



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für elektrotechnische Berufe

# Rechenbuch Elektrotechnik

Ein Lehr- und Übungsbuch zur Grund- und Fachstufe

**12. völlig neu überarbeitete Auflage**

Bearbeitet von

Peter Bastian, Walter Eichler, Siegfried Riefler, Hans Rinn,  
Otto Spielvogel, Klaus Tkotz, Ulrich Winter

Leitung des Arbeitskreises und Lektorat: Klaus Tkotz

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

Europa-Nr.: 30766

# Inhaltsverzeichnis

## 1 Mathematische Grundlagen

1.1	Elektronischer Taschenrechner (ETR)	7
1.2	Summieren und Multiplizieren von Zahlen, Variablen und Summen	9
1.3	Rechnen mit Brüchen	11
1.4	Potenzen und Wurzeln	12
1.5	Logarithmen	13
1.6	Gleichungen und Formeln	15
1.6.1	Lineare, reinquadratische Gleichungen, Exponentialgleichungen, Formeln	15
1.6.2	Verhältnisgleichungen, Dreisatzrechnen	16
1.6.3	Verhältnisgleichungen, Prozentrechnen	17
1.6.4	Gemischtquadratische Gleichungen	18
1.7	Funktionen	19
1.8	Rechnen am Dreieck	21
1.8.1	Satz des Pythagoras	21
1.8.2	Winkelfunktionen	22
1.8.3	Winkel im Bogenmaß	23
1.8.4	Rechnen am beliebigen Dreieck	23
1.9	Runden und Fehlerrechnung	25

## 2 Physikalische Grundlagen

2.1	Vorsätze, Zollmaße	27
2.2	Kreisumfang und gestreckte Länge	28
2.3	Flächen	29
2.4	Rauminhalt und Masse	30
2.5	Berechnung von Spulen	31
2.6	Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit	33
2.7	Kräfte	35
2.8	Moment und Hebel	36
2.9	Mechanische Arbeit	38
2.10	Mechanische Leistung	39

## 3 Elektrotechnische Grundlagen

3.1	Stromstärke und Ladung	40
3.2	Elektrische Spannung	40
3.3	Widerstand und Leitwert	41
3.4	Ohmsches Gesetz	41
3.5	Stromdichte	42
3.6	Elektrischer Widerstand	43
3.6.1	Leiterwiderstand	43
3.6.2	Widerstand und Temperatur	44
3.6.3	Thermistoren	46
3.7	Schaltung von Widerständen	47
3.7.1	Reihenschaltung von Widerständen	47
3.7.2	Meßbereichserweiterung von Spannungsmessern	49
3.7.3	Parallelschaltung von Widerständen	50
3.7.4	Meßbereichserweiterung von Strommessern	52
3.7.5	Gemischte Schaltungen (Gruppenschaltungen)	53
3.7.6	Meßbrücken; abgegliche Brückenschaltung	56
3.7.7	Unabgegliche Brückenschaltung	57

3.7.8	Spannungsteiler	59
3.8	Elektrische Leistung und Arbeit	61
3.8.1	Elektrische Leistung	61
3.8.2	Elektrische Arbeit	62
3.8.3	Leistungsbestimmung mit dem Zähler	63
3.8.4	Wirkungsgrad	64
3.9	Wärmeenergie	65
3.9.1	Wärmedehnung	65
3.9.2	Wärmemenge und Wassermischung	66
3.9.3	Elektrowärme und Nutzungsgrad	67
3.10	Spannungserzeuger	69
3.10.1	Galvanische Elemente	69
3.10.2	Schaltung von Spannungserzeugern	70
3.10.3	Anpassung	72
3.10.4	Ersatzquellen	73
3.11	Elektrochemie	74
3.11.1	Elektrolyse	74
3.11.2	Laden und Entladen von Akkumulatoren	75

## 4 Arbeiten mit Kennlinien

4.1	Kennlinien linearer Widerstände	76
4.2	Kennlinien nichtlinearer Widerstände	77
4.3	Ermittlung des Arbeitspunktes	78
4.3.1	Reihenschaltung linearer Widerstände	78
4.3.2	Reihenschaltung linearer und nichtlinearer Widerstände	79
4.4	Statischer und differentieller Widerstand	80

