

## Wichtige Formelzeichen, Größen und Einheiten

Formelzeichen	Größe	Einheit, Einheitenname	Einheitenzeichen	Seite (Beispiele)
$\alpha, \beta, \gamma$	ebener Winkel	Grad	° (Grad)	24
$\alpha$	Temperaturbeiwert, Temp.-koeffizient	1/Kelvin	1/K	45
$\Delta$	Differenz, Änderung	–	–	21, 45, 90
$\gamma$	elektrische Leitfähigkeit	Siemens je Meter	$S/m = 1/(\Omega \cdot m)$	44
$\delta$	Verlustwinkel	Grad	° (Grad)	104
$\epsilon$	Permittivität	Farad je Meter	$F/m = As/Vm$	79
$\epsilon_0$	elektrische Feldkonstante	Farad je Meter	$F/m = As/Vm$	79
$\epsilon_r$	Permittivitätszahl	–	1	79
$\zeta$	Arbeits-, Nutzungsgrad	–	1	63, 69
$\eta$	Wirkungsgrad	–	1	61
$\eta$	Lichtausbeute	Lumen je Watt	lm/W	212
$\eta_B$	Beleuchtungswirkungsgrad	–	1	213
$\vartheta$	Celsius-Temperatur	Grad Celsius	°C	45
$\Theta$	Durchflutung	Ampere	A	84, 88
$\mu$	Permeabilität	Henry je Meter	$H/m = Vs/Am$	85
$\mu_0$	magnetische Feldkonstante	Henry je Meter	$H/m = Vs/Am$	85
$\mu_r$	Permeabilitätszahl	–	1	85
$\Phi$	magnetischer Fluss	Weber	$Wb = Vs$	85
$\Phi_v$	Lichtstrom	Lumen	lm	212
$\rho$	Dichte, volumenbezogene Masse	Kilogramm je Meter hoch 3	$kg/m^3$	31
$\rho$	spezifischer Widerstand	Ohm mal Meter	$\Omega \cdot m$	44
$\tau$	Zeitkonstante, Impulszeit	Sekunde	s	82, 83
$\varphi$	Phasenverschiebungswinkel	Grad, Radiant	° (Grad), rad	96, 97, 102
$\omega$	Kreisfrequenz, Winkelgeschwindigkeit	Hertz	$Hz = 1/s$	92
$A$	Fläche	Meter hoch 2	$m^2$	30
$A$	Dämpfungsmaß	Dezibel	dB	219
$b$	Bandbreite	Hertz	$Hz = 1/s$	119
$B$	Blindleitwert	Siemens	$S = 1/\Omega$	110
$B_L$	induktiver Blindleitwert	Siemens	$S = 1/\Omega$	110
$B_C$	kapazitiver Blindleitwert	Siemens	$S = 1/\Omega$	114
$B$	magnetische Flussdichte	Tesla	$T = Vs/m^2$	85
$c$	spezifische Wärmekapazität	Joule je kg und Kelvin	$J/(kg \cdot K)$	62
$C$	elektrische Kapazität	Farad	$F = As/V$	79
$d, D$	Durchmesser	Meter	m	29, 32, 84
$D$	Dämpfungsfaktor	–	1	218
$E$	elektrische Feldstärke	Volt je Meter	$V/m$	78
$E_v$	Beleuchtungsstärke	Lux	$lx = lm/m^2$	213
$f$	Frequenz	Hertz	$Hz = 1/s$	92
$f_c$	Grenzfrequenz	Hertz	$Hz = 1/s$	119
$f_{ch}$	obere Grenzfrequenz	Hertz	$Hz = 1/s$	119
$f_{ct}$	untere Grenzfrequenz	Hertz	$Hz = 1/s$	119
$f_r$	Resonanzfrequenz	Hertz	$Hz = 1/s$	119
$F$	Kraft	Newton	N	36, 37
$g$	Fallbeschleunigung	Meter je Sekunde hoch 2	$m/s^2$	38
$G$	Verstärkungsmaß	Dezibel	dB	219
$G$	elektrischer Leitwert, Wirkleitwert	Siemens	$S = 1/\Omega$	41, 49
$h$	Höhe	Meter	m	31
$H$	magnetische Feldstärke	Ampere je Meter	$A/m$	84
$i$	Übersetzungsverhältnis, mechanisch	–	1	240
$\hat{i}$	Scheitelwert der Stromstärke	Ampere	A	92, 94
$I$	Stromstärke	Ampere	A	40, 41
$I_v$	Lichtstärke	Candela	cd	215
$J$	Stromdichte	Ampere je Meter hoch 2	$A/m^2$	43
$k$	Raumindex	–	1	216
$K$	Ladepkapazität	Amperestunden	Ah	69

**Fortsetzung hintere Umschlaginnenseite**



## KOSTENLOSE ERGÄNZUNGEN DIGITAL+

- **Bilder-Paket:** Alle Bilder des Buches und Datenblätter sind entsprechend der Kapitel gegliedert und können heruntergeladen werden.
- **Verwendung der Bilder:** zur Unterrichtsvorbereitung und Erstellung eigener Arbeitsmaterialien.



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 Bilder-Paket in Ihrer EUROPATHEK frei.

# So erhalten Sie Ihr Bilder-Paket



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

E-Mail Adresse

Passwort

Angemeldet bleiben

Anmelden

## 2. Code einlösen

Beispiel eines Freischaltcodes: VEL-XXXX-XXXX-XXXX

## 3. Rechenbuch Elektrotechnik - Bilder-Paket starten

Eine Auswahl aktueller Elektrotechnik-Titel in der **EUROPATHEK**:

**Meine EUROPATHEK**

Suchen...

Alle Einheiten - Zuletzt betrachtet

Code einlösen

<b>Rechenbuch Elektrotechnik</b> <b>BILDER-PAKET</b>	<b>Rechenbuch Elektrotechnik</b>	<b>Methodische Lernwege zum Rechenbuch Elektrotechnik</b>	<b>Formeln für Elektrotechniker</b>
<b>Rechenbuch Elektrotechnik - Bilder-Paket - 22. Aufl.</b> Zusatzmaterial	<b>Rechenbuch Elektrotechnik, 22. Aufl.</b> Lehrbuch	<b>Löser Rechenbuch Elektrotechnik, 22. Aufl.</b> Lehrbuch	<b>Formeln für Elektrotechniker, 19. Auflage</b> Lehrbuch
<b>Fachkunde Elektrotechnik</b>	<b>Fachkunde Elektrotechnik</b> <b>PREMIUM-EDITION</b>	<b>SimElektro</b> Grundstufe des Elektrotechnik-Lernwerks	<b>SimElektro</b> Spezialwissen für Elektrotechniker
<b>Fachkunde Elektrotechnik, 32. Auflage</b> Lehrbuch	<b>LuL-Version Fachkunde Elektrotechnik...</b> Lehrbuch	<b>SimElektro Grundstufe Version 1.1</b> Lernanwendung	<b>SimElektro Fachstufe Schutzmaßnahmen...</b> Lernanwendung
			<b>Tabellenbuch Elektrotechnik, 29. Auflage</b> Lehrbuch

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

# Rechenbuch Elektrotechnik

Ein Lehr- und Übungsbuch zur Grund- und Fachstufe

**22. neu überarbeitete Auflage**

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

Leitung des Arbeitskreises und Lektorat: Klaus Tkotz

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

**Europa-Nr.: 30766**

**Autoren des Rechenbuchs Elektrotechnik:**

Eichler, Walter	Kaiserslautern
Feustel, Bernd	Kirchheim
Isele, Dieter	Lauterach
Käppel, Thomas	Münchberg
König, Werner	Boxberg
Neumann, Ronald	Oberkail
Tkotz, Klaus	Kronach
Winter, Ulrich	Kaiserslautern

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

**Bildentwürfe:** Die Autoren

**Firmenverzeichnis:** Die Autoren und der Verlag bedanken sich bei den nachfolgenden Firmen für die Unterstützung

**AEG Zähler GmbH**, 31785 Hameln  
**Casio Europe GmbH**, 22848 Norderstedt  
**Hameg Instruments**, 60528 Frankfurt  
**Richard Hirschmann GmbH & Co**, 72606 Nürtingen  
**Kopp GmbH & Co KG**, 63796 Kahl  
**LEDON Lamp GmbH**, A-6890 Lustenau  
**Siemens AG**, 81371 München  
**Tektronix GmbH**, 50739 Köln  
**Varta GmbH**, 30419 Hannover  
**Volkswagen Nutzfahrzeuge**, 30405 Hannover

**Bildbearbeitung:**

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

22. 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 978-3-8085-3826-5

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>

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald  
Umschlagidee: Klaus Tkotz  
Layout und Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt  
Druck: Himmer GmbH, 86167 Augsburg

## • ALLGEMEINES

• Vorwort . . . . .	4
• Inhaltsverzeichnis (ausführlich) . . . . .	5
• Lernfeldhinweise . . . . .	8
• Sachwortverzeichnis . . . . .	286

## • INHALTSVERZEICHNIS (KURZFORM)

1 Technische Mathematik . . . . .	9
2 Physikalische Grundlagen . . . . .	28
3 Elektronische Grundlagen . . . . .	40
4 Arbeiten mit Kennlinien . . . . .	72
5 Elektrisches Feld . . . . .	78
6 Magnetisches Feld . . . . .	84
7 Wechselstrom- und Drehstromtechnik . . . . .	92
8 Messtechnik . . . . .	135
9 Elektronik . . . . .	146
10 Schutzmaßnahmen . . . . .	192
11 Anlagen- und Gebäudetechnik . . . . .	199
12 Elektrische Maschinen . . . . .	228
13 Regelungstechnik . . . . .	255
14 Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung . . . . .	262














## • DATENBLÄTTER

• Verlegearten von Kabeln und Leitungen . . . . .	275
• Strombelastbarkeit von Kabeln, Leitungen, Umrechnungsfaktoren . . . . .	276
• Betriebsdaten von Drehstrommotoren . . . . .	278
• Betriebsdaten von Kleintransformatoren . . . . .	278
• Auslöse-Kennlinien von Überstrom-Schutzeinrichtungen . . . . .	279
• Elektro-Kalkulationshilfen, E-Reihen . . . . .	280
• Licht- und Beleuchtungstechnik . . . . .	281
• Antennentechnik . . . . .	283
• Z-Dioden, Leuchtdioden . . . . .	284
• Gleichrichterdiode BYT 79/, ..., Transistor BC 107 . . . . .	285

## • NÜTZLICHES

- Formelzeichen (vordere und hintere Innenumschlagseite)
- Wichtige Winkelfunktionswerte (hintere Innenumschlagseite)
- Mathematische Zeichen (hintere Innenumschlagseite)

Kapitelnummer und Symbole

1	$\sqrt{2}$
2	
3	$AV\Omega$
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	



# Liebe Leserin, lieber Leser,

das **Rechenbuch Elektrotechnik** dient der Aus- und Weiterbildung im Berufsfeld Elektrotechnik.

## Aufbau des Buches

- Jedes Aufgabengebiet beginnt mit einer kurzen Einführung, gefolgt von einem Rechenbeispiel.
- Die Reihenfolge der Aufgaben ist von leicht nach schwer.
- Schwierige Aufgaben haben einen grünen Punkt vor der Aufgabennummer.
- Formeln und Legenden, sowie Bilder sind in Blöcken zusammengefasst.
- Ab Seite 262 findet man eine Auswahl von Prüfungsaufgaben
- Am Buchende, ab Seite 275, finden Sie wichtige Datenblätter, die zum Lösen mancher Aufgaben benötigt werden.

