



Ismail Kasikci

Elektrotechnik für Architekten, Bauingenieure und Gebäudetechniker

Grundlagen und Anwendung
in der Gebäudeplanung

2. Auflage

EBOOK INSIDE

 Springer Vieweg

Elektrotechnik für Architekten, Bauingenieure und Gebäudetechniker

Ismail Kasikci

Elektrotechnik für Architekten, Bauingenieure und Gebäudetechniker

Grundlagen und Anwendung
in der Gebäudeplanung

2., aktualisierte Auflage

Ismail Kasikci
Weinheim, Deutschland

ISBN 978-3-658-23762-2 ISBN 978-3-658-23763-9 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-23763-9>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2013, 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Lektorat: Karina Danulat

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort zur zweiten Auflage

In vielen Studiengängen ist heute ein elektrotechnisches Grundwissen unbedingt erforderlich. Dieses Lehrbuch vermittelt die Grundlagen der Elektrotechnik für Studierende nichtelektrotechnischer Fachgebiete wie Architektur, Bauingenieurwesen, Gebäudetechnik, Informationstechnik oder auch Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen. Es ist sowohl für das Studium als auch für die anschließende Berufspraxis konzipiert und erleichtert den Einstieg in das Fachgebiet Elektrotechnik und in die elektrotechnischen Anwendungsgebiete. Als begleitendes Handbuch unterstützt dieses Buch auch die Berufstätigkeit und macht elektrotechnische Zusammenhänge verständlich.

Die Elektrotechnik spielt bei vielen Fragen der Gebäudetechnik eine wichtige Rolle wie beispielsweise bei der Gebäudeautomation und bei regenerativen Energiesysteme, deren Planung teilweise direkt mit der Gebäudeplanung verbunden ist.

Das vorliegende Lehrbuch soll das Vor- und Nacharbeiten der vorgestellten Themenschwerpunkte und Lehrinhalte erleichtern sowie ergänzende Hintergrundinformationen liefern. Auch wenn elektrotechnische Berechnungen im Rahmen der Gebäudeplanung in der Regel von Fachingenieuren oder im Falle kleinerer Bauvorhaben von Fachfirmen ausgeführt werden, sind doch die Lehrinhalte dieses Buches als Wissen für Studierende von Fächern wie Gebäudetechnik und Klimatechnik unverzichtbar und auch für Architekten und Bauingenieure zum Nachschlagen geeignet, wenn es auf ein Verständnis der Grundlagen der Elektrotechnik ankommt.

Dieses Lehrbuch behandelt schrittweise und verständlich zunächst die Grundlagen der Elektrotechnik und stellt sie in den Zusammenhang zur Technischen Gebäudeausrüstung und zur Energieumwandlung, Energieübertragung und Energieverteilung. Dabei wird die Bedeutung der Elektrotechnik für die gesamte gebäu-

detechnische Anlagenplanung erkennbar. Am besten gelingt das Verstehen der elektrotechnischen Grundlagen und Zusammenhänge, wenn Sie das Buch durcharbeiten und die Beispielaufgaben durchrechnen. Um den Stoff zu verstehen, müssen Sie üben, denn *Übung macht den Meister*.

Praxisnahe Beispiele in jedem Kapitel des Buches helfen, die Zusammenhänge zu erfassen. Im umfangreichen Literaturverzeichnis am Ende des Buches finden sich Empfehlungen für weiterführende Fachliteratur.

Die zweite Auflage wurde überarbeitet, didaktisch verbessert, und neue Themen, wie beispielsweise die Elektromobilität und LED-Technik aufgenommen.

Allen meinen Fachkollegen und Bekannten, die mich durch ihre Anregungen, Kritiken und Vorschläge unterstützt haben, möchte ich herzlich danken.

Besonders danke ich den Firmen ABB STOTZ, Siemens, Dehn + Söhne, Trilux und Hager für die Überlassung der technischen Unterlagen.

