



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für elektrotechnische Berufe

Rechenbuch Elektrotechnik

Methodische Lösungswege

Gültig ab 21. 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
Düsselderger 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
Tkotch, Klaus	Kronach
Winter, Ulrich	Kaiserslautern

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises:

Klaus Tkotch

Bildentwürfe und Layoutentwurf:

Die Autoren

Hinweise zur Buchbenützung:

1. Die Bezeichnungen der Lösungen erfolgte jeweils durch eine Zahlengruppe, gebildet aus der Seriennummer der betreffenden Aufgabe im Rechenbuch Elektrotechnik und aus der Aufgabennummer.
So bedeutet z.B. **39/4.: Rechenbuch Elektrotechnik, Seite 39, Aufgabe 4.**
Kommen gelegentlich Aufgabennummern auf einer Seite doppelt vor, so erhalten die Nummern der obenstehenden Aufgaben den Buchstaben „o“ für oben, die Nummern der untenstehenden Aufgaben den Buchstaben „u“ für unten angefügt, z. B. 30/1.o. und 30/1.u.
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 Verlages Europa-Lehrmittel GmbH & Co.KG, 73760 Ostfildern

21. Auflage 2017

Druck 5 4 3 2

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

ISBN 978-3-8085-3545-5

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

© 2017 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Tutte Druckerei & Verlagsservice GmbH, 94121 Salzweg
Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
Umschlagidee: Klaus Tkotch
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 elektr. Anlagen .	204
11 Anlagen- und Gebäudetechnik	209
12 Elektrische Maschinen	236
13 Regelungstechnik	263
14 Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung ..	268

● Nützliches

- ▶ Hinweise zur Buchbenützung 2
- ▶ Griechisches Alphabet: vordere
Innenumschlagseite
- ▶ Grundformeln Gleichstrom: hintere
Innenumschlagseite

1	Technische Mathematik	7		
1.1	Elektronischer Taschenrechner (ETR) (siehe Rechenbuch)			
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	Verhältnisleichungen, Dreisatzrechnen	13		
1.6.4	Verhältnisleichungen, 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	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 Platten- kondensatoren	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 -ströme	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 Last	127
	Sternschaltung, unsymmetrische, gleichartige Last	127
	Sternschaltung, unsymmetrische, ungleichartige Last	129
7.11.2	Dreieckschaltung	130
	Dreieckschaltung, symmetrische Last	130
	Dreieckschaltung, unsymmetrische und gleichartige Last	131
	Dreieckschaltung, unsymmetrische und ungleichartige Last	133
7.11.3	Leistung bei Dreiphasenwechselstrom	135

7.12	Kompensation	139
7.12.1	Kompensation bei Wechselstrom-verbrauchern	139
7.12.2	Kompensation bei Drehstrom-verbrauchern	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
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 FET	176
9.9	Operationsverstärker	177
9.9.1	Invertierender Operationsverstärker	177
9.9.2	Nichtinvertierender Operationsverstärker	177
9.9.3	Summiervverstärker (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 Thyristor und Triac	184
9.10.2	Gesteuerte Gleichrichter	184