## Hilfen zum Rechenbuch Elektrotechnik

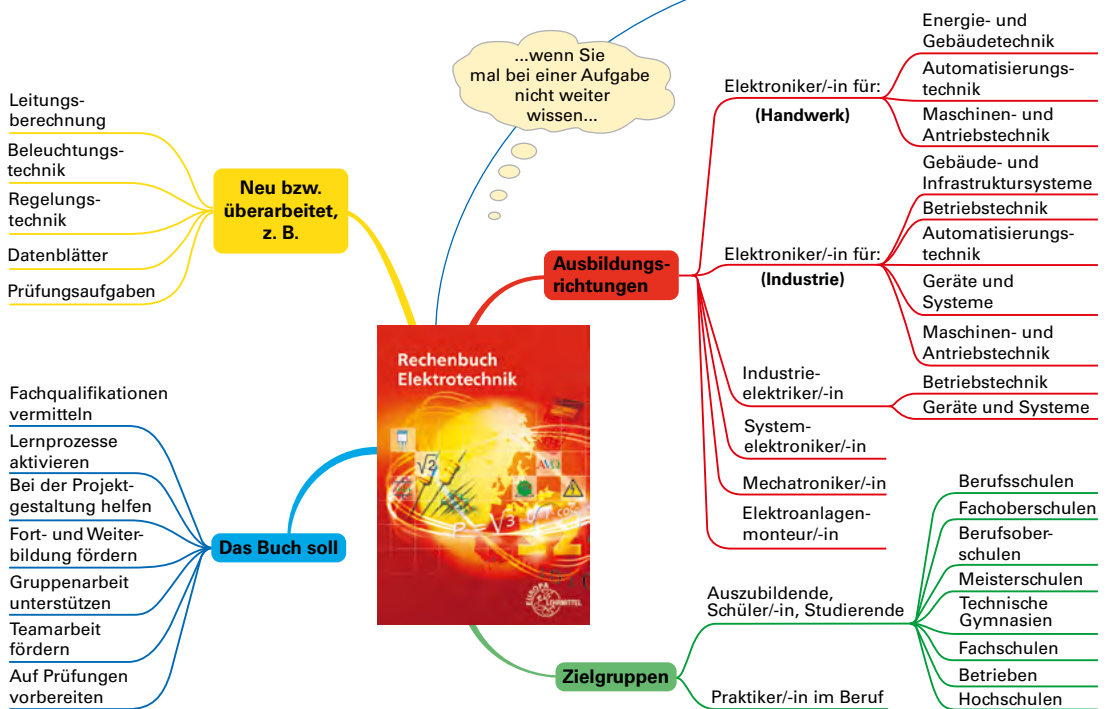
Zusätzlich gibt es:

- Ein ausführliches Lösungsbuch (rechtes Bild),
- ein weiteres Buch „Prüfungsvorbereitung Fachrechnen Elektrotechnik“ und
- eine Formelsammlung „Formeln für Elektrotechniker“, die vor allem bei Prüfungen eingesetzt werden kann.

## Auf einen Blick

Weiterführende Informationen findet man im folgenden Mind-Map-Bild.

Buchsymbole	
	Taschenrechnerbenutzung
	Ergänzende Information
	Seitenhinweise zur Stoffvertiefung



Ob Lob oder Kritik, die Autoren freuen sich über Ihre Infos. Vielleicht haben Sie auch einen aktuellen Tipp? Schreiben Sie uns unter: [lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de).

Die Autoren und der Verlag Europa-Lehrmittel wünschen Ihnen für Ihre Ausbildung und berufliche Tätigkeit viel Erfolg.  
Herbst 2020



<b>1</b>	<b><math>\sqrt{2}</math> Technische Mathematik</b>	<b>9</b>	3.8.3	Gemischte Schaltungen (Gruppenschaltungen)	51
<b>1.1</b>	<b>Elektronischer Taschenrechner (ETR)</b>	<b>9</b>	3.8.4	Spannungsteiler	54
<b>1.2</b>	<b>Grundrechnungsarten</b>	<b>10</b>	3.8.5	Abgeglichene Brückenschaltung	56
1.2.1	Zahlen, Addition und Subtraktion	10	3.8.6	Unabgeglichene Brückenschaltung	57
1.2.2	Multiplikation und Division	11	<b>3.9</b>	<b>Elektrische Leistung und Arbeit</b>	<b>58</b>
<b>1.3</b>	<b>Rechnen mit Brüchen</b>	<b>12</b>	3.9.1	Elektrische Leistung	58
<b>1.4</b>	<b>Potenzen und Wurzeln</b>	<b>13</b>	3.9.2	Elektrische Arbeit	59
1.4.1	Potenzen	13	3.9.3	Leistungsbestimmung mit dem Zähler	60
1.4.2	Wurzeln	14	3.9.4	Wirkungsgrad	61
<b>1.5</b>	<b>Logarithmen</b>	<b>15</b>	<b>3.10</b>	<b>Wärmeenergie</b>	<b>62</b>
1.5.1	Rechnen mit Logarithmen	15	3.10.1	Wärmemenge und Wassermischung	62
1.5.2	Logarithmische Maßstäbe	16	3.10.2	Elektrowärme und Wärmenutzungsgrad	63
<b>1.6</b>	<b>Gleichungen und Formeln</b>	<b>17</b>	<b>3.11</b>	<b>Spannungserzeuger</b>	<b>64</b>
1.6.1	Arbeiten mit Gleichungen	17	3.11.1	Galvanische Elemente	64
1.6.2	Arbeiten mit Formeln	18	3.11.2	Schaltung von Spannungserzeugern	65
1.6.3	Verhältnismgleichungen, Dreisatzrechnen	20	3.11.3	Anpassung	67
1.6.4	Verhältnismgleichungen, Prozentrechnen	20	3.11.4	Ersatzquellen	68
<b>1.7</b>	<b>Funktionen</b>	<b>21</b>	3.11.5	Laden und Entladen von Akkumulatoren	69
<b>1.8</b>	<b>Rechnen am Dreieck</b>	<b>23</b>	3.11.6	Fotovoltaik und Solarmodul	70
1.8.1	Satz des Pythagoras	23	<b>4</b>	<b>Arbeiten mit Kennlinien</b>	<b>72</b>
1.8.2	Winkelfunktionen	24	<b>4.1</b>	<b>Lineare Widerstände</b>	<b>72</b>
1.8.3	Winkel im Grad- und Bogenmaß	25	<b>4.2</b>	<b>Logarithmische Darstellung</b>	<b>73</b>
1.8.4	Rechnen am beliebigen Dreieck	26	<b>4.3</b>	<b>Nichtlineare Widerstände</b>	<b>73</b>
<b>1.9</b>	<b>Runden</b>	<b>27</b>	<b>4.4</b>	<b>Ermittlung des Arbeitspunktes</b>	<b>75</b>
<b>2</b>	<b>Physikalische Grundlagen</b>	<b>28</b>	4.4.1	Reihenschaltung linearer Widerstände	75
<b>2.1</b>	<b>Vorsätze</b>	<b>28</b>	4.4.2	Reihenschaltung linearer und nichtlinearer Widerstände	76
<b>2.2</b>	<b>Kreisumfang, gestreckte Länge</b>	<b>29</b>	<b>4.5</b>	<b>Statischer und differentieller Widerstand</b>	<b>77</b>
<b>2.3</b>	<b>Flächen</b>	<b>30</b>	<b>5</b>	<b>Elektrisches Feld</b>	<b>78</b>
<b>2.4</b>	<b>Rauminhalt und Masse</b>	<b>31</b>	<b>5.1</b>	<b>Elektrische Feldstärke</b>	<b>78</b>
<b>2.5</b>	<b>Berechnung von Spulen</b>	<b>32</b>	<b>5.2</b>	<b>Kapazität von Plattenkondensatoren</b>	<b>79</b>
<b>2.6</b>	<b>Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit</b>	<b>34</b>	<b>5.3</b>	<b>Ladung und Energie bei Kondensatoren</b>	<b>80</b>
2.6.1	Gleichförmige Bewegung	34	<b>5.4</b>	<b>Schaltungen von Kondensatoren</b>	<b>81</b>
2.6.2	Kreisförmige Bewegung mit konstanter Bahngeschwindigkeit	35	<b>5.5</b>	<b>Laden und Entladen von Kondensatoren</b>	<b>82</b>
<b>2.7</b>	<b>Kräfte</b>	<b>36</b>	5.5.1	Kondensatorspannung und Zeit	82
<b>2.8</b>	<b>Moment und Hebel</b>	<b>37</b>	5.5.2	Kondensatorstrom und Zeit	83
<b>2.9</b>	<b>Mechanische Arbeit</b>	<b>38</b>	<b>6</b>	<b>Magnetisches Feld</b>	<b>84</b>
<b>2.10</b>	<b>Mechanische Leistung</b>	<b>39</b>	<b>6.1</b>	<b>Größen des magnetischen Feldes</b>	<b>84</b>
<b>3</b>	<b>AVS2 Elektrotechnische Grundlagen</b>	<b>40</b>	6.1.1	Durchflutung und Feldstärke	84
<b>3.1</b>	<b>Umrechnen von Einheiten</b>	<b>40</b>	6.1.2	Magnetischer Fluss, magnetische Flussdichte, Permeabilität	85
<b>3.2</b>	<b>Stromstärke und Ladung</b>	<b>40</b>	6.1.3	Arbeiten mit Magnetisierungskennlinien	86
<b>3.3</b>	<b>Elektrische Spannung</b>	<b>41</b>	<b>6.2</b>	<b>Magnetische Kreise</b>	<b>87</b>
<b>3.4</b>	<b>Widerstand und Leitwert</b>	<b>41</b>	<b>6.3</b>	<b>Magnetische Feldkräfte</b>	<b>89</b>
<b>3.5</b>	<b>Ohmsches Gesetz</b>	<b>41</b>	<b>6.4</b>	<b>Elektromagnetische Induktion</b>	<b>90</b>
<b>3.6</b>	<b>Stromdichte</b>	<b>43</b>	<b>6.5</b>	<b>Spule an Gleichspannung</b>	<b>91</b>
<b>3.7</b>	<b>Elektrischer Widerstand</b>	<b>44</b>			
3.7.1	Leiterwiderstand	44			
3.7.2	Widerstand und Temperatur	45			
3.7.3	Übertemperatur	46			
<b>3.8</b>	<b>Schaltung von Widerständen</b>	<b>47</b>			
3.8.1	Reihenschaltung von Widerständen	47			
3.8.2	Parallelschaltung von Widerständen	49			





**7 Wechselstrom- und Drehstromtechnik . . . . . 92**

**7.1 Kenngrößen der Wechselstromtechnik 92**

**7.2 Winkel und Winkelfunktionen . . . . . 93**

**7.3 Augenblickswert sinusförmiger Wechselspannungen und Wechselströme . . . . . 94**

**7.4 Addition sinusförmiger Wechselgrößen gleicher Frequenz . . . . . 96**

7.4.1 Addition von Wechselgrößen im Zeigerbild 96

7.4.2 Addition sinusförmiger Wechselgrößen im Liniendiagramm . . . . . 97

**7.5 Wechselstromkreis mit idealen Widerständen . . . . . 98**

7.5.1 Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis (Wirkwiderstand) . . . . . 98