Dank gebührt auch dem Springer Vieweg Verlag und insbesondere Frau Karina Danulat für die Unterstützung bei der Veröffentlichung des Buches.

Beim Verfassen eines Buches lassen sich an der einen oder anderen Stelle Schreibfehler nicht vermeiden, wofür ich Sie um Nachsicht bitte. Bei Fragen, Wünschen und Anregungen wenden Sie sich bitte gern an mich.

Weinheim, im August 2018

Ismail Kasikci

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	XXI
Abkürzungen	XXV
Indizes	XXVII
1 Einleitung	1
2 Einführung in die Elektrotechnik	5
3 Physikalische Größen und Einheiten	9
3.1 Physikalische Größen	9
3.2 Physikalische Gleichungen	11
3.3 Maß- und Einheitensysteme	13
4 Physikalische Grundbegriffe	17
4.1 Aufbau der Materie, Ladungen	17
4.2 Leiter, Halbleiter und Nichtleiter	21
4.3 Elektrischer Strom	23
4.4 Wirkungen des elektrischen Stromes	25
4.5 Beispiele: Stromstärke	26

4.5.1	Beispiel: Berechnung der Stromstärke	26
4.5.2	Beispiel: Berechnung der Ladung	27
4.6	Stromdichte	27
4.7	Beispiele: Stromdichte	28
4.7.1	Beispiel: Glühlampe	28
4.7.2	Beispiel: Fundamenterder	28
4.8	Elektrische Spannung	29
4.9	Beispiele: Elektrische Spannung	31
4.9.1	Beispiel: Arbeit	31
4.9.2	Beispiel: Spannung	31
4.10	Elektrischer Widerstand	31
4.11	Beispiele: Elektrischer Widerstand	34
4.11.1	Beispiel: Stromkreiswiderstand	34
4.11.2	Beispiel: Leitwert	34
4.11.3	Beispiel: Widerstand eines Leiters	34
4.12	Strom- und Spannungszählpfeile	35
4.13	Erzeuger- und Verbraucherzählpfeile	35
4.14	Elektrische Leistung, Arbeit und Energie	35
4.15	Wirkungsgrad	36
4.16	Beispiele: Elektrische Leistung	37
4.16.1	Beispiel: Pumpe	37
4.16.2	Beispiel: Hebebühne	37
4.16.3	Beispiel: Lampen parallel	38
4.16.4	Beispiel: Lampen in Reihe geschaltet	38
4.17	Beispiele: Strom, Spannung und Widerstand	39
4.17.1	Beispiel: Widerstandswerte	39
4.17.2	Beispiel: Glühlampe	39
4.18	Analogiebetrachtungen	39

5	Grundgesetze der Elektrotechnik	41
5.1	Das Ohmsche Gesetz	41
5.2	Die Kirchhoffschen Gesetze	42
5.2.1	Erster Kirchhoffscher Satz (Knotenregel)	43
5.2.2	Beispiel zum 1. Kirchhoff'schen Satz	44
5.2.3	Zweiter Kirchhoffscher Satz (Maschenregel)	45
5.2.4	Beispiel zum 2. Kirchhoff'schen Satz	46
6	Berechnung von Gleichstromkreisen	49
6.1	Reihenschaltung von Widerständen	51
6.1.1	Beispiel: Reihenschaltung der Leitungen	52
6.1.2	Beispiel: Reihenschaltung	52
6.1.3	Beispiel: Berechnung der Quellenspannung	53
6.2	Parallelschaltung von Widerständen	54
6.2.1	Beispiel: Parallelschaltung aus der Praxis	55
6.2.2	Beispiel: Parallelschaltung	55
6.3	Stern-Dreieck-Umwandlung	56
6.4	Wheatstonesche Brückenschaltung	57
6.5	Thevenin-Theorem (Lineare Spannungsquelle)	58
6.6	Norton Theorem (Lineare Stromquelle)	59
6.7	Überlagerungssatz (Superpositionstheorem)	59
7	Elektrische Quellen	63
7.1	Ideale Spannungsquelle	64
7.2	Reale Spannungsquellen	64
7.3	Ideale Stromquellen	66
7.4	Reale Stromquellen	67
7.5	Zweipoltheorie	67
7.6	Leistungsbilanz im Grundstromkreis	68

