

Griechisches Alphabet

(Groß- und Kleinbuchstaben)

Α α Alpha	Ι ι Jota	Ρ ρ Rho
Β β Beta	Κ κ Kappa	Σ σ Sigma
Γ γ Gamma	Λ λ Lambda	Τ τ Tau
Δ δ Delta	Μ μ My	Υ υ Ypsilon
Ε ε Epsilon	Ν ν Ny	Φ φ (ph) Phi
Ζ ζ Zeta	Ξ ξ Ksi	Χ χ Chi
Η η Eta	Ο ο Omikron	Ψ ψ Psi
Θ θ Theta	Π π Pi	Ω ω Omega



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für elektrotechnische Berufe

Rechenbuch Elektrotechnik

Methodische Lösungswege

Gültig ab 22. 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.: 30960

Autoren der Methodischen Lösungswege zum Rechenbuch Elektrotechnik:

Eichler, Walter	Otterberg
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

Hinweise zur Buchbenutzung:

1. Die Bezeichnung der Lösungen erfolgte jeweils durch eine Zahlengruppe, gebildet aus der Seiten- und Aufgabennummer der betreffenden Aufgabe im Rechenbuch Elektrotechnik. So bedeutet z. B. **39/4.: Rechenbuch Elektrotechnik, Seite 39, Aufgabe 4.**
Kommen Aufgabennummern auf einer Seite doppelt vor, so ist den Nummern der obenstehenden Aufgaben der Zusatz „oben“, den Nummern der untenstehenden Aufgaben der Zusatz „unten“ hinzugefügt.
2. Bei der Beurteilung von Aufgaben, in denen der Wert π vorkommt, können bei den Ergebnissen kleine Schwankungen auftreten.
3. Beim Auf- bzw. Abrunden der Ergebnisse wurden folgende Regeln für das Runden von Zahlen nach DIN 1333 angewandt:
Ist die auf die letzte mitzuteilende Stelle folgende Ziffer 5 oder größer, so wird aufgerundet.
Beispiele: $16,75 \approx 16,8$ $16,752 \approx 16,8$ $1,76 \approx 1,8$
Ist die betreffende Ziffer kleiner als 5, so wird abgerundet.
Beispiele: $41,34 \approx 41,3$ $41,349 \approx 41,3$
Diese Regeln gelten nicht für das Geldwesen.

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel GmbH & Co. KG, 73760 Ostfildern

22. Auflage 2020

Druck 5 4 3 2 1

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

ISBN 978-3-8085-3939-2

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

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

Satz und Layout: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt
Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
Umschlagidee: Klaus Tkotz
Umschlagfoto: Casio Europe GmbH
Druck: Medienhaus Plump GmbH, 53619 Rheinbreitbach

Wegweiser Rechenbuch Elektrotechnik

Methodische Lösungswege

Inhaltsverzeichnis Kurzform

1	Technische Mathematik	7
2	Physikalische Grundlagen	20
3	Elektrotechnische Grundlagen	30
4	Arbeiten mit Kennlinien	69
5	Elektrisches Feld	76
6	Magnetisches Feld	81
7	Wechselstrom- und Drehstromtechnik	88
8	Messtechnik	142
9	Elektronik.	148
10	Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen	204
11	Anlagen- und Gebäudetechnik.	209
12	Elektrische Maschinen	236
13	Regelungstechnik	263
14	Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung	268

Nützliches

Hinweise zur Buchbenutzung	2
Griechisches Alphabet	vordere Innenumschlagseite
Grundformeln Gleichstrom.	hintere Innenumschlagseite