7.5.2 Induktivität im Wechselstromkreis (ideale Spule) . . . . . 99

7.5.3 Kapazität im Wechselstromkreis (idealer Kondensator) . . . . . 100

7.5.4 Schaltungen von idealen Induktivitäten und idealen Kapazitäten . . . . . 101

**7.6 Reihenschaltungen bei gemischter Belastung . . . . . 102**

7.6.1 Wirkwiderstand und induktiver Blindwiderstand in Reihe . . . . . 102

7.6.2 Verlustwinkel und Gütefaktor einer Spule . . . . . 104

7.6.3 Reihenschaltung realer Spulen . . . . . 105

7.6.4 Wirkwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand in Reihe . . . . . 106

7.6.5 Wirkwiderstand, induktiver Blindwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand in Reihe . . . . . 108

**7.7 Parallelschaltungen bei gemischter Belastung . . . . . 110**

7.7.1 Wirkwiderstand und induktiver Blindwiderstand parallel . . . . . 110

7.7.2 Parallelschaltung mehrerer Spulen . . . . . 112

7.7.3 Wirkwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand parallel . . . . . 114

7.7.4 Verlustwinkel und Gütefaktor eines Kondensators . . . . . 116

7.7.5 Wirkwiderstand, induktiver Blindwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand parallel . . . . . 117

**7.8 Schwingkreise . . . . . 119**

7.8.1 Reihenschwingkreis . . . . . 119

7.8.2 Parallelschwingkreis . . . . . 120

**7.9 Leistung bei Wechselstrom . . . . . 121**

**7.10 Siebschaltungen . . . . . 122**

7.10.1 RL-Hochpass und RL-Tiefpass . . . . . 122

7.10.2 RC-Hochpass und RC-Tiefpass . . . . . 123

**7.11 Dreiphasenwechselstrom . . . . . 124**

7.11.1 Sternschaltung . . . . . 124

7.11.2 Dreieckschaltung . . . . . 127

7.11.3 Leistung bei Dreiphasenwechselstrom . . . . . 130

**7.12 Kompensation . . . . . 132**

7.12.1 Kompensation bei Wechselstromverbrauchern . . . . . 132

7.12.2 Kompensation bei Drehstromverbrauchern 134

**8 Messtechnik . . . . . 135**

**8.1 Analoge Messgeräte . . . . . 135**

8.1.1 Anzeigefehler bei analogen Messgeräten . . . . . 135

8.1.2 Eigenverbrauch von analogen Messgeräten . . . . . 136

**8.2 Digitale Messgeräte . . . . . 137**

**8.3 Echtheffektivwertmessung und Messkategorie . . . . . 138**

**8.4 Indirekte Widerstandsermittlung . . . . . 140**

**8.5 Messen über Messwandler . . . . . 141**

**8.6 Messen mit dem Oszilloskop . . . . . 143**

**9 Elektronik . . . . . 146**

**9.1 Kühlung elektronischer Bauelemente . 146**

**9.2 Leuchtdioden . . . . . 147**

**9.3 Gleichrichter . . . . . 148**

9.3.1 Gleichrichterschaltungen . . . . . 148

9.3.2 Glättung und Siebung . . . . . 150

**9.4 Bipolarer Transistor . . . . . 152**

9.4.1 Kennwerte . . . . . 152

9.4.2 Arbeiten mit Transistorkennlinien . . . . . 153

9.4.3 Arbeitspunkteinstellung . . . . . 154

9.4.4 Arbeitspunktstabilisierung . . . . . 155

9.4.5 Wechselstromverstärker in Emitterschaltung . . . . . 156

**9.5 Spannungsstabilisierung . . . . . 158**

9.5.1 Z-Dioden . . . . . 158

9.5.2 Parallelstabilisierung mit Z-Diode . . . . . 159

9.5.3 Reihenspannungsstabilisierung . . . . . 160

9.5.4 Spannungsstabilisierung mit Spannungsreglern . . . . . 161

**9.6 Transistor als Schalter . . . . . 162**

**9.7 Kippschaltungen . . . . . 163**

9.7.1 Astabile Kippschaltung . . . . . 163

9.7.2 Monostabile Kippschaltung . . . . . 164

9.7.3 Schmitt-Trigger . . . . . 165

**9.8 Feldeffekttransistor (FET) . . . . . 166**

9.8.1 Kenngrößen des Feldeffekttransistors . . . . . 166

9.8.2 Einstellung des Arbeitspunktes . . . . . 167

9.8.3 Arbeiten mit Kennlinien beim Feldeffekttransistor . . . . . 168

**9.9 Operationsverstärker . . . . . 169**

9.9.1 Invertierender Operationsverstärker . . . . . 169

9.9.2 Nichtinvertierender Operationsverstärker . . . . . 169

9.9.3 Summierverstärker (Addierer) . . . . . 170

9.9.4 Differenzverstärker (Subtrahierer) . . . . . 171

9.9.5 Integrierer . . . . . 172

9.9.6 Differenzierer . . . . . 173

**9.10 Thyristoren . . . . . 174**

9.10.1 Zünden von Thyristoren und Triacs . . . . . 174

9.10.2 Gesteuerte Gleichrichter . . . . . 174

9.10.3 Wechselstromsteller, Vielperiodensteuerung . . . . . 176

**9.11 Digitaltechnik . . . . . 177**

9.11.1 Zahlensysteme . . . . . 177



9.11.2 Rechnen mit Dualzahlen . . . . . 180  
 9.11.3 BCD-Code . . . . . 180  
 9.11.4 Schaltalgebra . . . . . 181  
 9.11.5 Analyse und Synthese von Binärschaltungen . . . . . 185  
 9.11.6 Minimieren von Schaltnetzwerken . . . . . 187  
**9.12 Datenmengen und Datenübertragungsrate. . . . . 190**  
 9.12.1 Datenmengen . . . . . 190  
 9.12.2 Datenübertragungsrate . . . . . 191

**10 ⚠ Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen . . . . . 192**

**10.1 Schutzmaßnahmen . . . . . 192**  
 10.1.1 Fehlerstromkreis . . . . . 192  
 10.1.2 Isolationswiderstand von Fußböden oder Wänden . . . . . 193  
 10.1.3 Schutzmaßnahmen im TN-System . . . . . 193  
 10.1.4 Schutzmaßnahmen im TT-System . . . . . 195  
 10.1.5 Kurzschlusschutz von isolierten Leitungen und Kabeln . . . . . 197  
 10.1.6 Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) . . . . . 198

**11 🏠 Anlagen- und Gebäudetechnik. . . 199**

**11.1 Projektierung elektrischer Leitungen. . . 199**  
 11.1.1 Unverzweigte Leitungen für Gleichstrom . . . . . 199  
 11.1.2 Unverzweigte Leitungen für Wechselstrom . . . . . 201  
 11.1.3 Unverzweigte Leitungen für Drehstrom . . . . . 203  
 11.1.4 Verzweigte Leitungen für Wechselstrom . . . . . 204  
 11.1.5 Verzweigte Leitungen für Drehstrom . . . . . 206  
 11.1.6 Ringleitungen . . . . . 208  
 11.1.7 Leitungen mit Oberschwingungen . . . . . 210  
**11.2 Beleuchtungstechnik. . . . . 212**  
 11.2.1 Lichtstrom und Lichtausbeute . . . . . 212  
 11.2.2 Energieeffizienzklasse . . . . . 212  
 11.2.3 Beleuchtungsstärke und Beleuchtungswirkungsgrad . . . . . 213  
 11.2.4 Lichtstärke und Lichtstärkeverteilung . . . . . 214  
 11.2.5 Entfernungsgesetz . . . . . 215  
 11.2.6 Leuchtdichte . . . . . 215  
 11.2.7 Raumindex . . . . . 216  
 11.2.8 Beleuchtungswirkungsgrad bei Innenraumbeleuchtung . . . . . 216  
 11.2.9 Ermittlung der Lampenzahl nach dem Wirkungsgradverfahren . . . . . 217  
**11.3 Antennentechnik . . . . . 218**  
 11.3.1 Verstärkungsfaktor, Dämpfungsfaktor . . . . . 218  
 11.3.2 Verstärkungsmaß, Dämpfungsmaß . . . . . 219  
 11.3.3 Pegel . . . . . 220  
 11.3.4 Mechanische Sicherheit von Antennenanlagen . . . . . 222  
**11.4 Kostenrechnen . . . . . 224**  
 11.4.1 Rechnungspreis und Gewinn . . . . . 224  
 11.4.2 Kostenarten . . . . . 224  
**11.5 Handelskalkulation . . . . . 225**  
**11.6 Angebotserstellung . . . . . 226**

**12 🏠 Elektrische Maschinen. . . . . 228**

**12.1 Transformatoren. . . . . 228**  
 12.1.1 Einphasentransformatoren . . . . . 228  
 12.1.2 Transformatoren für Dreiphasenwechselstrom . . . . . 237  
**12.2 Antriebstechnik . . . . . 239**  
 12.2.1 Leistung, Drehzahl und Drehmoment . . . . . 239  
 12.2.2 Einfache Übersetzungen . . . . . 240  
 12.2.3 Mehrfache Übersetzung . . . . . 242  
 12.2.4 Antriebe mit Servomotoren . . . . . 243  
**12.3 Umlaufende elektrische Maschinen . . . 245**  
 12.3.1 Drehfelddrehzahl . . . . . 245  
 12.3.2 Synchronmaschine . . . . . 245  
 12.3.3 Zahnläufer und Schrittmotor . . . . . 247  
 12.3.4 Drehstromasynchronmotor . . . . . 248  
 12.3.5 Wechselstromasynchronmotor . . . . . 250  
 12.3.6 Gleichstrommotoren . . . . . 251  
 12.3.7 Gleichstromgeneratoren . . . . . 254

**13 📄 Regelungstechnik. . . . . 255**

**13.1 Unstetiges Regeln . . . . . 255**  
**13.2 Stetiges Regeln. . . . . 257**  
 13.2.1 Regeln mit Proportionalverhalten . . . . . 257  
 13.2.2 Operationsverstärker als Regler . . . . . 259  
 13.2.3 Einstellen eines stetigen Reglers . . . . . 261

**14 ✅ Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung . . . . . 262**

**15 📄 Datenblätter . . . . . 275**

- Verlegearten von Kabeln und isolierten Leitungen für feste Verlegung . . . . . 275
- Strombelastbarkeit, Umrechnungsfaktoren von Kabeln und isolierten Leitungen . . . . . 276
- Oberschwingungen . . . . . 277
- Betriebsdaten von Asynchronmotoren mit Kurzschlussläufer . . . . . 278
- Betriebsdaten von Kleintransformatoren . . . . . 278
- Auslösekennlinien von Überstrom-Schutzeinrichtungen . . . . . 279
- Elektro-Kalkulationshilfen . . . . . 280
- E-Reihen . . . . . 280
- Licht- und Beleuchtungstechnik (1) . . . . . 281
- Licht- und Beleuchtungstechnik (2) . . . . . 282
- Antennentechnik . . . . . 283
- Z-Dioden und Leuchtdioden . . . . . 284
- Gleichrichterdiode BYT 79/..., Transistor BC 107, BC 171, BC 237 . . . . . 285

