicher Verlauf von Wechselgrößen ..... 132	
7.2.6	Nichtsinusförmige Spannungen und Ströme ..... 133	
7.2.7	Phasenverschiebung ..... 134	
7.2.8	Wirkwiderstand ..... 134	
7.2.9	Scheinwiderstand ..... 134	
7.3	<b>Spule im Wechselstromkreis</b> ..... 135	
7.3.1	Induktiver Blindwiderstand ..... 135	
7.3.2	Reihenschaltung aus Wirkwiderstand und induktivem Blindwiderstand ..... 136	
7.3.3	Spannungsdreieck ..... 137	
7.3.4	Widerstandsdreieck ..... 138	
7.3.5	Verlustwinkel, Verlustfaktor und Gütefaktor einer Spule ..... 138	
7.3.6	Parallelschaltung aus Wirkwiderstand und induktivem Blindwiderstand ..... 139	
7.3.7	Stromdreieck und Leitwertdreieck ..... 139	
7.4	<b>Leistungen im Wechselstromkreis</b> ..... 140	
7.4.1	Wirkleistung ..... 140	
7.4.2	Blindleistung ..... 140	
7.4.3	Scheinleistung ..... 141	
7.4.4	Zusammenhang zwischen der Wirk-, Blind- und Scheinleistung ..... 142	
7.4.5	Leistungsfaktor, Wirkfaktor und Blindfaktor ..... 143	
7.4.6	Verlustleistung bei realen Spulen ..... 143	
7.5	<b>Kondensator im Wechselstromkreis</b> ..... 144	
7.5.1	Kapazitiver Blindwiderstand ..... 144	
7.5.2	Reihenschaltung aus Wirkwiderstand und kapazitivem Blindwiderstand ..... 145	
7.5.3	Parallelschaltung aus Wirkwiderstand und kapazitivem Blindwiderstand ..... 146	
7.5.4	Verlustwinkel und Gütefaktor eines Kondensators ..... 147	
7.6	<b>Schaltung aus Spule, Kondensator und Wirkwiderstand</b> ..... 148	
7.6.1	Reihenschaltung aus Wirkwiderstand, induktivem und kapazitivem Blindwiderstand ..... 148	
7.6.2	Parallelschaltung aus Wirkwiderstand, induktivem und kapazitivem Blindwiderstand ..... 149	
7.7	<b>Schwingkreise</b> ..... 150	
7.7.1	Resonanz ..... 151	
7.7.2	Reihenschwingkreis ..... 151	
7.7.3	Parallelschwingkreis ..... 152	
7.8	<b>Siebschaltungen</b> ..... 154	
7.8.1	RL-Tiefpass ..... 154	
7.8.2	RL-Hochpass ..... 154	
7.8.3	RC-Tiefpass ..... 155	
7.8.4	RC-Hochpass ..... 155	
7.9	<b>Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)</b> ..... 156	
7.9.1	Entstehung der Dreiphasenwechselspannung ..... 156	
7.9.2	Verkettung ..... 156	
7.9.3	Sternschaltung (Zeichen: Y) ..... 158	
7.9.4	Dreieckschaltung (Zeichen: $\Delta$ ) ..... 160	
7.9.5	Leiterfehler in Drehstromsystemen ..... 161	
7.9.6	Leistungen in Drehstromsystemen ..... 162	
7.9.7	Leistungsmessung in Drehstromsystemen ..... 163	
7.10	<b>Kompensation</b> ..... 164	
7.10.1	Kompensationsarten ..... 165	
7.10.2	Bemessung von Kompensationskondensatoren ..... 166	
7.10.3	Tonfrequenzsperrkreise ..... 166	
7.10.4	Kompensation bei nichtsinusförmigen Strömen ..... 167	
	Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Wechselstromtechnik ..... 168	

<b>8</b>	<b>Messtechnik</b> ..... 169	
8.1	<b>Elektrische Messgeräte</b> ..... 169	
8.1.1	Grundbegriffe der Messtechnik ..... 169	
8.1.2	Anzeigearten von Messgeräten ..... 170	
8.1.3	Analoge Messgeräte ..... 170	
8.1.3.1	Messfehler von analogen Messgeräten ..... 171	
8.1.3.2	Elektrische Messwerke ..... 172	
8.1.4	Digitale Messgeräte ..... 173	
8.1.5	PC-Messtechnik ..... 175	
8.1.6	Elektrizitätszähler ..... 176	
8.1.6.1	Induktionszähler ..... 176	
8.1.6.2	Elektronische Elektrizitätszähler ..... 177	
8.2	<b>Praktisches Messen</b> ..... 178	
8.2.1	Messen von Leistungen ..... 178	
8.2.2	Messen von Widerständen ..... 178	
8.2.3	Messen mit Strommesszangen ..... 179	
8.2.4	Messkategorien ..... 179	
	Praxistipp: Praktisches Messen mit dem Digitalmultimeter ..... 180	
	Praxistipp: Effektivwertmessung nicht sinusförmiger Größen ..... 181	
8.3	<b>Oszilloskop</b> ..... 182	
8.3.1	Analog-Oszilloskop ..... 182	
8.3.2	Digital-Oszilloskop ..... 183	
	Praxistipp: Messen mit einem Digital-Oszilloskop ..... 184	
	Praxistipp: Messen mit dem Oszilloskop ..... 185	
8.4	<b>Messen nichtelektrischer Größen mit Sensoren</b> ..... 186	
8.4.1	Aktive und passive Sensoren ..... 186	
8.4.2	Anwendungen von Sensoren ..... 187	
8.4.2.1	Sensoren zur Weg- und Winkelmessung ..... 187	
8.4.2.2	Sensoren zur Messung von Dehnung, Kraft, Druck und Drehmoment ..... 189	
8.4.2.3	Sensoren zur Messung von Temperaturen ..... 190	
8.4.3	Näherungsschalter ..... 191	
8.4.3.1	Optische Näherungsschalter ..... 191	
8.4.3.2	Induktive Näherungsschalter ..... 191	
8.4.3.3	Kapazitive Näherungsschalter ..... 192	
8.4.3.4	Ausführung von Näherungsschaltern ..... 192	
8.4.4	RFID-Technologie ..... 193	
	Wiederholen – Anwenden – Vertiefen: Messtechnik ..... 194	
<b>9</b>	<b>Elektronik</b> ..... 195	
9.1	<b>Halbleiterwerkstoffe</b> ..... 195	
9.2	<b>Halbleiterwiderstände</b> ..... 197	
9.2.1	Spannungsabhängige Widerstände (Varistoren) ..... 197	
9.2.2	Heißleiter (NTC-Widerstände) ..... 198	
9.2.3	Kaltleiter (PTC-Widerstände) ..... 199	
9.3	<b>Magnetfeldabhängige Sensorelemente</b> ..... 201	
9.4	<b>Halbleiterdioden</b> ..... 202	
9.4.1	Wirkungsweise ..... 202	
9.4.2	Leistungsdioden ..... 202	
9.4.3	Z-Dioden (Begrenzerdioden) ..... 203	
9.4.4	Halbleiterkennzeichnung ..... 204	
9.4.5	Kühlung von Halbleiterbauelementen ..... 205	
9.5	<b>Transistoren</b> ..... 206	
9.5.1	Bipolare Transistoren ..... 206	
9.5.1.1	Transistoren in der Praxis ..... 208	
9.5.1.2	Einstellung des Arbeitspunktes ..... 209	
9.5.1.3	Stabilisierung des Arbeitspunktes ..... 210	
9.5.1.4	Transistor als Schalter ..... 211	
9.5.1.5	Kipperschaltungen ..... 213	
9.5.1.6	Verstärkerschaltungen ..... 215	
9.5.2	Feldeffekttransistoren (FET) ..... 217	
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 Operationsverstärker** ..... 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 Duales Zahlensystem ..... 231  
 9.8.2 Signalarten der Digitaltechnik ..... 231  
 9.8.3 Grundverknüpfungen ..... 231  
 9.8.3.1 UND-Verknüpfung ..... 232  
 9.8.3.2 ODER-Verknüpfung ..... 232  
 9.8.3.3 NICHT-Verknüpfung ..... 232  
 9.8.4 Grundverknüpfungen mit Ausgangs- oder Eingangsnegation ..... 233  
 9.8.4.1 Verknüpfungen mit Ausgangsnegation ..... 233  
 9.8.4.2 Verknüpfungen mit Eingangsnegation ..... 233  
 9.8.4.3 Eingangsbeschaltung logischer Verknüpfungen ..... 234  
 9.8.4.4 Anwendung der Grundverknüpfungen ..... 234  
 9.8.5 Schaltkreisfamilien ..... 235  
 9.8.5.1 TTL-Schaltkreisfamilie ..... 235  
 9.8.5.2 CMOS-Schaltkreisfamilie ..... 235  
 9.8.6 Schaltalgebra ..... 236  
 9.8.7 Antivalenz-Verknüpfung und Äquivalenz-Verknüpfung ..... 237  
 9.8.8 Kippglieder ..... 238  
 9.8.8.1 Zustandsgesteuerte und taktgesteuerte Kippglieder ..... 238  
 9.8.8.2 Zweiflankengesteuertes JK-Kippglied ..... 239  
 9.8.8.3 Schaltungen mit Kippgliedern ..... 240  
 9.8.9 Analog-Digital-Umsetzer (AD-Umsetzer) ..... 241  
 9.8.10 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: Analyse einer Fotovoltaikanlage** ... 287  
 10.1.2 Energiemanagement in intelligenten Netzen (Smart Grid) ..... 290  
 10.1.2.1 Smart Grid in Gebäuden ..... 291  
 10.1.2.2 Smart Home ..... 291  
**Praxistipp: Aufbau eines Energiemanagement-Systems im Wohnhaus** ..... 292  
 10.1.3 Übertragungs- und Verteilnetze ..... 293  
 10.1.3.1 Höchstspannungsnetze ..... 293  
 10.1.3.2 Spannungsebenen ..... 294  
 10.1.3.3 Umspannanlagen ..... 294  
 10.1.3.4 Hochspannungsschalter ..... 295  
 10.1.4 Netzformen ..... 297  
 10.1.5 Niederspannungsanlagen ..... 298  
 10.1.5.1 Netzaufbau ..... 298  
 10.1.5.2 Hausanschluss ..... 299  
 10.1.5.3 Erdungsanlagen ..... 301  
 10.1.5.4 Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene ..... 302  
 10.1.5.5 Hauptstromversorgungssysteme ..... 303  
**Praxistipp: Zählerschrank mit Stromkreis- und Multimediaverteiler** ..... 306  
**Praxistipp: Ausstattung elektr. Anlagen in Wohngebäuden** ..... 309  
 10.1.6 Elektromagnetische Verträglichkeit und TN-System ..... 310  
**10.2 Isolierte Leitungen, Kabel und Freileitungen** .. 313  
 10.2.1 Isolierte Leitungen ..... 313  
**Praxistipp: Farbkennzeichnung von Leitern** .... 316  
 10.2.2 Kabel für Mittelspannungs- und Niederspannungsanlagen ..... 317  
 10.2.3 Freileitungen für Hoch- und Mittelspannungsanlagen ..... 317  
 10.2.4 Datenleitungen ..... 318  
**Praxistipp: Verlegen von Leitungen (2)** ..... 320  
**10.3 Schutz elektrischer Leitungen und Verbraucher** ..... 321  
**10.4 Schutzschalter** ..... 324  
 10.4.1 Thermischer Auslöser ..... 324  
 10.4.2 Elektromagnetischer Auslöser ..... 324  
 10.4.3 Leitungsschutzschalter ..... 325  
 10.4.4 Selektiver Hauptleitungsschutzschalter ..... 326  
 10.4.5 Brandschutzschalter (AFDD) ..... 327  
 10.4.6 Leistungsschalter ..... 328  
 10.4.7 Motorschutzeinrichtungen ..... 328  
**10.5 Bemessung von fest verlegten Kabeln und Leitungen** ..... 331  
 10.5.1 Spannungsfall an Leitungen ..... 332  
 10.5.2 Anordnung von Überstrom-Schutzrichtungen ..... 333  
**Praxistipp: Beispiel einer Leitungsberechnung** 334  
**Praxistipp: Leiterquerschnittsermittlung bei Oberschwingungsströmen** ..... 335  
**10.6 Räume und Anlagen besonderer Art** ..... 337  
 10.6.1 Elektroinstallation in Räumen mit Badewanne oder Dusche ..... 337  
 10.6.2 Sauna-Anlagen ..... 339  
 10.6.3 Baustellen ..... 339  
 10.6.4 Landwirtschaftliche und gartenbauliche Betriebsstätten ..... 340  
 10.6.5 Feuergefährdete Betriebsstätten ..... 341  
 10.6.6 Explosionsgefährdete Bereiche ..... 343  
 10.6.7 Medizinisch genutzte Bereiche ..... 344  
 10.6.8 Stromversorgungen für Elektro-Fahrzeuge ..... 345  
 10.6.8.1 Ladestationen ..... 345  
 10.6.8.2 Ladebetriebsarten und Ladesteckeinrichtungen ..... 346