1	Technische Mathematik	7		
1.2	Grundrechnungsarten	7		
1.2.1	Zahlen, Addition und Subtraktion	7		
1.2.2	Multiplikation und Division	7		
1.3	Rechnen mit Brüchen	8		
1.4	Potenzen und Wurzeln	9		
1.4.1	Potenzen	9		
1.4.2	Wurzeln	10		
1.5	Logarithmen	10		
1.5.1	Rechnen mit Logarithmen	10		
1.5.2	Logarithmische Maßstäbe	11		
1.6	Gleichungen und Formeln	12		
1.6.1	Arbeiten mit Gleichungen	12		
1.6.2	Arbeiten mit Formeln	13		
1.6.3	Verhältnisgleichungen, Dreisatzrechnen	13		
1.6.4	Verhältnisgleichungen, Prozentrechnen	13		
1.7	Funktionen	14		
1.8	Rechnen am Dreieck	14		
1.8.1	Satz des Pythagoras	14		
1.8.2	Winkelfunktionen	15		
1.8.3	Winkel im Grad- und Bogenmaß	16		
1.8.4	Rechnen am beliebigen Dreieck	17		
1.9	Runden	18		
2	Physikalische Grundlagen	20		
2.1	Vorsätze	20		
2.2	Kreisumfang, gestreckte Länge	20		
2.3	Flächen	21		
2.4	Rauminhalt und Masse	22		
2.5	Berechnung von Spulen	22		
2.6	Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit	24		
2.6.1	Gleichförmige Bewegung	24		
2.6.2	Kreisförmige Bewegung mit konstanter Bahngeschwindigkeit	25		
2.7	Kräfte	26		
2.8	Moment und Hebel	27		
2.9	Mechanische Arbeit	28		
2.10	Mechanische Leistung	28		
3	Elektrotechnische Grundlagen	30		
3.1	Umrechnen von Einheiten	30		
3.2	Stromstärke und Ladung	30		
3.3	Elektrische Spannung	30		
3.4	Widerstand und Leitwert	30		
3.5	Ohmsches Gesetz	31		
3.6	Stromdichte	32		
3.7	Elektrischer Widerstand	33		
3.7.1	Leiterwiderstand	33		
3.7.2	Widerstand und Temperatur	33		
3.7.3	Übertemperatur	35		
3.8	Schaltung von Widerständen	35		
3.8.1	Reihenschaltung von Widerständen	35		
3.8.2	Parallelschaltung von Widerständen	37		
3.8.3	Gemischte Schaltungen (Gruppenschaltungen)	40		
3.8.4	Spannungsteiler	48		
3.8.5	Abgegliche Brückenschaltung	51		
3.8.6	Unabgeglichene Brückenschaltung	52		
3.9	Elektrische Leistung und Arbeit	53		
3.9.1	Elektrische Leistung	53		
3.9.2	Elektrische Arbeit	56		
3.9.3	Leistungsbestimmung mit dem Zähler	56		
3.9.4	Wirkungsgrad	57		
3.10	Wärmeenergie	58		
3.10.1	Wärmemenge und Wassermischung	58		
3.10.2	Elektrowärme und Wärmenutzungsgrad	59		
3.11	Spannungserzeuger	60		
3.11.1	Galvanische Elemente	60		
3.11.2	Schaltung von Spannungserzeugern	60		
3.11.3	Anpassung	62		
3.11.4	Ersatzquellen	63		
3.11.5	Laden und Entladen von Akkumulatoren	64		
3.11.6	Fotovoltaik und Solarmodul	65		
4	Arbeiten mit Kennlinien	69		
4.1	Lineare Widerstände	69		
4.2	Logarithmische Darstellung	70		
4.3	Nichtlineare Widerstände	70		
4.4	Ermittlung des Arbeitspunktes	72		
4.4.1	Reihenschaltung linearer Widerstände	72		
4.4.2	Reihenschaltung linearer und nichtlinearer Widerstände	73		
4.5	Statischer und differentieller Widerstand	75		
5	Elektrisches Feld	76		
5.1	Elektrische Feldstärke	76		
5.2	Kapazität von Plattenkondensatoren	76		
5.3	Ladung und Energie bei Kondensatoren	77		
5.4	Schaltungen von Kondensatoren	78		
5.5	Laden und Entladen von Kondensatoren	79		
5.5.1	Kondensatorspannung und Zeit	79		
5.5.2	Kondensatorstrom und Zeit	79		
6	Magnetisches Feld	81		
6.1	Größen des magnetischen Feldes	81		
6.1.1	Durchflutung und Feldstärke	81		
6.1.2	Magnetischer Fluss, magnetische Flussdichte, Permeabilität	82		
6.1.3	Arbeiten mit Magnetisierungskennlinien	82		
6.2	Magnetische Kreise	83		
6.3	Magnetische Feldkräfte	85		
6.4	Elektromagnetische Induktion	86		
6.5	Spule an Gleichspannung	87		
7	Wechselstrom- und Drehstromtechnik	88		
7.1	Kenngrößen der Wechselstromtechnik	88		
7.2	Winkel und Winkelfunktionen	88		
7.3	Augenblickswert sinusförmiger Wechselspannungen und Wechselströme	89		
7.4	Addition sinusförmiger Wechselgrößen gleicher Frequenz	91		
7.4.1	Addition von Wechselgrößen im Zeigerbild	91		
7.4.2	Addition sinusförmiger Wechselgrößen im Liniendiagramm	92		