**Sachwortverzeichnis . . . . . 286**

Inhaltsübersicht zu Lernfeldern (Beispiele)						
LF	Elektroniker/in für				Lernfeldinhalt (Grundstufe LF1 ... 4, Fachstufe LF5 ... 13)	Buchseiten (Beispiele)
	MA	BT	EG	AT*		
1	x	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elektrotechnische Systeme analysieren und Funktionen prüfen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elektrotechnische Grundlagen ..... 40</li> <li>Elektrische Leistung und Arbeit ..... 58</li> <li>Schaltung von Widerständen ..... 47</li> <li>Arbeiten mit Kennlinien ..... 72</li> <li>Elektrisches Feld ..... 78</li> <li>Wechselstrom ..... 92</li> <li>Gefahren des elektrischen Stromes ..... 192</li> <li>Messverfahren, Oszilloskop ..... 135, 143</li> <li>Elektronische Bauelemente ..... 146</li> <li>E-Reihen ..... 280</li> </ul>
2	x	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elektrische Installationen planen und ausführen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spannungserzeuger ..... 64, 92, 124</li> <li>Auftragsplanung ..... 226</li> <li>Auswahl v. Kabel u. Leitungen ..... 199</li> <li>Leitungsdimensionierung ..... 199</li> <li>Überstrom-Schutzeinrichtungen ..... 279</li> <li>Angebotserstellung, Kostenberechnung, Rechnungserstellung ..... 224</li> </ul>
3	x	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Steuerungen analysieren und anpassen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Digitaltechnik ..... 177</li> <li>Analyse u. Synthese v. Binärschaltungen ..... 185</li> <li>Schaltnetzwerke ..... 187</li> <li>Kippschaltungen ..... 163</li> <li>Magnetisches Feld ..... 84</li> </ul>
4	x	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Informationstechnische Systeme bereitstellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorsätze ..... 28</li> <li>Zahlensysteme ..... 177</li> <li>Rechnen mit Dualzahlen ..... 180</li> </ul>
5	x	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elektroenergieversorgung und Sicherheit von Betriebsmitteln gewährleisten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wechselstromtechnik ..... 92</li> <li>Dreiphasenwechselstrom ..... 124</li> <li>Schutzmaßnahmen ..... 192</li> <li>Fehlerstrom-Schutzeinrichtung ..... 198</li> <li>Netzsysteme ..... 193</li> <li>Gleichrichter, Netzteile ..... 148, 158</li> </ul>
6		x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anlagen und Geräte analysieren und prüfen</li> <li>Geräte und Baugruppen in Anlagen analysieren und prüfen</li> <li>Elektrische Maschinen herstellen und prüfen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schutzmaßnahmen ..... 192</li> <li>Elektrische Maschinen ..... 228</li> <li>Messtechnik ..... 135</li> <li>Elektronik ..... 146</li> </ul>
7	x	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Steuerungen für Anlagen programmieren und realisieren</li> <li>Betriebsverhalten elektrischer Maschinen analysieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schaltnetzwerke ..... 187</li> <li>Elektrische Maschinen ..... 228</li> </ul>
8	x	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Antriebssysteme auswählen und integrieren</li> <li>Elektrische Maschinen und mechanische Komponenten integrieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Antriebstechnik ..... 239</li> <li>Drehstrommaschinen ..... 248</li> <li>Gleichstrommaschinen ..... 251</li> <li>Schrittmotoren ..... 247</li> <li>Leistungselektronik ..... 174</li> </ul>
9		x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Steuerungs- und Kommunikationssysteme integrieren</li> <li>Kommunikationssysteme in Wohn- und Zweckbauten planen und realisieren</li> <li>Gebäudetechnische Anlagen ausführen und in Betrieb nehmen</li> <li>Elektrische Maschinen instand setzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Leitungen ..... 199</li> <li>Leitungsdimensionierung ..... 199, 275</li> <li>Antennenanlagen ..... 218</li> <li>Licht- und Beleuchtungstechnik ..... 212</li> <li>Daten von Drehstrommotoren ..... 274</li> </ul>
10		x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Automatisierungssysteme in Betrieb nehmen und übergeben</li> <li>Elektrische Anlagen der Haustechnik in Betrieb nehmen und instand halten</li> <li>Energetechnische Anlagen errichten und instand halten</li> <li>Steuerungen und Regelungen für elektrische Maschinen auswählen und anpassen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elektrische Anlagentechnik ..... 199</li> <li>Leistungselektronik ..... 174</li> <li>Transformatoren ..... 228</li> <li>Licht- und Beleuchtungstechnik ..... 212</li> <li>Regelungstechnik ..... 255</li> </ul>
11		x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Automatisierungssysteme instand halten und optimieren</li> <li>Energetechnische Anlagen errichten, in Betrieb nehmen und instand setzen</li> <li>Automatisierte Anlagen in Betrieb nehmen und instand halten</li> <li>Elektrische Maschinen in technische Systeme integrieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elektrische Anlagentechnik ..... 199</li> <li>Transformatoren ..... 228</li> <li>Kostenrechnen ..... 224</li> <li>Anlagentechnik ..... 199</li> <li>Leistungselektronik ..... 174</li> <li>Elektromotoren ..... 243</li> </ul>
12		x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Automatisierungssysteme planen</li> <li>Energie- und gebäudetechnische Anlagen planen und realisieren</li> <li>Elektrotechnische Anlagen planen und realisieren</li> <li>Antriebssysteme instand halten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elektrische Anlagentechnik ..... 199</li> <li>Leitungsdimensionierung ..... 201</li> <li>Verlegearten v. Kabeln u. Leitungen ..... 275</li> <li>Kennlinien Überstrom-Schutzeinrichtungen ..... 279</li> <li>Antennenanlagen ..... 218</li> </ul>
13		x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Automatisierungssysteme realisieren</li> <li>Energie- und gebäudetechnische Anlagen in Stand halten und ändern</li> <li>Elektrotechnische Anlagen instand halten und ändern</li> <li>Antriebssysteme anpassen und optimieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schutzmaßnahmen ..... 192</li> <li>Elektromotoren ..... 243</li> <li>Daten von Drehstrommotoren ..... 278</li> <li>Analyse u. Synthese v. Binärschaltungen ..... 185</li> </ul>

\*AT: Automatisierungstechnik, EG: Energie- und Gebäudetechnik, BT: Betriebstechnik, MA: Maschinen- und Antriebstechnik

## Aufgaben zu 3.8.1

- 5** Drei Widerstände sind nach **Bild 1** geschaltet. Berechnen Sie die fehlenden Teilspannungen und Widerstände.
- 6** Der Antrieb eines Spielzeugautos mit  $R = 37 \Omega$  benötigt 4 in Reihe geschaltete Mignonzellen mit je  $U_{01} = 1,56 \text{ V}$ . Berechnen Sie die Stromstärke **a)** wenn beim Batteriewechsel alle Zellen richtig, **b)** eine Zelle falsch gepolt eingesetzt wird (Innenwiderstand vernachlässigen).
- 7** In der Schaltung (**Bild 2, Seite 47**) ist  $U_{01} = 12 \text{ V}$ ,  $U_{02} = 6 \text{ V}$ ,  $R_1 = 270 \Omega$ ,  $R_2 = 120 \Omega$ ,  $R_3 = 180 \Omega$ . Berechnen Sie den Strom  $I$  für den Fall, dass die Spannungsquellen **a)** gleich, **b)** entgegengesetzt gepolt sind (Innenwiderstand vernachlässigen).
- 8** Eine Fahrradlampe mit der Bemessungsspannung  $U = 6 \text{ V}$  hat den Bemessungsstrom  $I = 0,35 \text{ A}$ . Die Lampe soll an  $24 \text{ V}$  angeschlossen werden. Wie groß ist der erforderliche Vorwiderstand?
- 9** Eine Lampenkette aus 8 in Reihe geschalteten Lampen gleicher Leistungsaufnahme liegt an einer Spannung von  $48 \text{ V}$ . Für 2 durchgebrannte Lampen werden Drahtbrücken eingelegt. **a)** Welche Spannung liegt dann an jeder Lampe? **b)** Um wie viel % hat sich dadurch die Spannung an jeder Lampe erhöht?
- 10** Ein 30-W-Lötkolben hat einen Widerstand von  $1763 \Omega$ . Während des Lötens liegt der Lötcolben an  $230 \text{ V}$ . In den Löt-pausen wird die Spannung durch einen Vorwiderstand auf  $126 \text{ V}$  herabgesetzt. Berechnen Sie den erforderlichen Vorwiderstand. (Widerstandsänderung durch Erwärmung wird vernachlässigt).
- 11** In einer Messschaltung sind vier Widerstände nach **Bild 2** geschaltet. Werden die Schalter S1 bis S3 nacheinander geschlossen, so erhöht sich der Strom jeweils um 20%. Sind alle 3 Schalter geschlossen, fließen  $100 \text{ mA}$ . Berechnen Sie **a)** die Widerstände  $R_1$  bis  $R_3$ , **b)** die Ströme, wenn jeweils 2 Schalter gleichzeitig geschlossen sind.
- 12** In einer Schaltung sind 4 Widerstände von  $1,2 \text{ k}\Omega$ ,  $2,2 \text{ k}\Omega$ ,  $3,9 \text{ k}\Omega$  und  $4,7 \text{ k}\Omega$  in Reihe geschaltet und an  $24 \text{ V}$  angeschlossen. Skizzieren Sie die Schaltung, tragen Sie die 10 möglichen messbaren Teilspannungen ein und berechnen Sie diese.
- 13** Ein Drehspulinstrument (**Bild 3**) mit einem Messbereich von  $100 \text{ mV}$  hat einen Messwerkwiderstand  $R_m = 100 \Omega$ . Der Spannungsmessbereich soll auf **a)**  $150 \text{ mV}$ , **b)**  $3 \text{ V}$ , **c)**  $600 \text{ V}$  erweitert werden. Berechnen Sie die Vorwiderstände  $R_v$ .
- 14** Ein 48-V-Relais (**Bild 4**) benötigt zum sicheren Anziehen einen Strom von  $29 \text{ mA}$ . Der Haltestrom beträgt  $22 \text{ mA}$ . **a)** Welchen Wert muss der Vorwiderstand  $R_v$  haben? **b)** An welcher Spannung liegt die Relaispule, wenn der Haltestrom fließt?
- 15** Eine Dunkelkammerleuchte besteht aus 20 Leuchtdioden CQX 41 N (**Bild 5**). Zur Helligkeitssteuerung soll die Spannung an den Dioden in 4 Stufen geschaltet werden. Der Gesamtstrom  $I$  beträgt **a)** bei  $U_F = 2 \text{ V}$   $80 \text{ mA}$ , **b)** bei  $U_F = 2,2 \text{ V}$   $180 \text{ mA}$ , **c)** bei  $U_F = 2,4 \text{ V}$   $300 \text{ mA}$  und **d)** bei  $U_F = 2,6 \text{ V}$   $440 \text{ mA}$ . Berechnen Sie die Vorwiderstände für den Fall, dass die Diodenleuchte an  $U = 6 \text{ V}$  angeschlossen wird.

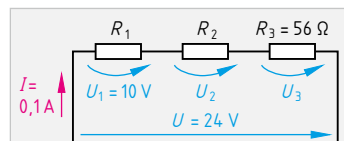


Bild 1: Reihenschaltung

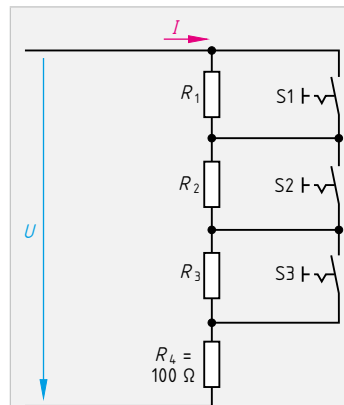


Bild 2: Messschaltung

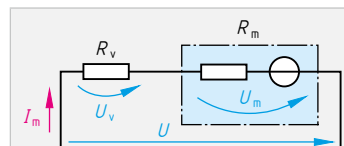


Bild 3: Drehspulinstrument

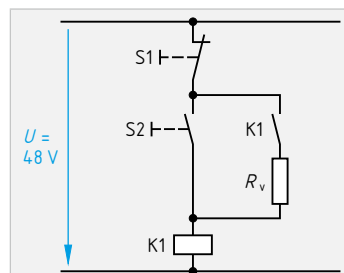


Bild 4: Relaischaltung

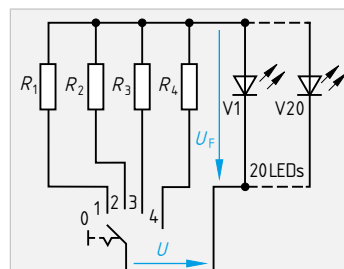


Bild 5: Dunkelkammerleuchte

## Beispiel 2

Eine Wechselspannung mit der Frequenz  $f = 50 \text{ Hz}$  hat den Scheitelwert  $\hat{u} = 325 \text{ V}$ . Ermitteln Sie den Augenblickswert (Momentanwert)  $u$  der Spannung für den Zeitpunkt  $t = 1 \text{ ms}$  **a)** über den Winkel  $\alpha_G$  im Gradmaß und **b)** über den Winkel  $\omega \cdot t$  im Bogenmaß.