8	Messungen der elektrotechnischen Größen	69
8.1	Messen der Stromstärke	70
8.2	Messung der Spannung und des Spannungsfalls	70
8.3	Spannungsquelle und Innenwiderstand	70
8.4	Leistungsmessung bei Drehstrom	71
9	Elektrische Felder	73
9.1	Das elektrische Strömungsfeld	74
9.2	Das elektrostatische Feld	76
9.2.1	Elektrische Spannung und Potential	78
9.2.2	Elektrische Verschiebungsdichte D	79
9.2.3	Verschiebungsstrom	80
9.2.4	Kondensator und Kapazität	80
9.2.5	Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren	81
9.2.6	Parallelschaltung von Kondensatoren	82
9.2.7	Energie des elektrischen Feldes	83
9.2.8	Ladung und Entladung eines Kondensators	84
9.2.9	Anwendung von Kondensatoren	85
9.3	Beispiel: Reihen- und Parallelschaltungen	86
9.4	Beispiel: Gemischte Schaltung	86
10	Elektromagnetische Felder	87
10.1	Stationäres magnetisches Feld	87
10.2	Kraftwirkungen im elektromagnetischen Feld	89
10.3	Beispiel: Kräfte im magnetischen Feld	90
10.4	Bestimmung der Stromrichtung	91
10.5	Magnetische Feldgrößen	92
10.5.1	Magnetische Feldstärke H	92
10.5.2	Magnetische Flussdichte B	92

10.5.3	Magnetischer Fluss Φ	93
10.5.4	Durchflutungsgesetz	94
10.5.5	Magnetischer Kreis	95
10.6	Magnetische Eigenschaften der Materie	97
10.6.1	Wirkung des Ferromagnetismus	97
10.6.2	Wirkung des paramagnetischen Stoffes	98
10.6.3	Wirkung des Diamagnetismus	98
11	Veränderliche magnetische Felder	99
11.1	Das Induktionsgesetz	99
11.1.1	Rotatorische Induktion	101
11.1.2	Transformatorische Induktion	101
11.1.3	Lenzsche Regel	102
11.2	Induktivität und Selbstinduktion	103
11.3	Gegeninduktivität und Gegeninduktion	103
11.4	Zusammenschaltung von Induktivitäten	109
11.4.1	Reihenschaltung	109
11.4.2	Parallelschaltung	110
11.5	Beispiele: Magnetische Felder	110
11.6	Wirbelstrom und Skineffekt	111
11.6.1	Wirbelstrom	111
11.6.2	Skineffekt	111
11.7	Auf- und Entladevorgänge bei Induktivität	112
11.8	Magnetische Energie	113
11.9	Anwendung von Spulen	114
12	Grundbegriffe der Wechselstromtechnik	115
12.1	Kenngrößen von Wechselstrom	116
12.2	Einführung in das Rechnen mit komplexen Zahlen	119