1. a) Auf welche Mängel bzw. Fehler lassen sich Elektrounfälle meist zurückführen? Nennen Sie Beispiele. b) Welche Forderungen lassen sich daraus für technische Anlagen ableiten?
2. a) Was versteht man unter persönlicher Schutzausrüstung? b) Welche Aufgabe erfüllt die persönliche Schutzausrüstung? c) Geben Sie Beispiele für die persönliche Schutzausrüstung an.
3. a) Zu welchem Zweck wird eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt? b) Nennen Sie die Schritte zur praktischen Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung.
4. Welche Pflichten ergeben sich aus den Unfallverhütungsvorschriften für die Arbeitgeber?
5. Welche Gesetze bzw. Verordnungen werden durch die folgenden Abkürzungen beschrieben: a) DGUV, b) GefStoffV, c) ProdSG und d) UVV?
6. Welche Bedeutung hat auf Produkten das a) CE-Zeichen und b) GS-Zeichen?
7. Welche Verordnung dient dem Schutz von Beschäftigten vor einer Gefährdung ihrer Gesundheit durch Gefahrstoffe?
8. Geben Sie die Bezeichnungen für die in **Bild 1** dargestellten Gefahrenpiktogramme von a) bis g) an.

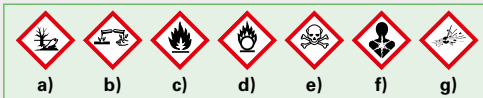


Bild 1: Gefahrenpiktogramme

9. Welche Angaben müssen auf der Verpackung von gefährlichen Stoffen vorhanden sein?
10. a) Durch welche Beurteilung werden die Unfall- und Gesundheitsrisiken in Betrieben möglichst gering gehalten? b) Nach welchen Gesetzen bzw. Vorschriften wird eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt?
11. Welche Pflichten ergeben sich u. a. für die Unternehmen aus der Unfallverhütungsvorschrift „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz“?
12. a) Was versteht man nach dem ProdSG unter Produkten? b) Unter welchen Voraussetzungen dürfen Produkte auf den Markt gebracht werden, und durch welches Zeichen wird dies angegeben?

13. Durch welche zwei Merkmale lassen sich Sicherheitszeichen unterscheiden?
14. Nennen Sie die Sicherheitsfarben a) bis d) für die in der **Tabelle** angegebenen Sicherheitszeichen.

Tabelle: Form und Sicherheitsfarben von Sicherheitszeichen

Sicherheitsfarbe \ Form	a)	b)	c)	d)
○	Verbot	—	Gebot	—
△	—	—	—	Warnung
□	Brand-schutz	Gefahrlosigkeit	—	—

15. a) Welche Sicherheitszeichen können unterschieden und b) welche Aussagen können durch die jeweiligen Zeichen gemacht werden?
16. Benennen Sie die im **Bild 2** dargestellten Sicherheitszeichen und geben Sie ihre Bedeutung an.

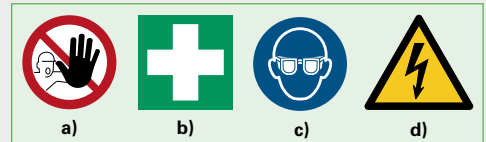


Bild 2: Sicherheitszeichen

17. Warum werden häufig bei Sicherheitszeichen Zusatzzeichen verwendet?
18. Welche Angaben müssen bei einem Notruf unbedingt gemacht werden?
19. Was versteht man unter Erster Hilfe?
20. Welche Sofortmaßnahmen sind bei Unfällen durch den elektrischen Strom zu treffen?
21. Wie kann man einem durch elektrischen Strom Verunglückten helfen, wenn der Stromkreis nicht unterbrochen werden kann?
22. Beschreiben Sie die Maßnahmen der Ersten Hilfe, wenn Sie einen Verletzten auffinden, der a) ansprechbar ist oder b) nicht ansprechbar ist.