**Lösung:**

$$\mathbf{a)} \quad T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \frac{1}{\text{s}}} = 0,02 \text{ s} \Rightarrow \alpha_G = \frac{t \cdot 360^\circ}{T} = \frac{1 \text{ ms} \cdot 360^\circ}{20 \text{ ms}} = 18^\circ$$

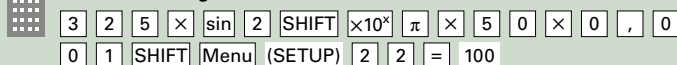
$\alpha_G = 18^\circ \Rightarrow$  **Gradmaß: Taschenrechner auf DEG**

$$\mathbf{u} = \hat{u} \cdot \sin \alpha = 325 \text{ V} \cdot \sin 18^\circ = 325 \text{ V} \cdot 0,309 = \mathbf{100 \text{ V}}$$

$$\mathbf{b)} \quad \mathbf{u} = \hat{u} \cdot \sin(\omega \cdot t) = 325 \text{ V} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{\text{s}} \cdot 0,001 \text{ s})$$

$$= 325 \text{ V} \cdot \sin 0,314 = 325 \text{ V} \cdot 0,309 = \mathbf{100 \text{ V}} \text{ (siehe nächste Zeile)}$$

$\alpha = \omega \cdot t \Rightarrow$  **Bogenmaß: Taschenrechner auf RAD**



Sind Frequenz und Zeit bekannt, so gilt:

$$\alpha_B = \omega \cdot t \quad \text{auf RAD}$$

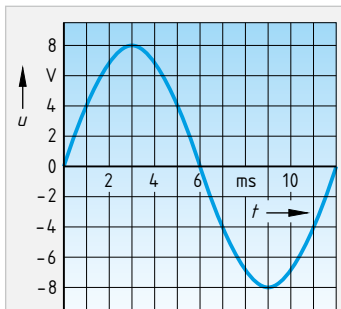
$$u = \hat{u} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$i = \hat{i} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

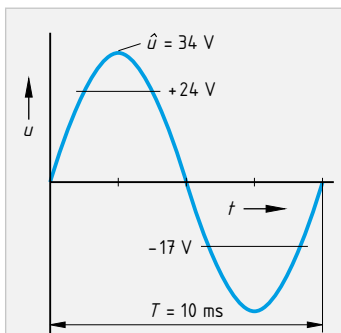
$\omega$  Kreisfrequenz  
 $\omega \cdot t$  Winkel im Bogenmaß

## Aufgaben zu 7.3

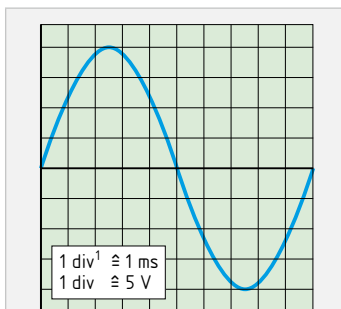
- 4** Eine Wechselspannung hat eine Frequenz von  $f = 50 \text{ Hz}$ . Berechnen Sie für die Zeit  $t = 4 \text{ ms}$  ab Nulldurchgang den Winkel **a)** im Bogenmaß und **b)** im Gradmaß.
- 5** Berechnen Sie die Momentanwerte  $u$  der sinusförmigen Spannung für folgende Winkel  $\alpha$  bei einem Scheitelwert von  $412 \text{ V}$ .  
**Hinweis:** Einstellung DEG/RAD beachten.  
**a)**  $\alpha = 15^\circ$    **b)**  $\alpha = 72^\circ$    **c)**  $\alpha = 331^\circ$    **d)**  $\alpha = \frac{1}{2} \pi$    **e)**  $\alpha = 3 \cdot \pi$   
**f)**  $\alpha = 120^\circ$    **g)**  $\alpha = 352^\circ$    **h)**  $\alpha = \frac{5}{6} \pi$    **i)**  $\alpha = 170^\circ$    **j)**  $\alpha = \frac{\pi}{3}$
- 6** Ein Funktionsgenerator liefert bei einer Frequenz von  $500 \text{ Hz}$  einen Sinusstrom mit einer Amplitude (Scheitelwert) von  $5 \text{ mA}$ . Wie groß ist der Momentanwert  $0,3 \text{ ms}$  nach Nulldurchgang?
- 7** Bestimmen Sie mithilfe des Liniendiagramms (**Bild 1 a)** den Scheitelwert und **b)** die Frequenz. **c)** Wie groß ist der Augenblickswert bei  $2 \text{ ms}$ ?
- 8** Ein sinusförmiger Wechselstrom mit  $f = 50 \text{ Hz}$  hat  $2 \text{ ms}$  nach Stromnulldurchgang einen Momentanwert von  $i = 20 \text{ A}$ . Wie groß ist **a)** der Scheitelwert und **b)** der Effektivwert?
- 9** Ermitteln Sie bei der Wechselspannung (**Bild 2**) die Zeitpunkte, bei denen die Spannung die Augenblickswerte **a)**  $+24 \text{ V}$  und **b)**  $-17 \text{ V}$  hat.
- 10** Der sinusförmige Wechselstrom in einer Generatorwicklung erreicht nach einem Winkel von  $145^\circ$  ab Nulldurchgang einen Momentanwert von  $38,6 \text{ A}$ . Ermitteln Sie den Scheitelwert des Stromes.
- 11** Der Scheitelwert einer Wechselspannung von  $1,2 \text{ kHz}$  beträgt  $73 \text{ V}$ . Berechnen Sie für die Werte  $+12 \text{ V}$  und  $-30 \text{ V}$  beginnend ab Nulldurchgang **a)** die Winkel im Gradmaß und **b)** die Zeitpunkte.
- 12** Eine Wechselspannung mit  $\hat{u} = 707 \text{ V}$  hat  $4,5 \text{ ms}$  nach Nulldurchgang den Augenblickswert  $u = 321 \text{ V}$ . Berechnen Sie die Frequenz.
- 13** Mit einem Oszilloskop wird eine sinusförmige Wechselspannung dargestellt (**Bild 3**). Ermitteln Sie **a)** den Scheitelwert und **b)** die Augenblickswerte bei  $1 \text{ ms}$  und  $8 \text{ ms}$ . **c)** Überprüfen Sie die grafisch ermittelten Augenblickswerte durch Rechnung. **d)** Berechnen Sie die dazugehörigen Winkel im Gradmaß und Bogenmaß.



**Bild 1: Liniendiagramm einer Wechselspannung**



**Bild 2: Wechselspannung**



**Bild 3: Oszillogramm einer Sinusspannung**

<sup>1)</sup> div, Abk. für division (engl.) = Teilung

## 7.9 Leistung bei Wechselstrom

In Netzen werden die Wirkleistung  $P$  und die induktive Blindleistung  $Q_L$  übertragen. Als Maß dieser übertragenen Leistungen dient die Scheinleistung  $S$ , sie ist eine reine Rechengröße. Der Verbraucher nutzt nur den Anteil der Wirkleistung. Der Wirkfaktor  $\cos \varphi$  gibt hierbei an, wie groß der Anteil der Wirkleistung an der übertragenen Scheinleistung ist. Rein ohmsche Verbraucher nehmen nur Wirkleistung auf, ihr Wirkfaktor ist daher immer 1.

### Beispiel

Ein 230-V-Wechselstrommotor (**Bild 1**) nimmt einen Strom von  $I = 5,2$  A auf. Der Leistungsmesser (**Bild 2**) zeigt eine Wirkleistung von 820 W an. Ermitteln Sie **a)** die Scheinleistung  $S$ , **b)** den Wirkfaktor  $\cos \varphi$ , **c)** die Blindleistung  $Q_L$ , **d)** den Wirkstrom  $I_w$ , **e)** den Blindstrom  $I_{bL}$  und **f)** die elektrische Arbeit  $W$  nach 10 Betriebsstunden.

### Lösung:

- a)**  $S = U \cdot I = 230 \text{ V} \cdot 5,2 \text{ A} = \mathbf{1196 \text{ VA}}$   
**b)**  $\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{820 \text{ W}}{1196 \text{ VA}} = 0,69 \Rightarrow \varphi = 46,72^\circ$   
**c)**  $\varphi = 46,72^\circ \Rightarrow \sin \varphi = 0,73$   
 $Q_L = S \cdot \sin \varphi = 1196 \text{ VA} \cdot 0,73 = \mathbf{870,64 \text{ var}}$   
**d)**  $I_w = I \cdot \cos \varphi = 5,2 \text{ A} \cdot 0,69 = \mathbf{3,59 \text{ A}}$   
**e)**  $I_{bL} = I \cdot \sin \varphi = 5,2 \text{ A} \cdot 0,73 = \mathbf{3,8 \text{ A}}$   
**f)**  $W = P \cdot t = 820 \text{ W} \cdot 10 \text{ h} = 8200 \text{ Wh} = \mathbf{8,2 \text{ kWh}}$



Bild 1: Wechselstrommotor

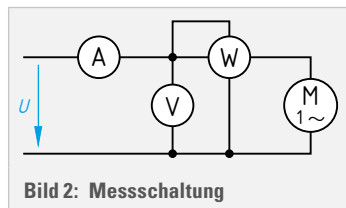


Bild 2: Messschaltung

CE		Hersteller Made in Germany	
1 ~ Mot.			
IP55	0,25 kW	cos $\varphi$ 0,65	
230 V	2,2 A	50 Hz	
C <sub>A</sub> 27 $\mu$ F/450 V	C <sub>B</sub> $\mu$ F/ V		
2870 min <sup>-1</sup>	EN 60034		

Bild 3: Leistungsschild

### Aufgaben zu 7.9

- Die Messgeräte in **Bild 2** zeigen folgende Werte an: Strommesser  $I = 4,9$  A, Spannungsmesser  $U = 230$  V und der Leistungsmesser  $P = 750$  W. Wie groß sind **a)** die Scheinleistung und **b)** die Blindleistung des Motors?
- Ein Notstromaggregat ist bei 228V/50 Hz mit 8,5 A belastet. Die Wirkleistung beträgt dabei 1,6 kW. Berechnen Sie **a)** die Scheinleistung, **b)** den Wirkfaktor und **c)** die Blindleistung.
- Berechnen Sie aus dem Leistungsschild (**Seite 262, Bild 4**) eines Wechselstrommotors **a)** die zugeführte Wirkleistung, **b)** den Wirkungsgrad, **c)** die Scheinleistung und **d)** die Blindleistung.
- Ein Heizkörper mit 2 kW Leistungsaufnahme und ein Einphasenmotor mit der Bemessungsleistung von 0,75 kW,  $\cos \varphi = 0,76$ ,  $\eta = 0,66$  werden am 230-V-Netz betrieben. Ermitteln Sie **a)** die Stromaufnahme  $I$ , **b)** den Gesamtwirkfaktor  $\cos \varphi$ , **c)** die Wirkleistung  $P$ , **d)** die Blindleistung  $Q_L$  und **e)** die elektrische Arbeit  $W$ , wenn der Motor 8 Stunden und der Heizkörper 10 Stunden im Betrieb waren.
- Ein Wechselstrommotor mit dem Leistungsschild (**Bild 3**) und ein Heizkörper mit  $P = 1$  kW werden an 230 V angeschlossen. Berechnen Sie **a)** den Strom  $I$  in der gemeinsamen Zuleitung und **b)** den Gesamtwirkfaktor  $\cos \varphi$ .
- Am 230V/50 Hz-Netz werden zwei Wechselstrommotoren mit folgenden Daten betrieben:  
 Leistungsschild des Motors 1:  $P = 1,1$  kW,  $\cos \varphi = 0,81$ ,  $\eta = 0,73$ ;  
 Leistungsschild des Motors 2:  $P = 1,5$  kW,  $I = 10,9$  A,  $\cos \varphi = 0,81$ .  
 Berechnen Sie **a)** den Strom  $I$  in der gemeinsamen Zuleitung, **b)** den Gesamtwirkfaktor  $\cos \varphi$ , **c)** den Phasenverschiebungswinkel zwischen Strom und Spannung.

$$S = U \cdot I \quad [S] = V \cdot A = \text{VA}$$

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

$$P = S \cdot \cos \varphi \quad [P] = V \cdot A = \text{W}$$

$$Q_L = S \cdot \sin \varphi \quad [Q_L] = \text{var}$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \quad [\eta] = 1$$

$$W = P \cdot t \quad [W] = \text{Ws}$$

$P$	Wirkleistung
$P_{zu}$	zugeführte Wirkleistung
$P_{ab}$	abgegebene Wirkleistung
$S$	Scheinleistung
$Q_L$	induktive Blindleistung
$U$	Spannung
$I$	Strom
$\varphi$	Phasenverschiebungswinkel
$\cos \varphi$	Wirkfaktor
$\sin \varphi$	Blindfaktor
$\eta$	Wirkungsgrad
$W$	elektrische Arbeit

➔ Weitere Aufgaben zur Leistung bei Wechselstrom findet man in den Kapiteln 7.6.1. bis 7.7.5

## 9.5 Spannungsstabilisierung

### 9.5.1 Z-Dioden

Z-Dioden sperren den Strom  $I_Z$  bis zur Spannung  $U_Z$  (**Bild 1**). Wird  $U_Z$  überschritten, leitet die Z-Diode. Der Spannungsfall an der Z-Diode ist im Stabilisierungsbereich annähernd konstant.