12.2.1	Begriffe und Rechenregeln	119
12.2.2	Rechenregeln für komplexe Zahlen	120
12.3	Komplexe Größen der Wechselstromtechnik	121
12.4	Einfache Sinusstromkreise	122
12.4.1	Wechselspannung und -strom am Ohmschen Widerstand . .	122
12.4.2	Wechselspannung und -strom an einer Induktivität	123
12.4.3	Wechselspannung und -strom am Kondensator	123
12.5	Berechnung von Sinusstromnetzwerken	124
12.5.1	Reihenschaltung	124
12.5.2	Parallelschaltung	127
12.6	Leistungen im Wechselstromkreis	130
12.6.1	Blindstromkompensation	132
12.6.2	Leistungsfaktor	133
12.6.3	Beispiel: Leistungen	134
13	Drehstromtechnik	137
13.1	Arten der Drehstromsysteme, Bezeichnungen	137
13.2	Schaltungen der Drehstromsysteme	138
13.3	Schaltungen des Verbrauchers	144
13.4	Unsymmetrische Drehstromsysteme	146
13.5	Verkettungsfaktor	148
13.6	Leistungen in der Drehstromtechnik	148
13.7	Beispiel: Verbraucherströme	149
14	Normen und Vorschriften	151
14.1	Begriffe, Definitionen und Normen	151
14.2	Übersicht und Bedeutung über die Normen und Vorschriften . . .	154
14.2.1	DIN Deutsches Institut für Normung e.V.	154

14.2.2	DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik im DIN und VDE	155
14.2.3	DKE-Normungsarbeit	156
14.2.4	Arbeitsgruppen (Working Groups)	157
14.2.5	VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informations- technik e.V.	158
14.2.6	DIN-VDE-Normen	159
14.2.7	Institutionen, Verordnungen, Gesetze, Normen und techni- sche Vorschriften	159
15	Planung von Elektroanlagen	161
15.1	Art der Einspeisung	161
15.2	Leistungsbedarfsberechnung	162
15.3	Grundlagen der Elektromobilität	168
15.4	Elektrische Anlagen in Wohngebäuden	170
15.4.1	Begriffe	171
15.4.2	Elektrische Anlagen in Wohngebäuden DIN 18015 Teil 1 - Planungsgrundlagen	171
15.4.3	Elektrische Anlagen in Wohngebäuden DIN 18015 Teil 2: Art und Umfang der Mindestausstattung	177
15.4.4	Elektrische Anlagen in Wohngebäuden DIN 18015 Teil 3: Leitungsführung und Anordnung der Betriebsmittel	182
15.5	Elektrotechnische Anforderungen	185
16	Installationstechnik	187
16.1	Gesetzliche, behördliche und privatrechtliche Regelungen und Nor- men	187
16.2	Betriebsmittelvorschriften	191
16.2.1	Beleuchtung	191
16.2.2	Elektrische Installationen	192
16.2.3	Arbeitsplatzinstallationen	192

16.3 Starkstromanlagen	193
16.4 Empfangs- und Verteilanlage für Ton- und Fernsehrundfunk	197
16.5 Kommunikationsanlagen	198
16.6 Installationsbus (KNX/EIB)	198
16.7 Installationsplan	201
16.8 Übersichtsschaltplan	201
16.9 DIN Normen	204
16.9.1 Haus-Anschlusseinrichtungen nach DIN 18012	204
16.9.2 Zählerplätze für Elektrizitätszähler	205
16.9.3 Schutzpotentialausgleich	206
16.10 Erdungsanlagen nach DIN VDE 0100-540	210
16.10.1 Auswahl und Errichtung von Erdungsanlagen	211
16.10.2 Erdungsarten	212
16.10.3 Fundamenterder nach DIN 18014	212
16.11 Leitfaden für die Gebäudeplanung	213
17 Schutzkonzepte	217
17.1 Begriffe und Benennungen	217
17.2 Physikalische Einwirkungen	218
17.3 Physiologische Einwirkungen	219
17.4 Wirkungen des elektrischen Stromes	219
17.5 Schutzkonzept	220
17.6 Art der Erdverbindung, Schutz durch automatische Abschaltung	220
17.6.1 TN-Systeme	222
17.6.2 TT-Systeme	223
17.7 Abschaltzeiten	224
17.8 Schutzklassen	225
17.9 Schutzart	226