7.5 Wechselstromkreis mit idealen Widerständen	94
7.5.1 Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis (Wirkwiderstand) ..	94
7.5.2 Induktivität im Wechselstromkreis (ideale Spule)	95
7.5.3 Kapazität im Wechselstromkreis (idealer Kondensator)	96
7.5.4 Schaltungen von idealen Induktivitäten und idealen Kapazitäten	97
7.6 Reihenschaltungen bei gemischter Belastung	100
7.6.1 Wirkwiderstand und induktiver Blindwiderstand in Reihe	100
7.6.2 Verlustwinkel und Gütefaktor einer Spule	102
7.6.3 Reihenschaltung realer Spulen	103
7.6.4 Wirkwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand in Reihe	104
7.6.5 Wirkwiderstand, induktiver Blindwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand in Reihe	107
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	115
7.7.4 Verlustwinkel und Gütefaktor eines Kondensators	117
7.7.5 Wirkwiderstand, induktiver Blindwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand parallel	118
7.8 Schwingkreise	121
7.8.1 Reihenschwingkreis	121
7.8.2 Parallelschwingkreis	121
7.9 Leistung bei Wechselstrom	122
7.10 Siebschaltungen	124
7.10.1 RL-Hochpass und RL-Tiefpass	124
7.10.2 RC-Hochpass und RC-Tiefpass	125
7.11 Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom) ..	127
7.11.1 Sternschaltung	127
Sternschaltung, symmetrische, gleichartige Last	127
Sternschaltung, unsymmetrische, gleichartige Last	127
Sternschaltung, unsymmetrische, ungleichartige Last	129
7.11.2 Dreieckschaltung	130
Dreieckschaltung, symmetrische, gleichartige Last	130
Dreieckschaltung, unsymmetrische, gleichartige Last	131
Dreieckschaltung, unsymmetrische, ungleichartige Last	133
7.11.3 Leistung bei Dreiphasenwechselstrom ..	135
7.12 Kompensation	139
7.12.1 Kompensation bei Wechselstromverbrauchern	139
7.12.2 Kompensation bei Drehstromverbrauchern	140

8 Messtechnik	142
8.1 Analoge Messgeräte	142
8.1.1 Anzeigefehler bei analogen Messgeräten	142
8.1.2 Eigenverbrauch von analogen Messgeräten	142
8.2 Digitale Messgeräte	143
Anzeige und Messfehler	143
8.3 Echtheffektivwertmessung und Messkategorie	143
8.4 Indirekte Widerstandsermittlung	144
8.5 Messen über Messwandler	145
8.6 Messen mit dem Oszilloskop	146
9 Elektronik	148
9.1 Kühlung elektronischer Bauelemente ..	148
9.2 Leuchtdioden	149
9.3 Gleichrichter	151
9.3.1 Gleichrichterschaltungen	151
9.3.2 Glättung und Siebung	153
Glättung	153
Siebung	154
9.4 Bipolarer Transistor	154
9.4.1 Kennwerte	154
9.4.2 Arbeiten mit Transistorkennlinien	155
9.4.3 Arbeitspunkteinstellung	158
9.4.4 Arbeitspunktstabilisierung	160
9.4.5 Wechselstromverstärker in Emitterschaltung	161
9.5 Spannungsstabilisierung	164
9.5.1 Z-Dioden	164
9.5.2 Parallelstabilisierung mit Z-Diode	165
9.5.3 Reihenstabilisierung	166
9.5.4 Spannungsstabilisierung mit Spannungsreglern	168
9.6 Transistor als Schalter	169
9.7 Kippschaltungen	171
9.7.1 Astabile Kippschaltung	171
9.7.2 Monostabile Kippschaltung	172
9.7.3 Schmitt-Trigger	173
9.8 Feldeffekttransistor (FET)	175
9.8.1 Kenngrößen des Feldeffekttransistors ..	175
9.8.2 Einstellung des Arbeitspunktes	175
9.8.3 Arbeiten mit Kennlinien beim Feldeffekttransistor	176
9.9 Operationsverstärker	177
9.9.1 Invertierender Operationsverstärker ...	177
9.9.2 Nichtinvertierender Operationsverstärker	177
9.9.3 Summierverstärker (Addierer)	178
9.9.4 Differenzverstärker (Subtrahierer)	180
9.9.5 Integrierer	181
9.9.6 Differenzierer	183
9.10 Thyristor und Triac	184
9.10.1 Zünden von Thyristoren und Triacs ...	184
9.10.2 Gesteuerte Gleichrichter	184
9.10.3 Wechselstromsteller, Vielperiodensteuerung	186
9.11 Digitaltechnik	187
9.11.1 Zahlensysteme	187