Aus der Z-Dioden-Bezeichnung ergibt sich die Z-Spannung.  
Beispiel: ZPD7,5  $\Rightarrow U_Z = 7,5$  V oder BZY55/C6V8  $\Rightarrow U_Z = 6,8$  V

#### Beispiel

Eine Z-Diode mit der Kennlinie nach **Bild 1** liegt mit  $R_v = 100 \Omega$  an  $U_1 = 8$  V.

- Zeichnen Sie die Arbeitsgerade in das Kennlinienfeld (**Bild 1**).
- Tragen Sie den Arbeitspunkt ein und bestimmen Sie
- die Stromstärke  $I_Z$ ,
- die Spannung  $U_Z$ .

Geben Sie die Spannungsänderung  $\Delta U_Z$  an, wenn  $U_1$

- auf 10 V steigt,
- auf 6 V fällt.

#### Lösung:

- Die Arbeitsgerade beginnt bei  $U_1 = 8$  V auf der  $U_Z$ -Achse und endet bei  $I_0$  auf der  $I_Z$ -Achse (**Bild 1**).

$$I_0 = \frac{U_1}{R_v} = \frac{8 \text{ V}}{100 \Omega} = 80 \text{ mA}$$

- Der Arbeitspunkt A ist der Schnittpunkt der Arbeitsgeraden mit der Diodenkennlinie (**Bild 1**):

- Aus Kennlinie **Bild 1**:  $I_Z = 38 \text{ mA}$     **d)**  $U_Z = 4,1 \text{ V}$

Durch Parallelverschiebung der Arbeitsgeraden in  $U = 10$  V und  $U = 6$  V ergeben sich die Arbeitspunkte  $A_1$  und  $A_2$ .

- $U_{ZA1} = 4,2$  V;  $\Delta U_Z = U_{ZA1} - U_Z = 4,2 \text{ V} - 4,1 \text{ V} = 0,1 \text{ V}$
- $U_{ZA2} = 3,8$  V;  $\Delta U_Z = U_Z - U_{ZA2} = 4,1 \text{ V} - 3,8 \text{ V} = 0,3 \text{ V}$

#### Aufgaben zu 9.5.1

- Bei der Z-Diode BZY88/C4V7 beträgt  $P_{\text{tot}} = 360$  mW. Wie groß sind **a)**  $U_Z$ , **b)**  $I_{Z\text{max}}$ , **c)**  $I_{Z\text{min}}$ ?
- Die Schaltung nach **Bild 2** mit der Z-Diode BZY88/C6V2 liegt an der Spannung  $U_1 = 12$  V. Dabei fließt der Strom  $I_Z = 17,6$  mA. Berechnen Sie den Widerstandswert und die Belastbarkeit des Vorwiderstands  $R_v$ .
- Die Z-Diode BZX55/C6V2 ( $P_{\text{tot}} = 0,5$  W) wird mit einem Vorwiderstand an  $U_1 = 12$  V betrieben. Es fließt ein Strom  $I_Z = 15$  mA. Berechnen Sie **a)** den Vorwiderstand  $R_v$ , **b)** die Leistung am Vorwiderstand  $R_v$  und **c)** den maximal zulässigen Strom  $I_Z$ .
- Ein Vorverstärker mit der Betriebsspannung  $U_b = 9$  V soll an  $U_1 = 12$  V betrieben werden. Zur Spannungsanpassung wird die Z-Diode BZX 55/C9V1 (**Datenblatt Seite 284**) mit dem Vorwiderstand  $R_v = 220 \Omega$  eingesetzt. Bestimmen Sie **a)** den Strom  $I_Z$  und **b)** die Leistung an  $R_v$  bei ausgeschaltetem Vorverstärker.
- Eine Stabilisierungsschaltung (**Bild 2**) mit der Z-Diode BZY88/C3V3 (**Kennlinie Bild 3**) liegt an  $U_1 = 10$  V. Dabei stellt sich die Ausgangsspannung  $U_2 = 4,2$  V ein. Bestimmen Sie **a)** den Vorwiderstand  $R_v$ , **b)** die Ausgangsspannung  $U_2$ , wenn  $U_1$  auf 7 V absinkt.

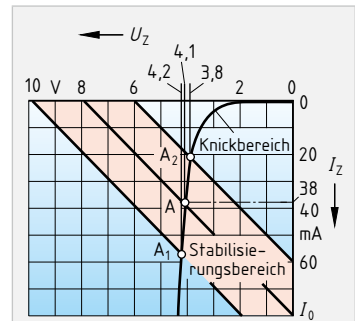


Bild 1: Kennlinie einer Z-Diode

#### Z-Diode mit Vorwiderstand

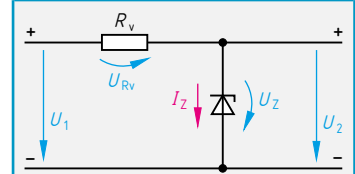


Bild 2

$$U_{Rv} = U_1 - U_Z$$

$$U_2 = U_Z$$

$$R_v = \frac{U_{Rv}}{I_Z}$$

$$I_{Z\text{max}} = \frac{P_{\text{tot}}}{U_Z}$$

$$I_{Z\text{min}} \approx 0,1 \cdot I_{Z\text{max}}$$

- $U_1$  Eingangsspannung
- $U_2$  Ausgangsspannung
- $U_Z$  Z-Spannung
- $U_{Rv}$  Spannung am Vorwiderstand
- $I_Z$  Z-Strom
- $R_v$  Vorwiderstand
- $P_{\text{tot}}$  maximale Verlustleistung der Z-Diode

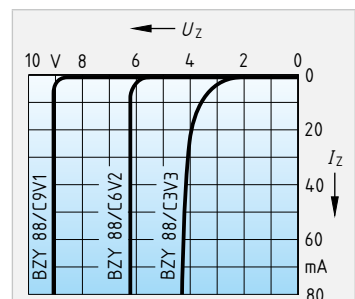


Bild 3: Kennlinien BZY 88/...

### 9.9.6 Differenzierer

Beim Differenzierer (**Bild 1**) ist die Höhe der Ausgangsspannung proportional zur Änderungsgeschwindigkeit der Eingangsspannung.

#### Beispiel

Ein Differenzierer (**Bild 1**) ist mit dem Rückkopplungswiderstand  $R_K = 10 \text{ k}\Omega$  und dem Eingangskondensator  $C_e = 1 \text{ }\mu\text{F}$  beschaltet. Die Eingangsspannung hat den Verlauf nach **Bild 2**. Ermitteln Sie den Verlauf der Ausgangsspannung.

#### Lösung:

Der Verlauf der Ausgangsspannung wird abschnittsweise ermittelt.

Für  $0 \text{ ms} < t \leq 1 \text{ ms}$ :

$$U_a = -R_K \cdot C_e \cdot \frac{\Delta U_e}{\Delta t} = -10 \cdot 10^3 \Omega \cdot 1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{s}}{\Omega} \cdot \frac{0,5 \text{ V}}{1 \text{ ms}} = -5 \text{ V}$$

Für  $1 \text{ ms} < t \leq 3 \text{ ms}$ :

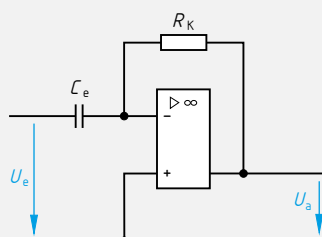
$$U_a = -R_K \cdot C_e \cdot \frac{\Delta U_e}{\Delta t} = -10 \cdot 10^3 \Omega \cdot 1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{s}}{\Omega} \cdot \frac{-1 \text{ V}}{2 \text{ ms}} = 5 \text{ V}$$

Für  $3 \text{ ms} < t \leq 5 \text{ ms}$ :

$$U_a = -R_K \cdot C_e \cdot \frac{\Delta U_e}{\Delta t} = -10 \cdot 10^3 \Omega \cdot 1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{s}}{\Omega} \cdot \frac{1 \text{ V}}{2 \text{ ms}} = -5 \text{ V}$$

Verlauf der Ausgangsspannung siehe **Bild 3**.

#### Differenzierer



**Bild 1**

Für eine linear ansteigende Eingangsspannung gilt:

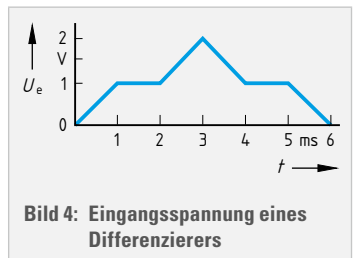
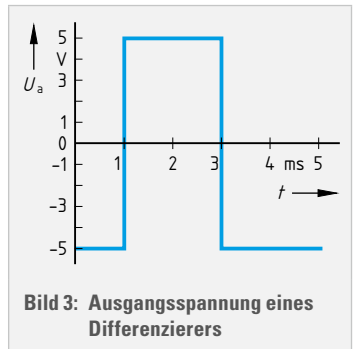
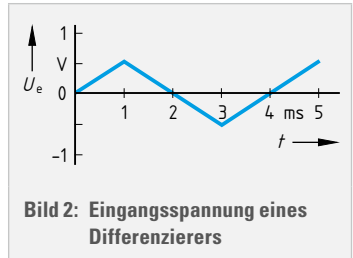
$$U_a = -R_K \cdot C_e \cdot \frac{\Delta U_e}{\Delta t}$$

$R_K$	Rückkopplungswiderstand
$C_e$	Eingangskondensator
$U_a$	Ausgangsspannung
$\Delta U_e$	Eingangsspannungsänderung
$\Delta t$	Zeitdauer der Änderung

#### Aufgaben zu 9.9.6

- 1 Während der Zeit von 2 ms bis 5 ms fällt die Eingangsspannung eines Differenzierers mit dem Rückkopplungswiderstand  $R_K = 22 \text{ k}\Omega$  und dem Eingangskondensator  $C_e = 33 \text{ nF}$  von 5 V auf 0 V ab. Berechnen Sie die Ausgangsspannung.
- 2 Während einer Zeitspanne von  $\Delta t = 2 \text{ ms}$  steigt die Eingangsspannung eines Differenzierers (**Bild 1**) mit dem Rückkopplungswiderstand  $R_K = 330 \text{ k}\Omega$  und dem Eingangskondensator  $C_e = 22 \text{ nF}$  von 0 V auf 3 V an. Ermitteln Sie den Verlauf der Ausgangsspannung  $U_a$ .
- 3 Der Verlauf der Eingangsspannung eines Differenzierers mit  $R_K = 150 \text{ k}\Omega$  und  $C_e = 33 \text{ nF}$  ist in **Bild 4** dargestellt. Ermitteln Sie den Verlauf der Ausgangsspannung.
- 4 Ein Differenzierer mit  $R_K = 220 \text{ k}\Omega$  und  $C_e = 9,1 \text{ }\mu\text{F}$  gibt eine konstante Ausgangsspannung von 4 V ab, während die Eingangsspannung linear von +6 V auf -4 V abfällt. Berechnen Sie die Zeitdauer der Eingangsspannungsänderung.
- 5 Die Ausgangsspannung eines Differenzierers mit  $R_K = 180 \text{ k}\Omega$  und  $C_e = 4,7 \text{ }\mu\text{F}$  ist von 0 s bis 2 s konstant 2,4 V und fällt dann auf 0 V ab. Zeichnen Sie den Verlauf der Eingangsspannung für  $t = 0 \text{ s}$  bis  $t = 4 \text{ s}$ , wenn ihr Anfangswert **a)** 0 V und **b)** 1 V war. **c)** Diskutieren Sie das Ergebnis.
- 6 Der Tachogenerator eines Versuchsfahrzeugs gibt eine geschwindigkeitsproportionale Spannung ab. Bei einer Geschwindigkeit von 1 m/s beträgt die Spannung 1 V. Die Beschleunigung wird von einem Spannungsmesser angezeigt. Dabei entspricht  $U = 1 \text{ V}$  einer Beschleunigung von  $1 \text{ m/s}^2$ . Der Kondensator in der Differenziererschaltung hat  $15 \text{ }\mu\text{F}$ . Zeichnen Sie die Schaltung des Differenzierers und berechnen Sie den Widerstand  $R_K$ .