### 7.3.4 Widerstands-dreieck

In der Reihenschaltung **Bild 1a** kann man die Widerstände berechnen, wenn die Teilspannungen und der Strom bekannt sind. Der Scheinwiderstand  $Z$  von Reihenschaltungen kann zeichnerisch durch das Widerstands-dreieck (**Bild 1b**) ermittelt werden. Bei der Berechnung von  $R$ ,  $X_L$  und  $Z$  werden die jeweiligen Spannungen durch dieselbe Stromstärke dividiert. Deshalb sind die Widerstände den zugehörigen Spannungen verhältnismäßig und das Widerstands-dreieck ist dem Spannungsdreieck ähnlich.

#### Beispiel:

In einer Reihenschaltung aus Wirkwiderstand  $R = 1 \text{ k}\Omega$  und induktivem Blindwiderstand  $X_L$  fließt bei  $U = 24 \text{ V}$  ein Strom  $I = 4,8 \text{ mA}$ . Berechnen Sie **a)** den Scheinwiderstand  $Z$ , **b)** den induktiven Blindwiderstand  $X_L$  und **c)** die Teilspannungen  $U_w$  und  $U_{bl}$ .

#### Lösung:

$$\text{a) } Z = \frac{U}{I} = \frac{24 \text{ V}}{4,8 \text{ mA}} = 5000 \Omega = 5 \text{ k}\Omega$$

$$\text{b) } Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \Rightarrow X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{(5000 \Omega)^2 - (1000 \Omega)^2} = 4900 \Omega$$

$$\text{c) } U_w = I \cdot R = 4,8 \text{ mA} \cdot 1000 \Omega = 4,8 \text{ V} \\ U_{bl} = I \cdot X_L = 4,8 \text{ mA} \cdot 4900 \Omega = 23,5 \text{ V}$$

### 7.3.5 Verlustwinkel, Verlustfaktor und Gütefaktor einer Spule

Bei einer idealen Spule (**Seite 135, Bild 3**) beträgt der Phasenverschiebungswinkel  $\varphi$  zwischen dem Strom und der Spannung  $90^\circ$ . Da eine reale Spule (**Bild 1a**) immer einen Wirkwiderstand (ohmschen Spulenwiderstand) hat, ist der Phasenverschiebungswinkel  $\varphi$  immer kleiner als  $90^\circ$  (**Bild 1b und Bild 2**).

Gegenüber dem Winkel  $\varphi$  liegt der **Verlustwinkel**  $\delta^1$ . Er beträgt  $\delta = 90^\circ - \varphi$  (**Bild 2**). Der ohmsche Widerstand  $R$  ist auch ein Maß für die Verluste der Spule. Je größer der Wirkwiderstand (Verlustwiderstand)  $R$  ist, desto größer ist der Verlustwinkel  $\delta$  und somit auch die Spulenverluste (**siehe auch Seite 143**).

Der Tangens des Verlustwinkels  $\delta$  ist das Verhältnis von Wirkwiderstand (Verlustwiderstand)  $R$  zum induktiven Blindwiderstand  $X_L$  (**Bild 2**) und wird auch **Verlustfaktor**  $d$  genannt. Der Kehrwert des Verlustfaktors  $d$  ist der **Gütefaktor**  $Q$ .

Je höher der Gütefaktor  $Q$ , desto geringer die Spulenverluste.

Der Gütefaktor  $Q$  wird z. B. bei einer Entstördrossel bei 50 MHz in der Praxis mit 40 bis 80 angegeben.

#### Beispiel:

Eine Entstördrossel zur Filterung von Störimpulsen hat die Angaben:  $L = 100 \mu\text{H}$  bei  $f = 1 \text{ kHz}$ , Verlustwiderstand  $R = 40 \text{ m}\Omega$ .

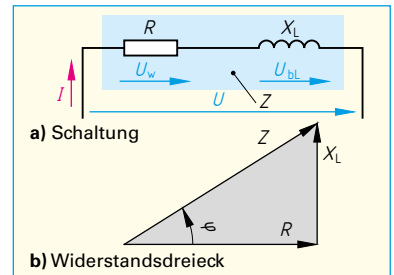
Berechnen Sie **a)** den Verlustfaktor  $d$ , **b)** den Verlustwinkel  $\delta$  und **c)** die Güte  $Q$ .

#### Lösung:

$$\text{a) } d = \frac{R}{X_L} = \frac{R}{2\pi \cdot f \cdot L} = \frac{40 \text{ m}\Omega}{2\pi \cdot 1 \text{ kHz} \cdot 100 \mu\text{H}} = \frac{0,04 \Omega}{2\pi \cdot 100 \frac{1}{\text{s}} \cdot 0,1 \text{ mH}} = 0,0637$$

$$\text{b) } \tan \delta = d = 0,0637 \Rightarrow \delta = 3,6^\circ \quad \text{c) } Q = \frac{1}{d} = \frac{1}{0,0637} = 15,7$$

<sup>1</sup>  $\delta$  griech. Kleinbuchstabe delta



**Bild 1: Widerstände einer realen Spule**

#### Widerstände in Reihenschaltung

$$R = \frac{U_w}{I}$$

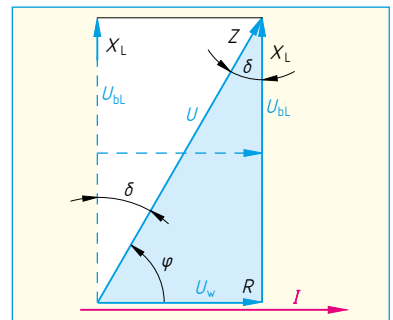
$$X_L = \frac{U_{bl}}{I}$$

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$R = Z \cdot \cos \varphi$$

$$X_L = Z \cdot \sin \varphi$$

$X_L$  induktiver Blindwiderstand  
 $Z$  Scheinwiderstand  
 $U_{bl}$  induktive Blindspannung  
 $U_w$  Wirkspannung  
 $I$  Strom  
 $U$  Gesamtspannung  
 $\varphi$  Phasenverschiebungswinkel



**Bild 2: Spannungsdreieck mit Verlustwinkel  $\delta$**

#### Verlustwinkel und Gütefaktor

$$\tan \delta = \frac{R}{X_L} = \frac{U_w}{U_{bl}} = d$$

$$Q = \frac{1}{d} \Rightarrow Q = \frac{X_L}{R}$$

$\varphi$  Phasenverschiebungswinkel  
 $U$  Gesamtspannung  
 $U_w$  Wirkspannung  
 $U_{bl}$  induktive Blindspannung  
 $I$  Strom  
 $R$  Verlustwiderstand (Wirkwiderstand)  
 $X_L$  induktiver Blindwiderstand  
 $d$  Verlustfaktor  
 $Q$  Gütefaktor  
 $\delta$  Verlustwinkel



### 7.10 Kompensation

**Versuch:** Schließen Sie eine Leuchtstofflampe 58 W über das Vorschaltgerät ohne Kompensationskondensator an die Netzspannung 230 V, 50 Hz. Messen Sie die Stromstärke und die Leistung. Schalten Sie dann einen Kompensationskondensator  $C_k$  von etwa  $7 \mu\text{F}$  parallel zur Reihenschaltung von Drossel und Lampe (**Bild 1**).

Mit dem Zuschalten des Kondensators nimmt die Stromaufnahme ab, der Leistungsmesser zeigt dagegen dieselbe Wirkleistung an.

Die Reihenschaltung von Lampe und Vorschaltgerät nimmt sowohl Wirkleistung  $P$  als auch induktive Blindleistung  $Q_L$  auf, der zugeschaltete Kondensator dagegen kapazitive Blindleistung  $Q_C$  (**Bild 2**). Induktive Blindleistung und kapazitive Blindleistung sind gegeneinander um  $180^\circ$  phasenverschoben. Der Kondensator liefert immer dann Blindenergie in das Netz, wenn die Induktivität der Drossel Blindenergie aufnimmt. Die gesamte Blindleistungsaufnahme  $Q$  aus dem Netz verringert sich. Bei gleicher Wirkleistung  $P$  werden die aus dem Netz aufgenommene Scheinleistung  $S$  und die Stromstärke  $I$  kleiner.

Das Ausgleichen der induktiven Blindleistung durch kapazitive Blindleistung nennt man kompensieren<sup>1</sup>.