17.10 Fehlerberechnung	227
17.10.1 Berechnung eines TN-Systems	227
17.10.2 Berechnung eines TT-Systems	228
18 Niederspannungsschutzeinrichtungen	231
18.1 Leitungsschutzschalter (MCB)	232
18.2 Planungsgrundlagen von Schutzgeräten	232
18.3 Schmelzsicherungen	235
18.4 RCD (Fehlerstromschutzschalter)	236
18.5 Auswahl und Installation von RCDs	237
18.6 Anwendung der RCD in Wohngebäuden	238
18.7 Hauptleitungs-Schutzschalter	239
18.8 Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtung (AFDD)	239
18.9 Leistungsschalter (MCCB)	241
18.10 Auslöser/Schutzfunktion des Leistungsschalters	242
19 Übertragungsmittel	245
19.1 Freileitungen	245
19.2 Kabel und Leitungen	246
19.3 Kurzschlussbelastbarkeit von Kabeln	251
20 Kenngrößen elektrischer Leitungen	253
20.1 Wirkwiderstand	253
20.2 Induktivität	254
20.3 Kapazität	255
21 Grundregeln der Kabeldimensionierung	257
21.1 Schutz von Kabeln und Leitungen	258
21.2 Allgemeine Anforderungen	259

21.3	Überstromanwendungen	261
21.4	Technische Anschlussbedingungen	261
21.5	Anordnung der Schutz-Einrichtungen	263
21.6	Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen	264
21.7	DIN VDE 0100-520 Beiblatt 2	272
21.8	Kabeldimensionierung	273
21.9	Funktionserhalt von Kabeln und Leitungen im Brandfall	275
21.9.1	Grundlegende Anforderungen	275
21.9.2	Funktionserhalt der Leitungen	275
21.9.3	Dauer des Funktionserhaltes	275
21.10	Kabelschottung	276
21.11	Kabeltragsysteme	277
21.12	Befestigungssysteme	277
21.13	Montagesysteme	278
21.14	Kabelrinnensysteme	278
21.15	Überbelegung einer Kabeltrasse	279
21.16	Brandschutz	280
21.17	Akustik	282
22	Spannungsfall in elektrischen Anlagen	283
22.1	Spannungsfall im Gleichstromnetz	284
22.2	Spannungsfall im Wechselstromnetz	285
22.3	Spannungsfall im Drehstromnetz	287
23	Erdungsanlagen	289
23.1	Begriffe	289
23.2	Erdungsarten	291
23.3	Bedeutung des Schutzpotentialausgleichs	296
23.4	Beispiele für Erdung	299

23.4.1	Beispiel: Erdung des Transformatorgebäudes	299
23.4.2	Beispiel: Erdung eines Gebäudes	300
24	Blitzschutzanlagen	301
24.1	Begriffe und Definitionen	301
24.2	Planung von Blitzschutzanlagen	304
24.3	Blitzschutzklassen	307
24.3.1	Erdungsanlage	309
24.3.2	Werkstoff, Form und Mindestmaße von Erdern	311
24.4	Trennungsabstand	316
24.5	EMV-Blitzschutz-zonen-Konzept	318
24.5.1	Planungsangaben zu Überspannungsableitern	321
24.5.2	Anforderungsklassen für Überspannungsschutz- einrichtungen	322
24.6	Prüfungsmaßnahmen	323
24.7	Montagebeispiel	325
24.8	Dokumentation	326
25	Tages- und Kunstlicht	329
25.1	Begriffe und Definitionen	329
25.2	Beleuchtungskonzepte	332
25.3	Lichttechnische Gütemerkmale	334
25.4	Wartungswert der Beleuchtungsstärke	334
25.5	Beleuchtungsstärken	335
25.6	Begrenzung der Direktblendung	336
25.7	Beleuchtungsarten	337
25.7.1	Allgemeinbeleuchtung	337
25.7.2	Arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung	337
25.7.3	Einzelplatzbeleuchtung	337