**Hinweis:** Beschleunigung  $a = \Delta v/\Delta t$ .





## 9.12 Datenmengen und Datenübertragungsrate

### 9.12.1 Datenmengen

Datenmengen sind Mengen von binären Daten. Die Angabe der Mengen erfolgt in den Einheiten bit oder Byte. Bei der Angabe von Datenmengen werden binäre Vorsätze, z. B. 1 TB (Terabyte) =  $2^{40}$  Byte, verwendet. Ausnahmen sind große Massenspeicher, z. B. Festplatten oder USB-Sticks, die mit dezimalen Vorsätzen, z. B. 1 TB =  $10^{12}$  Byte angegeben werden. Um eine Unterscheidung von binären und dezimalen Vorsätzen zu ermöglichen, sollen binäre Vorsätze nach DIN EN 80000-13 (**Tabelle 1**) eine eigene Bezeichnung, z. B. 1 TiB (Tebibyte) =  $2^{40}$  Byte, erhalten. Allerdings findet die neue Bezeichnung nach DIN EN 80000-13 in der Praxis wenig Anwendung.

#### Beispiel 1

Ein Halbleiterspeicher (**Bild**) hat zur Adressierung der Speicherzellen 10 Adresseingänge ( $A_0 \dots A_9$ ). **a)** Bestimmen Sie die Anzahl der Adressen. In jeder Speicherzelle können 8 bit gespeichert werden. Welche Speicherkapazität hat der Speicher **b)** in bit und Kibit sowie **c)** in Byte und KiB?

#### Lösung:

- a)** Bei 10 Adresseingängen ( $A_0 \dots A_9$ ):  $n_A = 2^{10} = 1024$   
**b)**  $M = n_A \cdot n_b = 1024 \cdot 8 = 8192 \text{ bit} = 8 \text{ Kibit}$   
**c)**  $M = \frac{n_A \cdot n_b}{8} = \frac{1024 \cdot 8}{8} = 1024 \text{ B} = 1 \text{ KiB}$

Die Datenmenge einer Datei, z. B. einer Textdatei, nennt man Dateigröße. Sie wird von einem Computer mit binären Vorsätzen für Datenmengen (**Tabelle 1**) angegeben. Im Gegensatz dazu geben Hersteller die Speicherkapazität von großen Massenspeichern, z. B. Festplatten und DVD, mit dezimalen Vorsätzen für physikalische Größen (**Seite 28**) an.

#### Beispiel 2

Die Speicherkapazität  $M$  einer DVD beträgt 4,7 GB. Vom Betriebssystem eines Computers wird die Speicherkapazität mit 4,377 GiB angezeigt. Erklären Sie die beiden Angaben mit einem rechnerischen Nachweis.

#### Lösung:

Angabe auf DVD erfolgt mit dezimalem Vorsatz für physikalische Größen (**Seite 28**):  $M = 4,7 \text{ GB} = 4,7 \cdot 10^9 \text{ Byte} = 4\,700\,000\,000 \text{ Byte} = 4,7 \cdot 10^9 \text{ Byte}$   
 Angabe des Computers erfolgt mit binärem Vorsatz für Datenmengen (**Tabelle 1**):  $M = 4,377 \text{ GiB} = 4,377 \cdot 2^{30} \text{ Byte} \approx 4,7 \cdot 10^9 \text{ Byte}$

#### Aufgaben zu 9.12.1

- Ein USB-Stick wird mit einer Speicherkapazität von 64 GB angegeben. Wie groß ist die Speicherkapazität in GiB?
- Ein EEPROM<sup>1)</sup> 28C128 (**Tabelle 2**) enthält pro Speicherzelle 8 Bit. Welche Speicherkapazität hat der Speicher **a)** in Byte und **b)** in KiB?
- Ein Halbleiterspeicher hat eine Speicherkapazität von 512 Kibit. Im Anschlussbild sind 8 Datenbusanschlüsse ( $D_0 \dots D_7$ ) angegeben. **a)** Wie groß ist die Speicherkapazität in Byte? **b)** Wie viele Adressen hat der Halbleiterspeicher?
- In einem Mikrocomputer soll ein Festwertspeicher (EEPROM) folgende Inhalte aufnehmen:

Ein Array mit 400 Zahlen vom Typ float (32 bit), Text mit 800 ASCII-Zeichen (8 bit), 11 KB Grafikdaten und 19104 B Programmcode. Welches EEPROM (**Tabelle 2**) soll verwendet werden?

#### Einheiten Datenmengen:

1 bit	= kleinste Einheit
1 Kibit	= 1024 bit = $2^{10}$ bit
1 B (Byte)	= 8 bit
1 KiB	= 1024 Byte = $2^{10}$ B
1 MiB	= 1024 KiB = $2^{20}$ B
1 GiB	= 1024 MiB = $2^{30}$ B
1 TiB	= 1024 GiB = $2^{40}$ B

Tabelle 1: Vorsätze für Datenmengen

binär		dezimal	
Vorsatz	Faktor	Vorsatz	Faktor
Ki (Kibi)	$2^{10}$	k (Kilo)	$10^3$
Mi (Mebi)	$2^{20}$	M (Mega)	$10^6$
Gi (Gibi)	$2^{30}$	G (Giga)	$10^9$
Ti (Tebi)	$2^{40}$	T (Tera)	$10^{12}$

#### Speicherkapazität bei einem Halbleiterspeicher

$$M = n_A \cdot n_b \quad [M] = \text{bit}$$

$$M = \frac{n_A \cdot n_b}{8} \quad [M] = \text{Byte} = \text{B}$$

$M$  Speicherkapazität  
 $n_A$  Anzahl der Adressen  
 $n_b$  Bits pro Speicherzelle

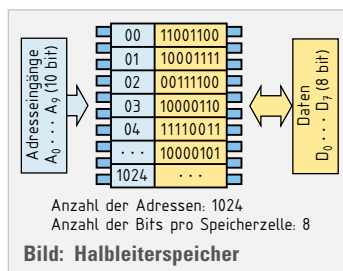


Tabelle 2: EEPROM

Bezeichnung	Speicherkapazität
28C64	64 Kibit
28C128	128 Kibit
28C256	256 Kibit

<sup>1)</sup> EEPROM, Abk. für Electrically Erasable Programmable Read Only Memory (engl.) = elektrisch löschbarer programmierbarer Nur-Lese-Speicher



### 10.1.6 Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD)

Bei Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs<sup>1)</sup>) ist der Abschaltstrom  $I_a$  gleich dem Bemessungs-Differenzstrom  $I_{\Delta N}$ .

#### Beispiel

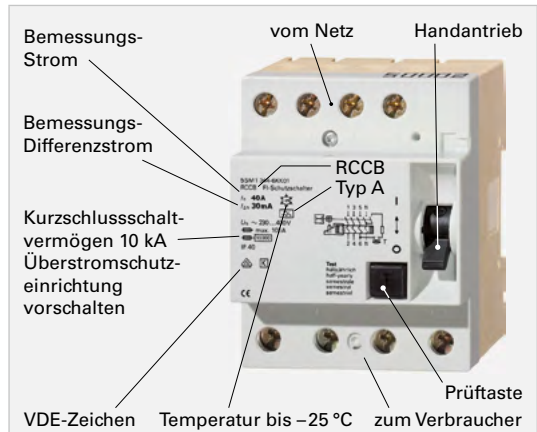
Eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD, **Bild 1**) hat einen Bemessungs-Differenzstrom  $I_{\Delta N} = 30 \text{ mA}$ . Berechnen Sie bei  $U_L = 50 \text{ V}$  den zulässigen Erdungswiderstand  $R_A$ .

#### Lösung:

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_{\Delta N}} = \frac{50 \text{ V}}{0,03 \text{ A}} = \mathbf{1,67 \text{ k}\Omega}$$

#### Aufgaben zu 10.1.6

- 1 Berechnen Sie den zulässigen Erdungswiderstand einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungs-Differenzstrom  $I_{\Delta N} = 300 \text{ mA}$  in einem TT-System bei einer zulässigen Berührungsspannung  $U_L$  von **a)** 25 V und **b)** 50 V.
- 2 Für eine RCD mit  $I_{\Delta N} = 0,5 \text{ A}$  steht ein Fundamenteerder mit einem Erdungswiderstand  $R_A = 6 \Omega$  zur Verfügung. Löst der FI-Schutzschalter bei einer zulässigen Berührungsspannung  $U_L = 50 \text{ V}$  aus?
- 3 Ein Steckdosenstromkreis 16 A wird in einem Baustromverteiler durch eine RCD mit  $I_{\Delta N} = 30 \text{ mA}$  geschützt. Wird die zulässige Berührungsspannung nach DIN VDE 0100 eingehalten, wenn ein Erdungswiderstand  $R_A = 480 \Omega$  gemessen wird?
- 4 In einem TT-System wurde eine RCD mit  $I_{\Delta N} = 0,5 \text{ A}$  durch Messung nach **Bild 2** überprüft. Folgende Werte wurden gemessen: Berührungsspannung  $U_B = 50 \text{ V}$ , Fehlerstrom  $I_F = 0,34 \text{ A}$ . Um wie viel Ohm weicht der Erdungswiderstand vom zulässigen Wert ab?
- 5 Die Überprüfung des Erdungswiderstandes an einem Baustromverteiler ergab folgende Werte:  $U_B = 45 \text{ V}$ ,  $I_F = 0,3 \text{ A}$ . Welchen Bemessungs-Differenzstrom  $I_{\Delta N}$  schreibt DIN VDE 0100-704 bei RCDs vor **a)** bei Drehstromsteckdosen bis  $I_N = 63 \text{ A}$  und **b)** für alle übrigen Wechselstromsteckdosen? **c)** Ist der gemessene Erdungswiderstand für beide Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ausreichend?
- 6 Eine Steckdose 230 V ist mit einem LS-Schalter Typ B 16 A abgesichert. Am Ende der Leitung tritt durch einen Isolationsfehler ein Erdschluss auf. Berechnen Sie die in der Leitung auftretende Wärmeleistung **a)** bei Bemessungsstrom des LS-Schalters und **b)** wenn die Steckdosenleitung zusätzlich durch eine RCD mit  $I_{\Delta N} = 30 \text{ mA}$  geschützt ist.

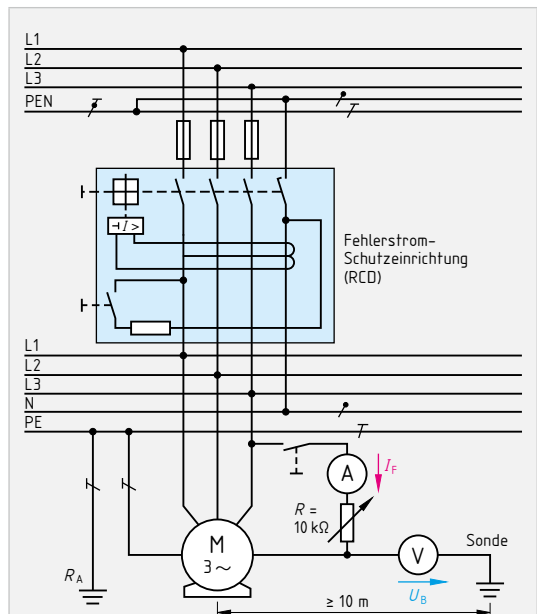


**Bild 1:** Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD)

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_{\Delta N}}$$

$R_A$  Erdungswiderstand der Körpererder  
 $U_L$  zulässiger Grenzwert der Berührungsspannung  
 $I_{\Delta N}$  Bemessungs-Differenzstrom der RCD

**i Baustellenverteiler:** Drehstromsteckdosen bis einschließlich 63 A müssen mit einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) Typ B geschützt werden. Ausgenommen sind Wechselstromsteckdosen und Drehstromsteckdosen 125 A, sofern keine Verbraucher mit Frequenzumrichter angeschlossen sind.