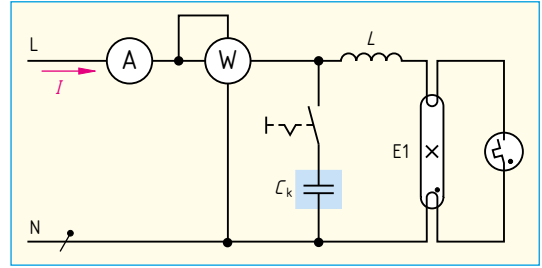
Die induktive Blindleistung  $Q_L$ , z.B. für das Vorschaltgerät, wird vom Netz geliefert. Erzeugeranlagen, Leitungen und Übertragungseinrichtungen werden dadurch zusätzlich belastet (**Bild 3a**). Bei Kompensation verringert sich der Anteil der Blindleistung  $Q_L$  im Netz um die Blindleistung  $Q_C$  des Kompensationskondensators oder der Kompensationsanlage (**Bild 3b**).

Durch Kompensation werden Leitungen und Transformatoren entlastet, da die Scheinleistung sinkt. Die Blindstromkosten, die der Netzbetreiber verrechnet, werden dadurch reduziert.

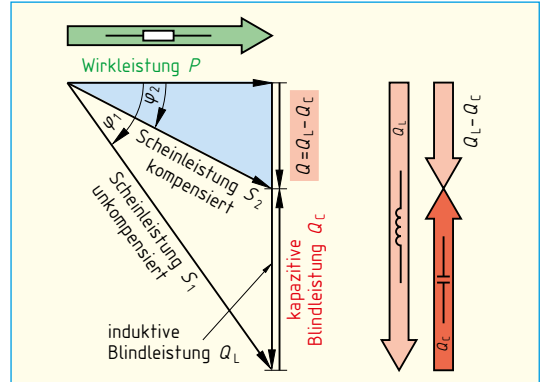
Die Kompensation der induktiven Blindleistung  $Q_L$  bewirkt eine Verkleinerung des Phasenverschiebungswinkels  $\varphi$  zwischen Wirkleistung  $P$  und der Scheinleistung  $S$  (**Bild 2**) und damit eine Vergrößerung des Wirkfaktors  $\cos \varphi$ .

Auf nahezu  $\cos \varphi = 1$  kompensiert, pendelt der größte Teil der Blindleistung nur noch zwischen Verbraucher und der Kompensationsanlage hin und her (**Bild 3b**). Die für die Kompensation benötigte kapazitive Blindleistung  $Q_C$  ermittelt man rechnerisch (**Seite 166**) oder grafisch mithilfe des Zeigerbildes (**Bild 2**).

<sup>1</sup> von compensare (lat.) = ausgleichen



**Bild 1: Versuchsschaltung: Kompensation bei einer Leuchtstofflampe**



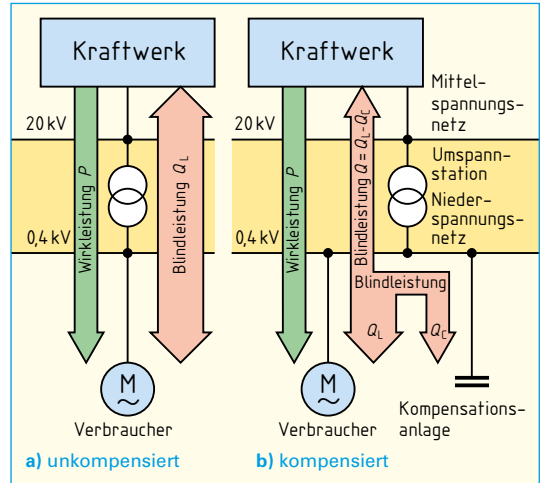
**Bild 2: Zeigerbild der Leistungen bei Parallelkompensation**

**Kapazitive Blindleistung**

$$Q_C = Q_L - Q = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

$$\tan \varphi_1 = \frac{Q_L}{P} \quad \tan \varphi_2 = \frac{Q_L - Q_C}{P}$$

$P$	Wirkleistung
$Q_L$	induktive Blindleistung
$Q_C$	kapazitive Blindleistung
$\varphi_1$	Phasenverschiebungswinkel, unkompensiert
$\varphi_2$	Phasenverschiebungswinkel, kompensiert



**Bild 3: Kompensation der Blindleistung**





### Situationsbeschreibung:

Zur Fehlersuche in Anlagen, z.B. einer Niedervolt-Halogen-Beleuchtungsanlage (**Bild 1**), und Geräten werden Spannungen und Ströme meist als Effektivwert gemessen.

Um Fehlmessungen zu vermeiden, muss der Prüfer wissen, ob die zu messenden Wechselströme und -spannungen reine 50-Hz-Sinusgrößen sind oder ob die Messgrößen nicht sinusförmig sind (**Bild 2**).

Nicht sinusförmige Spannungen und Ströme entstehen z.B. in Anlagen und Geräten mit Dimmsteuerung, in Niedervolt-Halogen-Beleuchtungsanlagen (**Bild 1**), in Anlagen mit Frequenzumrichtern, mit Gleichrichtern oder in Geräten, die mit Schaltnetzteilen versorgt werden.

### Messgerätewahl:

Um Fehlmessungen (**Bild 3a** und **3b**) zu vermeiden, müssen Effektivwerte nicht sinusförmiger Spannungen oder Ströme mit Messgeräten gemessen werden, die für eine **Echt-Effektivwertmessung (TRMS)**<sup>1</sup> geeignet sind.

Die **Bandbreite** (Frequenzbereich) des Messgerätes bzw. die höchstmögliche Frequenz, die das Messgerät noch richtig auswerten kann, muss mindestens der Frequenz (38 kHz) der zu messenden Größe (**Bild 2**) entsprechen. Ist die Bandbreite kleiner als die Frequenz der zu messenden Wechselspannung (**Bild 3b**), dann wird die Messgröße falsch angezeigt.

Der **Crestfaktor**  $F_C$  (**Seite 174**) des Messgerätes sollte 3 bis 5 betragen. In den meisten Fällen wird der Effektivwert dann richtig angezeigt (**Bild 3c**).

### Beispiel zum Crestfaktor:

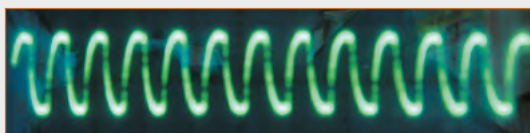
Eine Strommesszange mit Crestfaktor  $F_C = 4$  kann im Messbereich 10 A (Effektivwert) ein Signal mit  $\hat{I} = 40$  A Scheitelwert noch richtig messen. Je nach Ausführung des Messgerätes kann dies auch bedeuten, dass die Stromzange ein Signal von  $I = 5$  A mit Crestfaktor  $F_C = 8$  messen kann, also mit einem Scheitelwert  $\hat{I} = 5 \text{ A} \cdot 8 = 40$  A.

### Kurzbezeichnungen für Effektivwertanzeigen von Messgeräten (nicht genormt)

Bezeichnung	Erklärung
<b>TRMS AC+DC</b>	Es wird der Echt-Effektivwert (quadratische Mittelwert) angezeigt. Neben der 50-Hz-Grundschwingung werden auch Oberschwingungen ( <b>Seite 310</b> ) und Gleichanteile berücksichtigt.
<b>TRMS oder TRMS AC</b>	Anzeige wie bei TRMS AC+DC, aber eventuelle Gleichanteile werden nicht berücksichtigt.



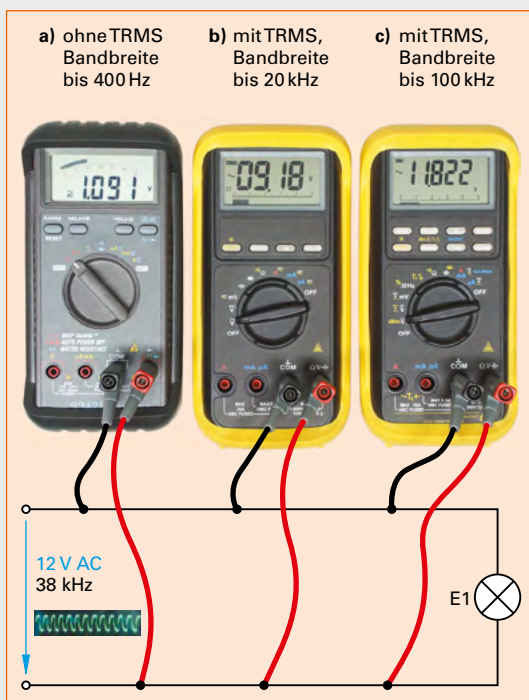
**Bild 1:** Spannungsmessung an einer Niedervolt-Halogen-Beleuchtungsanlage



**Bild 2:** Ausgangsspannung eines elektronischen Transformators (Frequenz  $f = 38$  kHz)



Oberschwingungen: **Seite 310**



**Bild 3:** Unterschiedliche Messergebnisse bei gleicher Ausgangsspannung an einem elektronischen Transformator

<sup>1</sup> TRMS, Abk. für: True Root Mean Square (engl.) = wahrer quadratischer Mittelwert (Echt-Effektivwert)



Thyristoren kann man als Gleichrichter oder als kontaktlose Schalter verwenden. Ist durch den Steuerstrom die mittlere Sperrschicht abgebaut, so verhindern die Ladungsträger des Laststromes eine erneute Sperrung, auch wenn Gatestrom und Laststrom zurückgehen. Die Sperrschicht bildet sich erst wieder, wenn der Gatestrom ganz ausbleibt und der Laststrom kleiner wird als der **Haltestrom  $I_H$**  (**Bild 1 und Tabelle**). Haltestrom nennt man den kleinsten Vorwärtsstrom, bei dem der Thyristor bei  $I_G = 0$  A noch im leitenden Zustand bleibt.