## 5 Elektrisches Feld

5.1	Elektrische Feldstärke	81
5.2	Kapazität von Plattenkondensatoren	82
5.3	Ladung und Energie bei Kondensatoren	83
5.4	Schaltungen von Kondensatoren	84
5.5	Laden und Entladen von Kondensatoren	85
5.5.1	Kondensatorspannung und Zeit	85
5.5.2	Kondensatorstrom und Zeit	86

## 6 Magnetisches Feld

6.1	Größen des magnetischen Feldes	87
6.1.1	Durchflutung und Feldstärke	87
6.1.2	Magnetischer Fluß, magnetische Flußdichte, Permeabilität	88
6.1.3	Arbeiten mit Magnetisierungskennlinien	89
6.2	Magnetische Kreise	90
6.3	Magnetische Feldkräfte	92
6.4	Elektromagnetische Induktion	93
6.5	Spule an Gleichspannung	94

## 7 Wechselstrom

7.1	Winkel, Winkleinheiten, Winkelfunktionen	95
-----	--	----

<b>7.2</b>	<b>Wechselspannung und Wechselstrom mit Sinusform</b> .....	96
7.2.1	Periodendauer, Frequenz und Kreisfrequenz	96
7.2.2	Scheitelwert und Effektivwert .....	96
<b>7.3</b>	<b>Scheitelwert und Augenblickswert sinusförmiger Wechselspannungen und Wechselströme</b> .....	97
<b>7.4</b>	<b>Addition sinusförmiger Wechselgrößen gleicher Frequenz</b> .....	98
7.4.1	Addition im Zeigerdiagramm .....	99
7.4.2	Addition sinusförmiger Wechselgrößen im Liniendiagramm .....	99
<b>7.5</b>	<b>Wechselstromkreis mit idealen Widerständen</b> .....	100
7.5.1	Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis (Wirkwiderstand) .....	100
7.5.2	Induktivität im Wechselstromkreis (ideale Spule) .....	101
7.5.3	Kapazität im Wechselstromkreis (idealer Kondensator) .....	102
7.5.4	Schaltungen von idealen Induktivitäten und idealen Kapazitäten .....	103
<b>7.6</b>	<b>Reihenschaltungen bei gemischter Belastung</b> .....	104
7.6.1	Wirkwiderstand und induktiver Blindwiderstand in Reihe .....	104
7.6.2	Verlustwinkel und Gütefaktor einer Spule ..	106
7.6.3	Reihenschaltung realer Spulen .....	107
7.6.4	Wirkwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand in Reihe .....	108
7.6.5	Reihenschaltung aus Wirkwiderstand, induktivem Blindwiderstand und kapazitivem Blindwiderstand .....	110
<b>7.7</b>	<b>Parallelschaltungen bei gemischter Belastung</b> .....	112
7.7.1	Wirkwiderstand und induktiver Blindwiderstand parallel .....	112
7.7.2	Parallelschaltung mehrerer Spulen .....	114
7.7.3	Wirkwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand parallel .....	116
7.7.4	Verlustwinkel und Gütefaktor eines Kondensators .....	118
7.7.5	Wirkwiderstand, induktiver Blindwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand parallel ..	119
<b>7.8</b>	<b>Schwingkreise</b> .....	121
7.8.1	Reihenschwingkreis .....	121
7.8.2	Parallelschwingkreis .....	122
<b>7.9</b>	<b>Siebschaltungen</b> .....	123
7.9.1	RL-Hochpaß und RL-Tiefpaß .....	123
7.9.2	RC-Hochpaß und RC-Tiefpaß .....	124
<b>7.10</b>	<b>Kompensation bei Wechselstrom</b> .....	125

## 8 Dreiphasenwechselstrom

<b>8.1</b>	<b>Sternschaltung</b> .....	127
8.1.1	Sternschaltung, symmetrische Last .....	127
8.1.2	Sternschaltung, unsymmetrische, gleichartige Last .....	128
8.1.3	Sternschaltung, unsymmetrische, ungleichartige Last .....	129
<b>8.2</b>	<b>Dreieckschaltung</b> .....	130
8.2.1	Dreieckschaltung, symmetrische Last .....	130

8.2.2	Dreieckschaltung, unsymmetrische, gleichartige Last .....	131
8.2.3	Dreieckschaltung, unsymmetrische, ungleichartige Last .....	132
<b>8.3</b>	<b>Leistung bei Dreiphasenwechselstrom</b>	133
<b>8.4</b>	<b>Kompensation bei Drehstrom</b> .....	135