**Bild 2:** Prüfen der RCD

<sup>1)</sup> RCD, Abk. für: Residual Current Protective Device (engl.)



## 12.3 Umlaufende elektrische Maschinen

### 12.3.1 Drehfelddrehzahl

Synchronmaschinen und Asynchronmaschinen benötigen für die Entwicklung eines Drehmomentes ein Drehfeld. Es kann zwei- oder mehrpolig sein.

#### Beispiel

Ein 6-poliger Synchronmotor ist an 400/230 V 50 Hz angeschlossen. Berechnen Sie die synchrone Drehzahl **a)** in  $s^{-1}$ , **b)** in  $min^{-1}$ .

#### Lösung:

$$\mathbf{a)} \ n_s = \frac{f}{p} = \frac{50 \text{ s}^{-1}}{3} = \mathbf{16,7 \text{ s}^{-1}} \quad \mathbf{b)} \ n_s = 16,7 \text{ s}^{-1} \cdot 60 \text{ s/min} = \mathbf{1000 \text{ min}^{-1}}$$

#### Aufgaben zu 12.3.1

- Ein 24-poliger Synchrongenerator liefert eine Spannung mit einer Frequenz von  $f = 50 \text{ Hz}$ . Berechnen Sie die Antriebsdrehzahl  $n_s$ .
- Ein Drehstromasynchronmotor mit einer Drehfelddrehzahl von  $500 \text{ min}^{-1}$  ist an 400/230 V 50 Hz angeschlossen. Berechnen Sie die Polpaarzahl.
- Ein 6-poliger Synchronmotor hat die Drehzahl  $n = 1200 \text{ min}^{-1}$ . An welcher Netzfrequenz wird er betrieben?
- In den USA beträgt die Netzfrequenz 60 Hz. Um wie viel Prozent läuft ein 8-poliger Synchronmotor dort schneller als im europäischen Verbundnetz?

### 12.3.2 Synchronmaschine

➔ Magnetisches Feld: ab Seite 84

Bei der Synchronmaschine sind Läufer- und Drehfelddrehzahl gleich. Eilt das Polrad gegenüber dem Drehfeld vor, arbeitet die Maschine als Generator (**Bild 1, 2 und 3, Seite 246**). Eilt das Polrad nach, arbeitet sie als Motor (**Bild 4, Seite 246**).

#### Beispiel

Ein 16-poliger Synchrongenerator speist Wirkleistung ins Netz mit  $f = 50 \text{ Hz}$ . Die Daten des Läufers sind:  $d = 500 \text{ mm}$ ,  $l = 900 \text{ mm}$ ,  $N_L = 900$  Windungen und  $I_e = 7 \text{ A}$ . Der Luftspalt beträgt  $l_0 = 5 \text{ mm}$ . Die drei Ständerwicklungsstränge in Sternschaltung haben je  $N_s = 435$  Windungen. Berechnen Sie unter Vernachlässigung der Durchflutung im Eisen **a)** die Feldstärke  $H$  im Luftspalt, **b)** die Flussdichte, **c)** die Leerlaufstrangspannung und Leerlaufleiterspannung.

#### Lösung:

$$\mathbf{a)} \ H = \frac{I_e \cdot N}{l_0} = \frac{7 \text{ A} \cdot 900}{2 \cdot 0,005 \text{ m}} = \mathbf{630 \text{ kA/m}}$$

$$\mathbf{b)} \ B = \mu_0 \cdot H = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 630 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}} = \mathbf{0,791 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}}$$

$$\mathbf{c)} \ v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \frac{f}{p} = 2 \cdot \pi \cdot 0,25 \text{ m} \cdot \frac{50 \text{ s}^{-1}}{8} = 9,82 \text{ m/s}$$

$$U_{0\text{Str}} = 2 \cdot B \cdot l \cdot v \cdot N_s = 2 \cdot 0,791 \text{ Vs/m}^2 \cdot 0,9 \text{ m} \cdot 9,82 \text{ m/s} \cdot 435 = \mathbf{6,08 \text{ kV}}$$

$$U_0 = \sqrt{3} \cdot U_{0\text{Str}} = \sqrt{3} \cdot 6,08 \text{ kV} = \mathbf{10,5 \text{ kV}}$$

$$n_s = \frac{f}{p} \quad [n_s] = s^{-1} = \frac{1}{s}$$

$n_s$  synchrone Drehzahl, Drehfelddrehzahl

$f$  Frequenz

$p$  Polpaarzahl

$$\mathbf{i} \quad s^{-1} = \frac{1}{s}; \quad \text{min}^{-1} = \frac{1}{\text{min}}$$

### Synchronmaschine

#### Synchrongenerator

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$U_{0\text{Str}} = 2 \cdot B \cdot l \cdot v \cdot N_s$$

$$v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n$$

Bei Wirkleistungsabgabe gilt:

$$U_{0\text{Str}} = \sqrt{U_{\text{Str}}^2 + (I \cdot X_d)^2}$$

#### Synchronmotor

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta$$

$$F = B \cdot l \cdot I_e \cdot N_L$$

$$M = 2 \cdot r \cdot F \cdot \sin \vartheta$$

$P$  Leistung

$U$  Leiterspannung

$U_{0\text{Str}}$  Leerlaufstrangspannung

$I$  Leiterstrom

$I_e$  Läufer-, Erregerstrom

$X_d$  Innenwiderstand

$B$  Flussdichte im Luftspalt

$F$  Kraft auf die Läuferwicklung

$M$  Drehmoment

$l$  wirksame Leiterlänge

$r$  Läuferradius

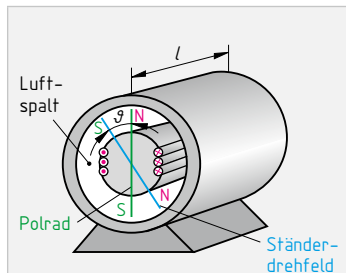
$\vartheta$  Lastwinkel (Polradwinkel)

$v$  Umfangsgeschwindigkeit

$n$  Läuferdrehzahl, Umdrehungsfrequenz

$N_s$  Windungszahl einer Ständerwicklung

$N_L$  Windungszahl der Läuferwicklung



**Bild:** Lastwinkel beim Synchrongenerator



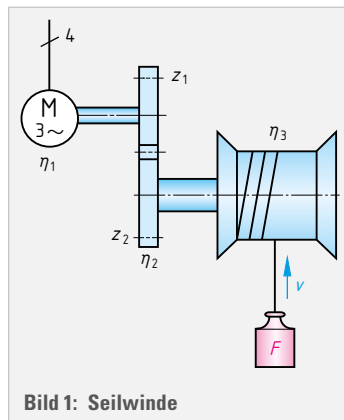
# 14 Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung

(Ergebnisse Seite 274)

## Aufgaben

- 40** Eine Seilwinde (**Bild 1**) wird durch einen Kurzschlussläufermotor mit dem Leistungsschild nach **Bild 2** angetrieben. Der Antrieb erfolgt über ein Zahnradgetriebe und eine Seiltrommel. Die Hubgeschwindigkeit bei Bemessungsleistungsabgabe des Motors soll 1,4 m/s betragen. Die Momentenkennlinie von Motor und Last zeigt **Bild 3**. Die Daten des Zahnradgetriebes sind:  $z_1 = 18$  und  $z_2 = 71$ . Die Winde hat einen Wirkungsgrad von  $\eta_3 = 0,93$ , das Zahnradgetriebe von  $\eta_2 = 0,94$ . Berechnen Sie:

  - den Motorschlupf in Prozent,
  - den erforderlichen Windendurchmesser,
  - die mögliche Zugkraft im Seil in N (Newton),
  - den Gesamtwirkungsgrad der Anlage (einschließlich Motor),
  - die Gesamtverluste. Beurteilen Sie:
  - Ist Stern-Dreieck-Anlauf zur Anzugsstrombegrenzung möglich?
  - Wie wirkt sich eine verringerte Last auf die Hubgeschwindigkeit der Seilwinde aus?



**Bild 1: Seilwinde**

- 41** In einem Drehstromnetz mit der Spannung 400/230 V, 50 Hz sind folgende Widerstände angeschlossen:  
 Zwischen L1 und L2: 20  $\Omega$ , zwischen L2 und L3: 28  $\Omega$  und zwischen L1 und L3: 22  $\Omega$ . Berechnen Sie:

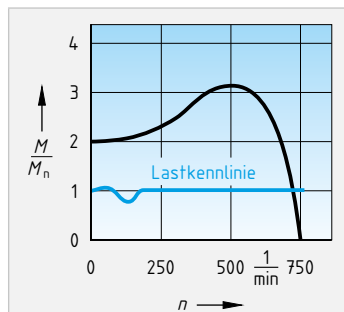
  - die Ströme durch die Verbraucher,
  - die Strangleistungen und
  - die Gesamtleistung.
  - Ermitteln Sie zeichnerisch die Leiterströme.

3 ~ Motor	Typ
$\Delta$ 400 V	5,7 A
3,0 kW	$\cos \varphi = 0,85$
730 1/min	50 Hz

**Bild 2: Leistungsschild**

- 42** Die Leuchtdiode CQX 35 benötigt einen Strom von 40 mA. Sie soll an eine Spannung von 24 V angeschlossen werden. Berechnen Sie mithilfe des **Datenblattes Seite 284**

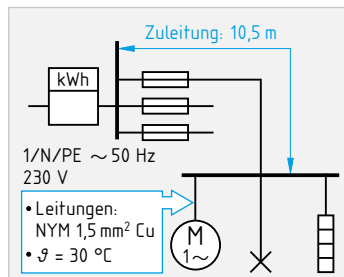
  - den Wert des Vorwiderstandes nach Normreihe E12 (**Seite 280**)
  - die Bemessungsleistung des Vorwiderstandes.
  - Welchen Wert darf der Vorwiderstand nicht unterschreiten?



**Bild 3: Momentenkennlinie**

- 43** Drei Verbraucher werden über eine gemeinsame auf Putz verlegte Mantelleitung angeschlossen (**Bild 4**). Die Bemessungsleistung des Motors beträgt 1,8 kW, sein Wirkungsgrad 92 %, die Leistungsaufnahme der Beleuchtungseinrichtung 1,2 kW und die der Raumheizung 2 kW. Die Schleifenimpedanz des Versorgungsnetzes bis zum Hausanschlusskasten beträgt 200 m $\Omega$ . Der Wirkfaktor in der Zuleitung wird mit  $\cos \varphi = 1$  angenommen.

  - Wie groß ist die aufgenommene Gesamtwirkleistung?
  - Welcher Gesamtstrom fließt?
  - Bestimmen Sie Verlegeart und Leiterquerschnitt der Zuleitung mithilfe der **Datenblätter Seite 275** und **276**.
  - Welcher Spannungsfall in Prozent darf nach der Messeinrichtung (Zähler) nach DIN 18015 (**Seite 199**) höchstens vorhanden sein?
  - Berechnen Sie den Spannungsfall bei Bemessungslast (Gesamtstrom) in der Zuleitung.
  - Wie lang darf die Motorenleitung sein, damit der zulässige Spannungsfall nicht überschritten wird?
  - Wie groß ist der Kurzschlussstrom bei einem Kurzschluss im Motor?
  - Welche Ausschaltzeit ergibt sich bei einem Kurzschluss, damit die Grenztemperatur der Leitung nicht überschritten wird?



**Bild 4: Verbraucheranlage**