Bei Betrieb mit Wechselstrom wird bei ohmschen Verbrauchern am Ende jeder Halbperiode der Haltestrom  $I_H$  unterschritten. Dadurch sperrt der Thyristor.

### Zünden von Thyristoren

Die übliche Zündart bei Thyristoren ist das Zünden durch einen Stromimpuls am Gate. Bei Richtungs- umkehr des Laststromes, z. B. bei Wechselstrom, sperrt der Thyristor. Danach ist eine erneute Zündung innerhalb der positiven Halbwelle erforderlich.

Durch diesen erneuten Zündimpuls am Gate wird der Thyristor wieder leitend. Dabei kann der Zündstrom mit steigender Anodenspannung geringer werden.

Wird ein Thyristor mit einem Gatestrom angesteuert, der gerade dem Mindestwert entspricht, so wird zunächst nur die unmittelbare Umgebung des Gate-Kontaktes leitend. Der übrige Teil des Thyristors wird erst mit zunehmender Stromstärke in der Anoden-Katoden-Strecke leitend. Dieses allmähliche Zünden eines Thyristors ist schädlich, weil es den PN-Übergang zu stark erwärmt. Deshalb verwendet man zum Zünden Stromimpulse, deren Höchstwerte weit über dem zulässigen Wert eines Gate-Gleichstromes liegen.

Zum schnellen Zünden eines Thyristors wird das Gate mit hohen Stromimpulsen angesteuert.

Wegen Exemplarsteuerungen kann man die erforderliche Stromstärke für den Steuerstrom nicht exakt angeben. Man unterscheidet jedoch die Bereiche des sicheren Zündens, des nicht sicheren Zündens und des sicheren Nichtzündens (**Bild 2**). Um ein unerwünschtes, fehlerhaftes Zünden des Thyristors zu vermeiden, ist die **Freiwerdezeit** zu beachten. Die Freiwerdezeit (10  $\mu$ s bis 100  $\mu$ s) ist die Mindestzeit, die zwischen dem Nulldurchgang des Durchlassstromes bis zur Wiederkehr der positiven Spannung vergehen muss, damit der Thyristor mit Sicherheit nicht wieder in den Durchlasszustand kippt. Die Spannung  $U_{GK}$  und der Strom  $I_G$ , die zum Zünden eines Thyristors an Gleichspannung nötig sind, können mit einer Messschaltung ermittelt werden (**Bild 3**).

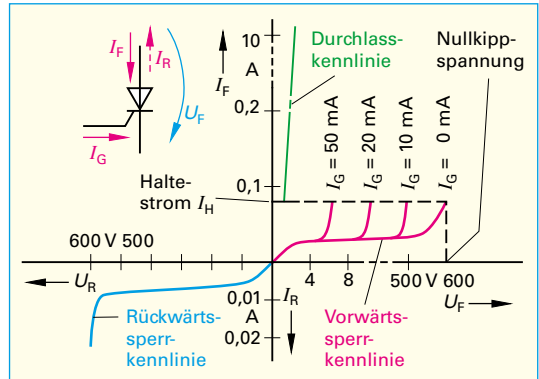


Bild 1: Kennlinie eines Thyristors

Tabelle: Kenn- und Grenzwerte des Thyristors TIC 106 D

	<b>Kennwerte:</b>	
	Zündspannung $U_{GK}$	0,8 V
	Zündstrom $I_G$	0,2 mA
	Haltestrom $I_H$	5 mA
	<b>Grenzwerte:</b>	
	Sperrspannung $U_R$	400 V
	Durchlassstrom $I_F$	5 A

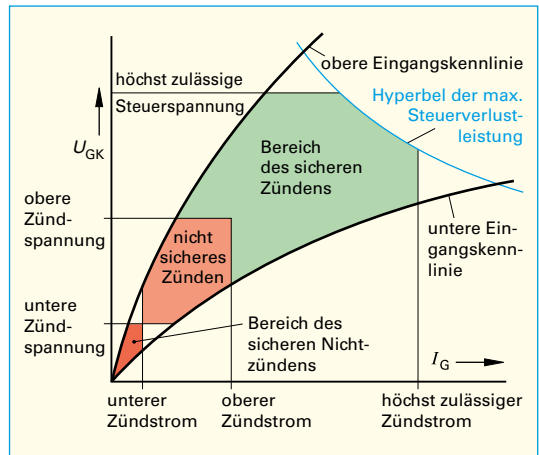


Bild 2: Zünddiagramme eines Thyristors

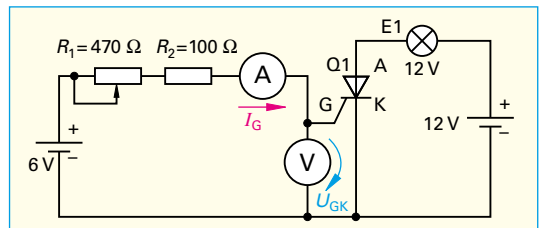
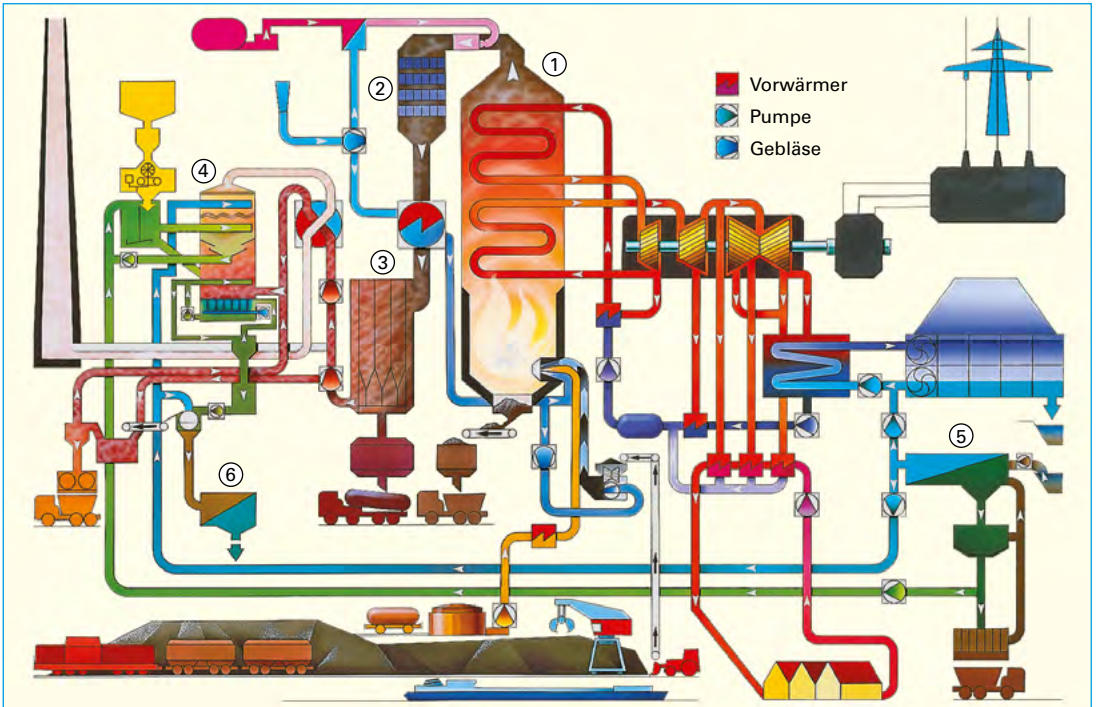