25.8	Lichttechnische Anforderungen	337
25.9	Auswahl und Errichtung der Betriebsmittel	338
25.10	Beleuchtungsplanung	339
25.10.1	Berechnung mit der Lichtstärkemethode	340
25.10.2	Lichtstrommethode (Wirkungsgradverfahren)	341
25.10.3	Wirkungsgrade	343
25.10.4	Richtwerte für die Beleuchtungsplanung	343
25.11	Leuchten	343
25.12	Tageslichtplanung	344
25.13	Einführung in die LED Beleuchtung	351
26	Schaltanlagen	353
26.1	Transformatoren	353
26.1.1	Hauptbauformen	353
26.1.2	Belüftung von Tranformatoren	355
26.2	Schaltanlagenräume	356
26.2.1	Druckentwicklung in Schaltanlagenräumen	356
26.2.2	Anordnung von Schaltfeldern	357
26.3	Niederspannungsanlagen	360
26.3.1	Verteileraufbau von NS-Schaltanlagen	361
26.3.2	Checkliste für NS-Schaltanlagen	363
27	Planung eines Wohngebäudes	365
27.1	Einleitung	365
27.2	Wohnsituation	365
27.3	Einspeisung	366
27.4	Übersicht des Verteilungssystems	366
27.5	Hausanschluss	366
27.6	Zählerplätze und Räume	366

27.7 Unterverteiler	369
27.8 Stromkreisverteilung	369
27.9 Festlegung des Ausstattungswertes	369
27.10 Kommunikationstechnik	370
27.11 Brandschutz und Sicherheitstechnik	370
27.12 Anschlusswerte und Verbraucher-Tabelle	370
27.13 Festlegung der Bemessungswerte von Leitungen	371
27.14 Erdungsanlagen	371
27.15 Blitzschutz	371
27.16 Auslegung der Unterverteiler	372
27.17 Zusätzlicher Schutz durch RCDs	372
27.18 Vergleich der Berechnungen mit Simaris	373
27.19 Ermittlung des Leistungsbedarfs	373
27.20 Auslegung der Endstromkreise	377
27.21 Dimensionierung der Anlage	377
27.22 Berechnung des Spannungsfalls	378
27.23 Berechnung der Abschaltbedingungen	379
27.24 Selektivität	381
Literaturverzeichnis	383
Stichwortverzeichnis	391

Formelzeichen

A	Fläche, Querschnitt
a	Beschleunigung, Abstand
B	magnetische Flussdichte
B	Blindleitwert
b	Breite
C	Kapazität oder Konstante
c	Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
d	Durchmesser oder Abstand der Leiter
d	Abstand der Ladung Q_1 zu Q_2
D	elektrische Flussdichte
E	elektrische Feldstärke
e	Elementarladung
e	Basis des natürlichen Logarithmus
F	Kraft
f	Frequenz
G	Wirkleitwert, Leitwert
H	magnetische Feldstärke
H_c	Koerzitivfeldstärke
h	Höhe
I	elektrische Stromstärke
i	Augenblickswert des Stromes
j	imaginäre Einheit
J	Stromdichte
κ	spezifischer Leitwert
L	Induktivität
l	Länge
m	Masse
M	Drehmoment

N	Windungszahl
n	Drehzahl
P	Wirkleistung
Q	Blindleistung, elektrische Ladung
R	elektrischer Widerstand
r	Radius
S	Scheinleistung
S	Querschnitt
s	Streufaktor
T	Periodendauer
t	Zeit
U	elektrische Spannung
u	Augenblickswert der Spannung
V	Volumen
v	Geschwindigkeit
W	Energie, Arbeit
W_m	magnetische Feldenergie
X	Blindwiderstand, Reaktanz
Y	Scheinleitwert
\underline{Y}	komplexer Leitwert (Admittanz)
Z	Scheinwiderstand, Impedanz
\underline{Z}	komplexer Widerstand (Impedanz)
α	Winkel
ϵ	Permittivität
ϵ_0	elektrische Feldkonstante
ϵ_r	Permittivitätszahl
η	Wirkungsgrad
Θ	Durchflutung
ϑ	Temperatur
λ	Leistungsfaktor
Λ	magnetischer Leitwert
μ	Permeabilität
μ_0	magnetische Feldkonstante
μ_r	Permeabilitätszahl
ρ	Dichte
ρ	spezifischer Widerstand
σ	Streuung
τ	Zeitkonstante
Φ	magnetischer Fluss
φ	Potential, Phasenwinkel
Ψ	elektrischer Fluss
ω	Winkelgeschwindigkeit