## 9 Elektrische Maschinen

<b>9.1</b>	<b>Transformatoren</b> .....	136
9.1.1	Einphasentransformatoren .....	136
9.1.2	Transformatoren für Dreiphasenwechselstrom	144
<b>9.2</b>	<b>Antriebstechnik</b> .....	146
9.2.1	Leistung, Drehzahl und Drehmoment .....	146
9.2.2	Übersetzungen, Riementrieb .....	147
9.2.3	Zahnradtrieb .....	148
9.2.4	Schneckentrieb .....	149
9.2.5	Mehrfache Übersetzung .....	150
<b>9.3</b>	<b>Umlaufende elektrische Maschinen</b> ..	151
9.3.1	Drehfeld Drehzahl .....	151
9.3.2	Synchronmaschine .....	151
9.3.3	Zahnläufer und Schrittmotoren .....	153
9.3.4	Asynchronmaschine .....	154
9.3.5	Asynchrone Frequenzumformer .....	156
9.3.6	Gleichstrommotoren .....	157
	Fremderregter Gleichstrommotor .....	157
	Gleichstrom-Nebenschlußmotor .....	158
	Gleichstrom-Reihenschlußmotor .....	159
9.3.7	Gleichstromgeneratoren .....	160

## 10 Meßtechnik

<b>10.1</b>	<b>Anzeige, Anzeigefehler</b> .....	162
10.1.1	Analog-Multimeter .....	162
10.1.2	Digital-Multimeter .....	162
<b>10.2</b>	<b>Eigenverbrauch von Meßinstrumenten</b>	164
<b>10.3</b>	<b>Indirekte Widerstandsermittlung</b> .....	165
<b>10.4</b>	<b>Messen über Meßwandler</b> .....	166
<b>10.5</b>	<b>Messen mit dem Oszilloskop</b> .....	168

## 11 Elektrische Anlagen

<b>11.1</b>	<b>Schutzmaßnahmen</b> .....	170
11.1.1	Fehlerstromkreis .....	170
11.1.2	Isolationswiderstand von Fußböden oder Wänden .....	171
11.1.3	Schutzmaßnahmen im TN-System .....	171
11.1.4	Schutzmaßnahmen im TT-System .....	174
11.1.5	Fehlerstrom-Schutzeinrichtung .....	175
<b>11.2</b>	<b>Leitungen</b> .....	176
11.2.1	Unverzweigte Leitungen für Gleichstrom ..	176
11.2.2	Unverzweigte Leitungen für Wechselstrom ..	178
11.2.3	Unverzweigte Leitungen für Drehstrom ....	180
11.2.4	Verzweigte Leitungen für Wechselstrom ....	181
11.2.5	Verzweigte Leitungen für Drehstrom .....	183
11.2.6	Ringleitungen .....	185
<b>11.3</b>	<b>Beleuchtungstechnik</b> .....	187
11.3.1	Lichtstrom und Lichtausbeute .....	187
11.3.2	Beleuchtungsstärke und Beleuchtungswirkungsgrad .....	188

11.3.3	Lichtstärke und Lichtstärkeverteilung	189
11.3.4	Leuchtdichte	190
11.3.5	Raumindex	190
11.3.6	Beleuchtungswirkungsgrad bei Innenraumbeleuchtung	191
11.3.7	Ermittlung der Lampenzahl nach dem Wirkungsgradverfahren	191
<b>11.4</b>	<b>Antennentechnik</b>	193
11.4.1	Verstärkungsfaktor, Dämpfungsfaktor	193
11.4.2	Verstärkungsmaß, Dämpfungsmaß	194
11.4.3	Pegel	195
11.4.4	Mechanische Festigkeit von Antennenstandrohren	197
<b>11.5</b>	<b>Tarife</b>	199
11.5.1	Durchschnittspreisberechnung	199
11.5.2	Grenzverbrauch	199
11.5.3	Tarifsystem ohne Leistungsmessung	200
11.5.4	Tarifsystem mit 96-Stunden- Leistungsmessung (Tarif II)	201