9.10.3 Wechselstromsteller, Vielperiodensteuerung	186	11.2.1 Lichtstrom und Lichtausbeute	223
9.11 Digitaltechnik	187	11.2.2 Energieeffizienzklasse	223
9.11.1 Zahlensysteme	187	11.2.3 Beleuchtungsstärke und Beleuchtungswirkungsgrad	224
• Umwandlung von Dual- und Sedezimalzahlen in Dezimalzahlen	188	11.2.4 Lichtstärke und Lichtstärkeverteilung	225
• Umwandlung von Dezimal- in Dual- oder in Sedezimalzahlen	189	11.2.5 Entfernungsgesetz	225
• Umwandlung von Sedezimalzahlen und Dualzahlen	189	11.2.6 Leuchtdichte	226
9.11.2 Rechnen mit Dualzahlen	190	11.2.7 Raumindex	227
9.11.3 BCD-Code	191	11.2.8 Beleuchtungswirkungsgrad bei Innenraumbeleuchtung	227
9.11.4 Schaltalgebra	192	11.2.9 Ermittlung der Lampenzahl nach dem Wirkungsgradverfahren	227
• Rechenregeln für eine Variable und Umkehrterme	192	11.3 Antennentechnik	228
• Kommutativgesetze	192	11.3.1 Verstärkungsfaktor, Dämpfungsfaktor	228
• Assoziativgesetze	192	11.3.2 Verstärkungsmaß, Dämpfungsmaß	229
• Distributivgesetze	192	11.3.3 Pegel	229
• Umkehrgesetze für mehrere Variablen ..	193	11.3.4 Mechanische Sicherheit von Antennenstandrohren	231
• Schaltungen in NAND- oder in NOR-Technik	193	11.4 Kostenrechnen	232
9.11.5 Analyse und Synthese von Binär- schaltungen	194	11.4.1 Rechnungspreis und Gewinn	232
• Analyse von Binärschaltungen	194	11.4.2 Kostenarten	232
• Synthese von Binärschaltungen	196	11.5 Handelskalkulation	232
9.11.6 Minimieren von Schaltnetzwerken	197	11.6 Angebotserstellung	233
• Algebraisches Minimieren	197		
• KV-Diagramm	199		
9.12 Datenmengen und Datenüber- tragungsrate	203		
9.12.1 Datenmengen	203		
9.12.2 Datenübertragungsrate	203		
10 Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen	204	12 Elektrische Maschinen	236
10.1 Schutzmaßnahmen	204	12.1 Transformatoren	236
10.1.1 Fehlerstromkreis	204	12.1.1 Einphasentransformatoren	236
10.1.2 Isolationswiderstand von Fußböden oder Wänden	204	12.1.2 Transformatoren für Dreiphasenwechselstrom	244
10.1.3 Schutzmaßnahmen im TN-System	205	12.2 Antriebstechnik	247
10.1.4 Schutzmaßnahmen im TT-System	206	12.2.1 Leistung, Drehzahl und Drehmoment	247
10.1.5 Kurzschlusschutz von isolierten Leitungen und Kabeln	207	12.2.2 Übersetzungen, Riemetrieb	248
10.1.6 Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) ..	208	12.2.3 Zahnradtrieb	249
		12.2.4 Schneckenrieb	250
		12.2.5 Mehrfache Übersetzung	251
		12.3 Umlaufende elektrische Maschinen ..	251
		12.3.1 Drehfeld Drehzahl	251
		12.3.2 Synchronmaschine	252
		12.3.3 Zahnläufer und Schrittmotor	253
		12.3.4 Drehstromasynchronmotor	254
		12.3.5 Wechselstromasynchronmotor	257
		12.3.6 Asynchrone Frequenzumformer	258
		12.3.7 Gleichstrommotoren	259
		• Fremderregter Gleichstrommotor	259
		• Gleichstrom-Nebenschlussmotor	260
		• Gleichstrom-Reihenschlussmotor	261
		12.3.8 Gleichstromgeneratoren	262
11 Anlagen- und Gebäudetechnik	209	13 Regelungstechnik	263
11.1 Leitungen	209	13.1 Unstetiges Regeln	263
11.1.1 Unverzweigte Leitungen für Gleichstrom	209	13.2 Stetiges Regeln	265
11.1.2 Unverzweigte Leitungen für Wechselstrom	210	13.2.1 Regeln mit Proportionalverhalten	265
11.1.3 Unverzweigte Leitungen für Drehstrom	212	13.2.2 Operationsverstärker als Regler	266
11.1.4 Verzweigte Leitungen für Wechselstrom	214	13.2.3 Einstellen eines stetigen Reglers	267
11.1.5 Verzweigte Leitungen für Drehstrom	216		
11.1.6 Ringleitungen	218	14 Aufgaben zur Prüfungsvor- bereitung	268
11.1.7 Leitungen mit Oberschwingungen	219	Aufgaben	268
11.2 Beleuchtungstechnik	223		