Bild 3: Thyristor-Messschaltung zur Ermittlung von Zündspannung und Zündstrom



### 10.1.1.1 Wärmekraftwerke



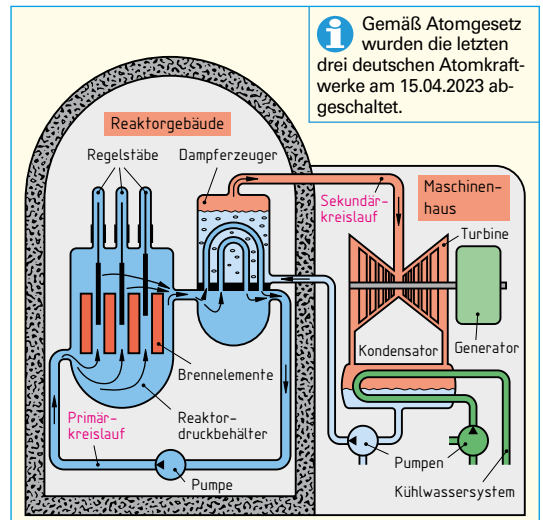
**Bild 1:** Prinzip eines modernen Heizkraftwerkes (Steinkohlekraftwerk); ① Kessel, ② Entstickung, ③ Entstaubung, ④ Rauchgasentschwefelung, ⑤ Wasseraufbereitung, ⑥ Abwasseraufbereitung

**Dampfkraftwerke** erzeugen in der Kesselanlage überhitzten, hochgespannten Dampf, der mit einem Druck von etwa 20 MPa ( $\approx 200$  bar) und einer Temperatur von 530 °C der Turbine zugeführt wird. Ein Generator wandelt die in der Dampfturbine erzeugte Bewegungsenergie in elektrische Energie um. Der Energieumwandlung sind Grenzen gesetzt, da sich nur ein Teil der Wärme in Bewegungsenergie umformen lässt. Dampfkraftwerke, deren Abwärme nicht in Heizungsanlagen genutzt wird, haben Wirkungsgrade bis zu 45%.

**Heizkraftwerke (Bild 1)** sind wirtschaftlicher. Sie arbeiten nach dem Prinzip der sogenannten **Kraft-Wärme-Kopplung**. Dabei entzieht man dem Dampfkreislauf nach den Turbinen Wärmeenergie, die über ein Fernwärmesystem Heizungsanlagen zugeführt wird.

In **Kernkraftwerken** liefert spaltbares Uran die Wärmeenergie. Im Inneren des Reaktorbehälters befinden sich Brennelemente, die mit den Regelstäben den Reaktorkern (**Bild 2**) bilden. **Siedewasserreaktoren** verdampfen das Wasser im Reaktorkern und führen den Dampf der Turbine direkt zu. **Druckwasserreaktoren (Bild 2)** nehmen durch das Kühlmittel des **Primärkreislaufes** die erzeugte Wärme auf und geben sie dann an den Dampferzeuger ab, der mit der Turbine den **Sekundärkreislauf** bildet.

**Gasturbinenkraftwerke** betreibt man mit Heizöl oder Erdgas. Sie können innerhalb von zwei bis drei Minuten ihre volle Leistung abgeben und decken damit nur den Spitzenlastbereich ab.



**Bild 2:** Prinzip des Druckwasserreaktors

### 10.6.8.2 Ladebetriebsarten und Ladesteckeinrichtungen

Für das Laden der Akkumulatoren von Elektro-Fahrzeugen unterscheidet man vier **Ladebetriebsarten** (DIN EN 61851-1). Diese unterscheiden sich durch die verwendete Ladestromquelle (AC oder DC) und die energieseitigen Anschlüsse z. B. Schutzkontakt-Steckdose, CEE-Steckdose, Typ 2-Ladesteckeinrichtung oder DC-Ladesteckeinrichtung) sowie die maximale Ladeleistung und die Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Elektro-Fahrzeug und Anschlusspunkt. Man unterscheidet die Ladebetriebsarten 1 bis 4. Zurzeit werden die Ladebetriebsarten 2 und 3 angewendet. In Zukunft sollen auch mehr DC-Ladestationen für kürzere Ladezeiten nach Ladebetriebsart 4 installiert werden. Die Akkumulatoren der Elektro-Fahrzeuge werden meist über eine Ladeleitung mit genormtem **Typ 2-Ladestecker (Bild 1)** nach DIN EN 62196 aufgeladen. Die Typ 2-Ladesteckeinrichtung (**Bild 2, Seite 345**) wird für das Laden an allen üblichen Ladestationen benötigt. Zum Schnellladen wird das CCS<sup>1</sup>-Stecker-System genutzt, welches zusätzlich zu den Typ 2-Kontakten noch zwei Gleichstromkontakte besitzt.

### 10.6.8.3 Installationsvorschriften

Zur Installation von Stromversorgungen (**Bild 2**) für Elektro-Fahrzeuge schreiben die DIN VDE 0100-722, die VDE-AR-N 4100 und die DIN 18015-1 vor:

- Bei einer Bemessungsleistung > 4,6 kVA ist ein Drehstromanschluss notwendig.
- Die Drehstromversorgung für die Ladestation muss eine Strombelastbarkeit von mindestens 32 A haben.
- Ein Elektroinstallationsrohr für eine Kommunikationsleitung, z. B. Netzkabel, ist von der Verteilung bis zur Ladestation zu legen.
- Jeder Anschlusspunkt ist durch einen eigenen Stromkreis mit nur einer Steckdose oder einer Ladeleitung mit Typ 2-Stecker zu versorgen.
- Jeder Anschlusspunkt ist durch einen eigenen 30 mA-RCD Typ A oder F zu schützen. Ist in der Wallbox keine integrierte Fehlergleichstromabschaltung (DC ≥ 6 mA) installiert, so wird ein RCD Typ A-EV<sup>2</sup>, F-EV oder B benötigt.
- Der Anschlusspunkt soll möglichst mit einem Überspannungsableiter Typ 2 geschützt werden.
- Die Auswahl von Zuleitungsquerschnitt und Leitungsschutzelementen erfolgt bei maximalem Ladestrom und dem Gleichzeitigkeitsfaktor 1.
- Verlängerungen der Ladeleitungen sind verboten.

<sup>1</sup> CCS von Combined Charging System (engl.) = kombiniertes Ladesystem  
<sup>2</sup> EV, Abk. für: Electric Vehicle (engl.) = Elektrofahrzeug

Spannung wird erst zugeschaltet, wenn der Stecker gesteckt ist und der PP<sup>1</sup>-Kontakt erkannt wird.



Über den CP<sup>2</sup>-Kontakt wird der Aufladevorgang kontrolliert und gesteuert.

<sup>1</sup> PP, Abk. für: Proximity Pilot (engl.) = Näherungskontakt  
<sup>2</sup> CP, Abk. für: Control Pilot (engl.) = Überprüfungskontakt

**Bild 1: Kontaktbelegung des Typ 2-Ladesteckers**

### **i** Ladebetriebsarten (Auswahl)

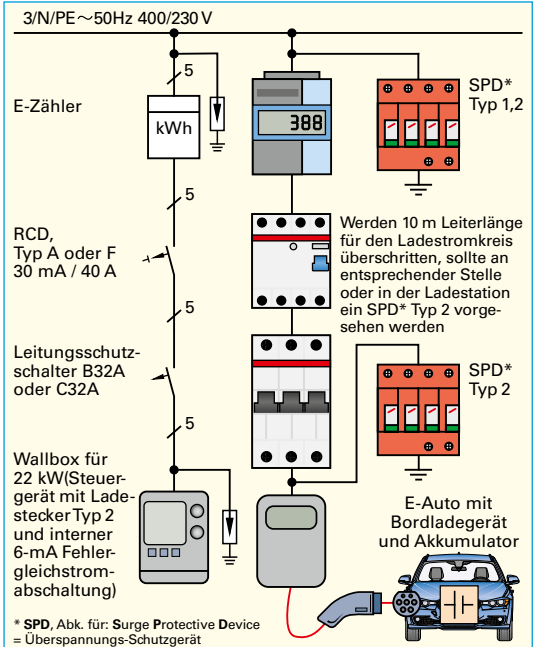
#### Ladebetriebsart 2

- AC-Ladung an einer Schutzkontakt- oder CEE-Steckdose mit max. 16 A am 1 ~ AC-Netz oder max. 32 A am 3 ~ AC-Netz (Ladeleistung ≤ 22 kW)
- mit Kontroll-, Steuer- und Schutzfunktion in der Ladeleitung (ICCB)<sup>3</sup>,
- Ladegerät ist im Fahrzeug eingebaut.