## 12 Digitaltechnik

<b>12.1</b>	<b>Zahlensysteme</b>	203
12.1.1	Umwandlung von Dual- und Sedezimalzahlen in Dezimalzahlen	204
12.1.2	Umwandlung von Dezimalzahlen in Dual- oder in Sedezimalzahlen	204
12.1.3	Umwandlung von Sedezimalzahlen in Dualzahlen	205
<b>12.2</b>	<b>Rechnen mit Dualzahlen</b>	206
<b>12.3</b>	<b>BCD-Code</b>	206
<b>12.4</b>	<b>Schaltalgebra</b>	207
12.4.1	Rechenregeln für eine Variable und Umkehrterme	207
12.4.2	Kommutativgesetz	208
12.4.3	Assoziativgesetz	208
12.4.4	Distributivgesetz	208
12.4.5	Umkehrgesetze für mehrere Variablen	209
12.4.6	Schaltungen in NAND- oder in NOR-Technik	210
<b>12.5</b>	<b>Analyse und Synthese von Binärschaltungen</b>	211
12.5.1	Analyse von Binärschaltungen	211
12.5.2	Synthese von Binärschaltungen	212
<b>12.6</b>	<b>Minimieren von Schaltnetzwerken</b>	213
12.6.1	Algebraisches Minimieren	213
12.6.2	KV-Diagramm	214

## 13 Elektronik

<b>13.1</b>	<b>Kühlung elektronischer Bauelemente</b>	216
<b>13.2</b>	<b>Dioden</b>	217
<b>13.3</b>	<b>Gleichrichter</b>	218
13.3.1	Gleichrichterschaltungen	218
13.3.2	Glättung und Siebung	220
<b>13.4</b>	<b>Bipolarer Transistor</b>	222
13.4.1	Kennwerte	222
13.4.2	Arbeiten mit Transistorkennlinien	223
13.4.3	Arbeitspunkteinstellung	224
13.4.4	Arbeitspunktstabilisierung	225
13.4.5	Wechselstromverstärker in Emitterschaltung	226

<b>13.5</b>	<b>Spannungsstabilisierung</b>	228
13.5.1	Z-Diode	228
13.5.2	Parallelstabilisierung	229
13.5.3	Reihenstabilisierung	230
13.5.4	Spannungsstabilisierung mit Festspannungsregler	231
<b>13.6</b>	<b>Transistor als Schalter</b>	232
<b>13.7</b>	<b>Kippschaltungen</b>	233
13.7.1	Astabile Kippschaltung	233
13.7.2	Monostabile Kippschaltung	234
13.7.3	Schmitt-Trigger	235
<b>13.8</b>	<b>Feldeffekttransistor (FET)</b>	236
13.8.1	Kenngrößen des Feldeffekttransistors	236
13.8.2	Einstellung des Arbeitspunktes	237
13.8.3	Arbeiten mit Kennlinien beim FET	238
<b>13.9</b>	<b>Operationsverstärker</b>	239
13.9.1	Invertierender Operationsverstärker	239
13.9.2	Nichtinvertierender Operationsverstärker	239
13.9.3	Summierverstärker (Addierer)	240
13.9.4	Differenzverstärker (Subtrahierer)	241
13.9.5	Integrierer	242
13.9.6	Differenzierer	243
<b>13.10</b>	<b>Thyristoren und Triac</b>	244
13.10.1	Gesteuerte Gleichrichter	244
13.10.2	Wechselstromsteller, Schwingungspaketsteuerung	245

## 14 Regelungstechnik

<b>14.1</b>	<b>Unstetiges Regeln</b>	246
<b>14.2</b>	<b>Stetiges Regeln</b>	248
14.2.1	Regeln mit Proportionalverhalten	248
14.2.2	Regelverhalten von Operationsverstärkern	250
14.2.3	Einstellen eines stetigen Reglers	252

## 15 Prüfungsvorbereitung

Aufgaben	253
----------	-----

## 16 Datenblätter

Strombelastbarkeit (Kabel und Leitungen)	262
Umrechnungsfaktoren (Kabel und Leitungen)	263
Daten von Drehstrom-Motoren	263
Strom-Zeit-Kennlinien (Überstrom-Schutzeinrichtungen)	264
Tarife, E-Reihen	265
Beleuchtungstechnik	266
Antennen	267
Z-Dioden, Leuchtdioden	268
Gleichrichterioden, Transistoren	269

Sachwortverzeichnis	270
---------------------	-----