Umwandlung von Dual- und Sedezimalzahlen in Dezimalzahlen	188
Umwandlung von Dezimal- in Dual- oder in Sedezimalzahlen	189
Umwandlung von Sedezimalzahlen und Dualzahlen	189
9.11.2 Rechnen mit Dualzahlen	190
9.11.3 BCD-Code	191
9.11.4 Schaltalgebra	192
Rechenregeln für eine Variable und Umkehrterme	192
Kommutativgesetze	192
Assoziativgesetze	192
Distributivgesetze	192
Umkehrgesetze für mehrere Variablen	193
Schaltungen in NAND- oder in NOR-Technik	193
9.11.5 Analyse und Synthese von Binärschaltungen	194
Analyse von Binärschaltungen	194
Synthese von Binärschaltungen	196
9.11.6 Minimieren von Schaltnetzwerken	197
Algebraisches Minimieren	197
KV-Diagramm	199
9.12 Datenmengen und Datenübertragungsrate	203
9.12.1 Datenmengen	203
9.12.2 Datenübertragungsrate	203

10 Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen 204

10.1 Schutzmaßnahmen	204
10.1.1 Fehlerstromkreis	204
10.1.2 Isolationswiderstand von Fußböden oder Wänden	204
10.1.3 Schutzmaßnahmen im TN-System	205
10.1.4 Schutzmaßnahmen im TT-System	206
10.1.5 Kurzschlusschutz von isolierten Leitungen und Kabeln	207
10.1.6 Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD)	208

11 Anlagen- und Gebäudetechnik 209

11.1 Leitungen	209
11.1.1 Unverzweigte Leitungen für Gleichstrom	209
11.1.2 Verzweigte Leitungen für Wechselstrom	210
11.1.3 Unverzweigte Leitungen für Drehstrom	212
11.1.4 Verzweigte Leitungen für Wechselstrom	214
11.1.5 Verzweigte Leitungen für Drehstrom	216
11.1.6 Ringleitungen	218
11.1.7 Leitungen mit Oberschwingungen	219
11.2 Beleuchtungstechnik	223
11.2.1 Lichtstrom und Lichtausbeute	223
11.2.2 Energieeffizienzklasse	223
11.2.3 Beleuchtungsstärke und Beleuchtungswirkungsgrad	224
11.2.4 Lichtstärke und Lichtstärkeverteilung	225
11.2.5 Entfernungsgesetz	225
11.2.6 Leuchtdichte	227
11.2.7 Raumindex	227

11.2.8 Beleuchtungswirkungsgrad bei Innenraumbelichtung	227
11.2.9 Ermittlung der Lampenzahl nach dem Wirkungsgradverfahren	228
11.3 Antennentechnik	228
11.3.1 Verstärkungsfaktor, Dämpfungsfaktor	228
11.3.2 Verstärkungsmaß, Dämpfungsmaß	229
11.3.3 Pegel	230
11.3.4 Mechanische Sicherheit von Antennenstandrohren	231
11.4 Kostenrechnen	232
11.4.1 Rechnungspreis und Gewinn	232
11.4.2 Kostenarten	233
11.5 Handelskalkulation	233
11.6 Angebotserstellung	234

12 Elektrische Maschinen 236

12.1 Transformatoren	236
12.1.1 Einphasentransformatoren	236
Übersetzung der Spannung	236
Übersetzung der Stromstärke	236
Übersetzung des Widerstandes	237
Transformatorhauptgleichung	238
Wirkungsgrad von Transformatoren	239
Kurzschlussspannung und Kurzschlussstrom	241
Spartransformatoren für Einphasenwechselstrom	242
Berechnung von Kleintransformatoren	242
12.1.2 Transformatoren für Dreiphasenwechselstrom	244
Übersetzung der Spannung	244
Parallelschalten von Transformatoren	246
12.2 Antriebstechnik	247
12.2.1 Leistung, Drehzahl und Drehmoment	247
12.2.2 Einfache Übersetzungen	248
12.2.3 Mehrfache Übersetzung	250
12.2.4 Antriebe mit Servomotoren	251
12.3 Umlaufende elektrische Maschinen	252
12.3.1 Drehfelddrehzahl	252
12.3.2 Synchronmaschine	253
12.3.3 Zahnläufer und Schrittmotor	254
12.3.4 Drehstromasynchronmotor	255
12.3.5 Wechselstromasynchronmotor	258
12.3.6 Gleichstrommotoren	259
Fremderregter Gleichstrommotor	259
Gleichstrom-Nebenschlussmotor	260
Gleichstrom-Reihenschlussmotor	261
12.3.7 Gleichstromgeneratoren	262

13 Regelungstechnik 263

13.1 Unstetiges Regeln	263
13.2 Stetiges Regeln	265
13.2.1 Regeln mit Proportionalverhalten	265
13.2.2 Operationsverstärker als Regler	266
13.2.3 Einstellen eines stetigen Reglers	267

14 Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung 268