#### Ladebetriebsart 3

- AC-Ladung an einer typgeprüften Ladestation mit max. 20 A am 1 ~ AC- oder 63 A am 3 ~ AC-Netz (Ladeleistung ≤ 44 kW)
- Kontroll-, Steuer- und Schutzgerät in der Ladestation
- Ladegerät mit Ladeführungsfunktion im Fahrzeug.

<sup>3</sup> ICCB, Abk. für: In-Cable Control Box. (engl.) Steuerkasten in der Leitung



**Bild 2: Prinzip Netzanschluss für Ladebetriebsart 3 am Dreiphasen-Wechselstromnetz**

Fahrzeug-Akkumulatoren sollen nicht an bereits vorhandenen haushaltsüblichen Steckdosen-Stromkreisen geladen werden. Infolge der langen Ladezeit, mit z. B. 16 A, können hohe Temperaturen an den Klemmstellen und somit eine Brandgefahr entstehen.

**Situationsbeschreibung:**

Elektrische Betriebsmittel oder Geräte, z. B. Verlängerungsleitungen oder Haushaltsgeräte, müssen im Anschluss an eine Reparatur nach DIN EN 50678 (VDE 0701) geprüft werden (**Seite 425**). Die Prüfung besteht aus mehreren Schritten, die in einer genau festgelegten Reihenfolge durchgeführt wird.

Der Ablauf der Prüfung wird auch von der Schutzklasse des zu prüfenden Gerätes bestimmt.

**Forderungen nach DGUV Vorschrift 3**

- Prüfung durch befähigte Personen (**Seite 354**) nach TRBS 1203 (Technische Regeln für Betriebssicherheit).
- Verwendung eines geeigneten Mess- und Prüfgerätes.



Messgerät zur Prüfung nach VDE 0701 und VDE 0702

**1. Sichtprüfung (Seite 425).** Nur bei bestandener Sichtprüfung erfolgt der nächste Schritt mit der Messung.

**2. Messungen (Schutzklasse des Prüflings beachten)****Schutzklasse I**

Betriebsmittel mit abgeschlossenem Schutzleiter.

**Schutzklasse II**

Betriebsmittel ohne Schutzleiter.

**Schutzklasse III**

Betriebsmittel mit Schutzkleinspannung.

**2.1 Messung des Schutzleiterwiderstandes  $R_{PE}$  der Anschlussleitung**

- Grenzwerte abhängig vom Leiterquerschnitt (**Seite 425**).
- Bewegung der Leitung während der Messung erforderlich.

**Schutzleiterwiderstand bei Leiterquerschnitt  $\leq 1,5 \text{ mm}^2$** 

- Kleiner 5 m:  $\leq 0,3 \Omega$
- Größer 5 m: pro weitere 7,5 m zusätzlich  $0,1 \Omega$
- Maximalwert:  $1 \Omega$

**2.2 Messung des Isolationswiderstandes  $R_{iso}$  (Seite 425)** ohne Netzspannung im eingeschalteten Zustand.

Zwei Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Die Prüfung gefährdet nicht das zu prüfende Gerät und/oder
- das Gerät enthält eine netzspannungsunabhängige Einschaltvorrichtung.

Messung  $R_{iso}$  möglich?

Messung  $R_{iso}$  möglich?

Messung  $R_{iso}$  möglich?

**Isolationswiderstand**

- Ohne Heizelemente:  $\geq 1 \text{ M}\Omega$
- Mit Heizelementen:  $\geq 0,3 \text{ M}\Omega$   
Ausnahme für Geräte  $> 3,5 \text{ kW}$  (**Tabelle 2, Seite 425**)
- Berührbare leitfähige Teile, die nicht mit PE verbunden sind:  $\geq 2 \text{ M}\Omega$

**Isolationswiderstand**

$R_{iso} \geq 2 \text{ M}\Omega$   
Messung gefährlicher aktiver Teile der Netzversorgung gegen berührbare und leitfähige Teile.

**Isolationswiderstand**

$R_{iso} \geq 0,25 \text{ M}\Omega$   
Messung gefährlicher aktiver Teile mit Schutzmaßnahme SELV/PELV (**Seite 368**) gegen berührbare und leitfähige Teile.

**2.3 Messung des Schutzleiterstromes  $I_{PE}$  und Berührungsstroms  $I_B$  (Seiten 426, 427)**

Messung mit Netzspannung, ausgenommen alternative Methode, durch eine der folgenden Möglichkeiten:

- Direkte Methode, Prüfling isoliert zur Erde aufstellen,
- Differenzstrommethode,
- Alternative Methode (wenn vorher  $R_{iso}$  gemessen).

**Schutzleiterstrom**

- Allgemein:  $\leq 3,5 \text{ mA}$
- Mit Heizelementen  $> 3,5 \text{ kW}$ :  $\leq 1 \text{ mA/kW}$ , maximal  $10 \text{ mA!}$

**Berührungsstrom**

Maximalwert:  $0,5 \text{ mA}$   
Messung an berührbaren und leitfähigen Teilen, die nicht mit dem Schutzleiter verbunden sind.

**Berührungsstrom**

Maximalwert:  $0,5 \text{ mA}$   
Messung an berührbaren und leitfähigen Teilen.

**Berührungsstrom**

Messung ist nicht notwendig, wegen der geringen Betriebsspannung von  $\leq 50 \text{ V AC}$  oder  $\leq 120 \text{ V DC}$ .

**3. Prüfen der Wirksamkeit weiterer Schutzeinrichtungen, z. B. eingebaute RCD.**

**4. Funktionsprüfung, wenn es zum Nachweis der Sicherheit erforderlich ist.**

**5. Auswertung, Beurteilung, Dokumentation (Seite 427).** Das Gerät hat die Prüfung erfolgreich bestanden, wenn alle notwendigen Teilprüfungen bestanden wurden. Anschließend ist ein Prüfprotokoll mit den Messergebnissen zu erstellen und das Gerät erhält eine Prüfplakette (**Seite 427, Bild 2**). Hat das Gerät die Prüfung nicht bestanden, ist es als nicht sicher zu kennzeichnen. Der Betreiber ist zu informieren.



**Schaltgruppen.** Die Schaltgruppe, die auf dem Leistungsschild des Drehstromtransformators (**Bild 1, Seite 491**) angegeben wird, besteht mindestens aus zwei Buchstaben und einer Zahl, z. B. Yd 5 (**Tabelle**).

- Der erste Buchstabe kennzeichnet die Verkettung der Oberspannungswicklungen.
- Der zweite Buchstabe kennzeichnet die Verkettung der Unterspannungswicklungen.
- Die Zahl nennt man Kennzahl des Drehstromtransformators. Multipliziert man die Kennzahl mit  $30^\circ$ , so erhält man die Phasenverschiebung (**Bild 1**), mit der die gleiche Außenleiterspannung der Unterspannungsseite gegenüber der Oberspannungsseite nacheilt.
- Wird der Sternpunkt der Unterspannungsseite herausgeführt, wird dem Kleinbuchstaben y ein n angefügt.

**Beispiel:**

Erklären Sie die Schaltgruppenangabe Dyn 5 (**Bild 2**).

**Lösung:**

D = Oberspannungswicklung in Dreieck geschaltet  
 y = Unterspannungswicklung in Stern geschaltet  
 n = Sternpunkt (Neutralleiteranschluss) herausgeführt  
 5 (Kennzahl): Phasenverschiebung  $5 \times 30^\circ = 150^\circ$

**Schaltungsmerkmale.** Bei Oberspannungswicklungen wird durch Sternschaltung die erforderliche Windungszahl zwar kleiner, aber der Leiterquerschnitt größer als bei Dreieckschaltung. Die OS-seitige Sternschaltung bevorzugt man daher bei Versorgungsstrafos kleinerer Leistung (etwa 500 kVA) und bei sehr hohen Spannungen. Unterspannungswicklungen können bei Verteiltransformatoren (**Bild 1, Seite 490**) für TN-Systeme nicht in Dreieck geschaltet werden, da kein Neutralleiteranschluss möglich ist.

Als **Übersetzungsverhältnis  $\ddot{u}$**  wird bei Drehstromtransformatoren das ungekürzte Verhältnis der Außenleiterspannungen angegeben, z. B.  $\ddot{u} = 20000 \text{ V} / 400 \text{ V}$ . Die Außenleiterspannungen liegen nur in Dd-Schaltung an den Strängen. In der Yy-Schaltung sind die Strangspannungen um den Faktor  $1/\sqrt{3} = 0,577$  geringer als die Außenleiterspannungen.