ω	Kreisfrequenz
κ	spezifischer Leitwert, Stoßfaktor
ρ_m	Dichte des Leitungsmaterials
$\cos \varphi$	Verschiebungsfaktor, Wirkfaktor
$\sin \varphi$	Blindfaktor

Abkürzungen

<i>Al</i>	Aluminium
<i>As</i>	Arsen
<i>ASR</i>	Arbeitsstättenrichtlinien
<i>B</i>	Bor
<i>BGV</i>	Berufsgenossenschaftliche Vorschriften
<i>BKZ</i>	Baukostenzuschuss
<i>CEE</i>	Commission on the Rules for the Approval of the Electrical Equipment (Steckersystem)
<i>Cl</i>	Clor
<i>CGPM</i>	Generalkonferenz für Maß und Gewicht
<i>DIN</i>	Deutsches Institut für Normung
<i>DS</i>	Dauerschaltung
<i>EMV</i>	Elektromagnetische Verträglichkeit
<i>ETSI</i>	European Telecommunications Standards Institute
<i>Ga</i>	Gallium
<i>G</i>	Generator
<i>HAK</i>	Hausanschlusskasten
<i>HEK</i>	Haupterdungsklemme
<i>HOAI</i>	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
<i>In</i>	Indium
<i>K, L, M, N</i>	Schale des Atommodells
<i>KNX</i>	Feldbus für die Gebäudeautomation
<i>LS</i>	Leistungsschalter
<i>LTS</i>	Lasttrennschalter
<i>LED</i>	Leuchtdioden
<i>LWL</i>	Lichtwellenleiter
<i>MCB</i>	Leitungsschutzschalter
<i>MLAR</i>	Muster Leitungsanlagen Richtlinie

<i>MSR</i>	Mess,- Steuer- und Regelungstechnik
<i>Na</i>	Natrium
<i>NB</i>	Netzbetreiber
<i>NS</i>	Niederspannung
<i>NTC</i>	Heißleiter
<i>PTC</i>	Kaltleiter
<i>P</i>	Phosphor
<i>RCD</i>	Fehlerstrom-Schutzeinrichtung
<i>Si</i>	Silizium
<i>Sb</i>	Antimon
<i>SI</i>	internationales Einheitensystem
<i>SA</i>	Schutzart
<i>SK</i>	Schutzklasse
<i>SPA</i>	Schutzpotentialausgleich
<i>SS</i>	Sammelschiene
<i>UGR</i>	Unified Glare Rating-Verfahren (Blendwert)
<i>USV</i>	Ununterbrochene Stromversorgung
<i>ÜSE</i>	Überstromschutz-Einrichtung
<i>UW</i>	Umspannwerk
<i>TN</i>	Art der Erdung
<i>TT</i>	Art der Erdung
<i>V</i>	Verbraucher
<i>VdS</i>	Verband deutscher Sachversicherer