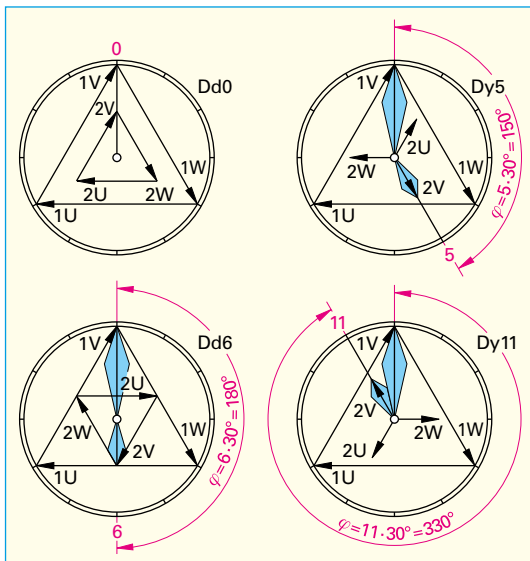
Die Übersetzungsformel  $\ddot{u} = N_1/N_2$  gilt für Drehstromtransformatoren nur bei gleicher Schaltung von Ober- und Unterspannungsseite.

Sind OS- und US-Seite verschieden geschaltet, z. B. in Dy, gilt  $\ddot{u} = N_1/N_2$  nur für die Strangspannungen.

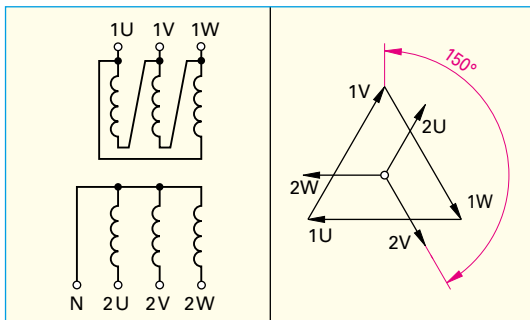
Dreiphasenwechselspannung lässt sich auch mit zwei Einphasentransformatoren in V-Schaltung transformieren (**Bild 3**). Die Ausgangsseite liefert Dreiphasenwechselspannung in ein Dreileiternetz. Bei Höchstspannungen über 380 kV werden Transformatorgruppen aus drei Einphasentransformatoren aufgebaut, da einzelne Transformatoren leichter zu transportieren sind.

**Tabelle: Buchstaben zur Schaltgruppenkennzeichnung**

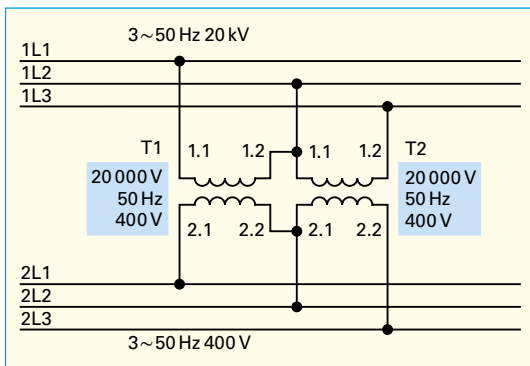
Schaltung	Oberspannungsseite	Unterspannungsseite
Stern	Y	y
Dreieck	D	d
Zickzack	-	z



**Bild 1: Phasenverschiebungen zwischen Ober- und Unterspannung**



**Bild 2: Schaltung und Kennzahlmittlung Dyn 5**



**Bild 3: V-Schaltung**





## 17.3.2 Projektphasen

Ist im Unternehmen die Entscheidung für die Projektannahme gefallen, kann das Team mit der Projektdurchführung beginnen. Für das Projekt ist ein Projektleiter zu benennen, der das Projektmanagement in den verschiedenen Projektphasen übernimmt (**Bild 1**).

### Projektplanung

Das Projektteam trifft sich im Kick-off-Meeting<sup>1</sup>, um die Rollen und Aufgaben im Projekt zu klären.

Projektstrukturplan und Projektablaufplan veranschaulichen die Projektplanung.

In einem **Projektstrukturplan (Bild 2)** wird das Projekt in Teilaufgaben, Aufgaben sowie Arbeitspakete zerlegt. Festgelegt wird auch die Zuständigkeit der Teammitglieder für einzelne Arbeitspakete und die zu liefernden Ergebnisse.

Im **Projektablaufplan** wird die zeitliche Reihenfolge der Arbeitspakete festgelegt. Wichtige Zwischenergebnisse nennt man **Meilensteine**, z.B. Abschluss der Installationsarbeiten, des Projekts. Der Projektablauf lässt sich z.B. grafisch darstellen (**Bild 3**). Darin werden die **Arbeitspakete**, z.B. Programmierung von Lichtszenen, in der zeitlichen Reihenfolge eingetragen. Für die Projektplanung stehen auch verschiedene Software-Tools<sup>2</sup> zur Verfügung, z.B. MS-Project.

### Projektdurchführung

Eine genaue Festlegung der Ziele und Zuständigkeiten des Projekts erleichtert die Durchführung.

Die Hauptaufgabe des Projektleiters in der Durchführungsphase ist es, geeignete Kontroll- und Steuermaßnahmen zur Erreichung des Projektziels sicherzustellen, z. B. durch:

- Teambesprechungen,
- Soll-Ist-Vergleiche für den Arbeitsfortschritt,
- Überprüfung der Projektkosten und
- Projektzwischenberichte für den Auftraggeber.

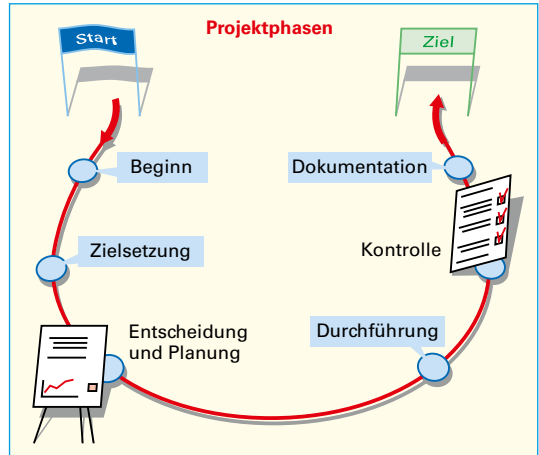
### Projektabschluss

Zum Projektabschluss erwartet der Auftraggeber eine termingerechte Übergabe der gewünschten Leistungen einschließlich Übernahmeprotokoll und Dokumentation. Das Team muss nach dem Projektende den Projektablauf analysieren:

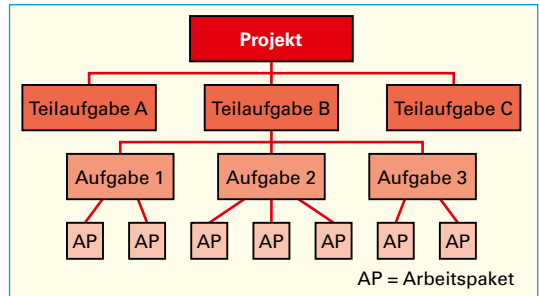
- Gab es Schwachpunkte in der Projektentwicklung?
- War die Planung ausreichend?
- Wurde der Kostenrahmen eingehalten?
- Waren alle Mitarbeiter teamfähig und der Projektleiter handlungsfähig?

<sup>1</sup> kick-off (engl.) = Anstoß, meeting (engl.) = Begegnung, Treffen

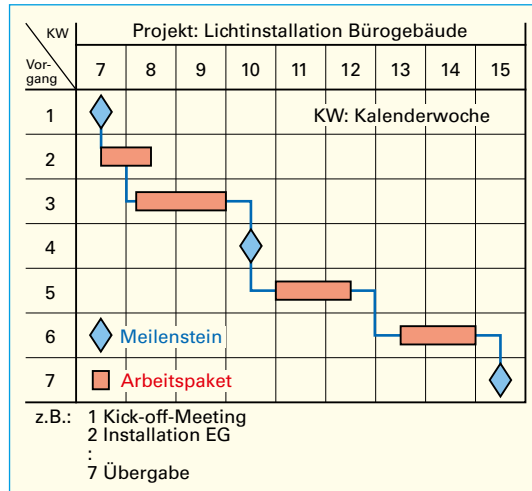
<sup>2</sup> tool (engl.) = Werkzeug



**Bild 1: Projektphasen**



**Bild 2: Projektstrukturplan**



**Bild 3: Projektablaufplan**

**i So gelingen Projekte**

- Gute Zeitplanung (**Seite 645**).
- Gute Teamarbeit (**Seite 644**).
- Gute Planung.
- Offene Information.
- Klare Kommunikation (**Seite 646**).
- Einhalten von Absprachen.