Indizes

ac	Wechselstrom (Alternating Current)
dc	Gleichstrom (Direct Current)
e	Elektron
f	fiktiv
n	Nennwert
r	Bemessungswert
G	Generator, Wirkleitwert, Gesamt
HV	Hochspannung (High Voltage)
LV	Niederspannung (Low Voltage)
L	Leitung
K	Kabel, Kurzschluss
L1, L2, L3	Leiter des Drehstromnetzes
N	Neutralleiter
M	Motor
MV	Mittelspannung (Medium Voltage)
N	Neutralpunkt des Drehstromnetzes
p	Proton
Q	Anschlusspunkt der Netzeinspeisung
str	Strang
T	Transformator
–	Gleichstrom
~	Wechselstrom
Δ	Dreieckschaltung
Y	Sternschaltung



1 Einleitung

Die integrierte Planung von Gebäuden umfasst die Konzeption, Planung, Vorbereitung und Koordination der Ausführung, den Betrieb sowie die Modernisierung gebäudetechnischer und gebäudeklimatischer Systeme. Eine besondere Herausforderung ist dabei die Abstimmung der einzelnen Gewerke untereinander.

Dazu gehören im Wesentlichen Heizung, Lüftung, Klima- und Kältetechnik, Brandschutz, Einbruchschutz, Gebäudeleittechnik und elektrische Energieverteilung. Das Gebäude muss dabei ganzheitlich betrachtet und die Funktionalität der Prozesse definiert werden.

Die Gebäudeautomatisierung und der Vernetzungsgrad zwischen den einzelnen Gewerken nehmen immer stärker zu. Dadurch können die Kosten für Investor, Nutzer und Betreiber des Gebäudes reduziert werden. Während der Planung eines Vorhabens müssen die Elektroinstallationen von Anfang an berücksichtigt werden.

Dieses Buch soll den Architekten, Bauingenieuren und Gebäudetechnikern helfen, die Komponenten der elektrischen Gebäudeausrüstung, der Energieverteilung und der Energieverbraucher besser zu verstehen.

Die nachfolgende Zusammenstellung gibt einen Überblick über die Teilgewerke der Elektrotechnik mit Anmerkungen [1], [2].

1. Mittelspannungsanlagen (Standort und Spannungshöhe),
2. Transformatoren (Standort und Bemessungsleistung),
3. Niederspannungshauptverteilungen (Standort und Abmessungen),
4. Kabel und Leitungen (Länge und Querschnitte),
5. Netzersatzanlagen/USV (Standort, Verbraucherart und Anschlussleistungen),
6. Erdungsanlagen und Schutzpotentialausgleich (Erdungsart),
7. Verlegesysteme von Kabel und Leitungen,
8. Installationsgeräte (Anforderungen),

9. Gebäudeautomation/Bussysteme (Schnittstellen, Anzahl der Daten, Art der Mess- und Regeltechnik),
10. Sonnenschutz (Steuerung und Umfang),
11. Blitzschutzanlagen, Überspannungsschutz (Anforderungen, Integration in das Gebäude)
12. Allgemeinbeleuchtung/Tageslichtnutzung (Anschlussleistungen, Raumplan),
13. Sicherheitsbeleuchtung (Anschlussleistungen, Raumplan),
14. Brandschutz- und Einbruchmeldeanlagen (Standort und Leistung),
15. Zutrittskontrollen/Zeiterfassung,
16. Antriebstechnik (Anschlussleistungen, Aufzüge, Pumpen, Anlaufverhalten)
17. Sprechanlagen (Anschlussleistungen, Ort),
18. ELA-Anlagen (Anschlussleistungen, Ort),
19. TV- und Antennenanlagen (Anschlussleistungen, Ort),
20. Uhrenanlagen (Anschlussleistungen, Ort),
21. LAN-Schränke und Datentechnik (Anschlussleistungen, Ort),
22. Heizung, Lüftung und Klimatechnik (elektrische Leistung, Standort).

Bild 1.1 gibt einen Gesamtüberblick der Systemkomponenten der wichtigsten konventionellen Betriebsmittel elektrischer Energieversorgungsnetze, die zu Beginn erläutert werden. Die einfache Beschreibung und Zusammenhänge wird in den darauf folgenden Kapiteln vermittelt.

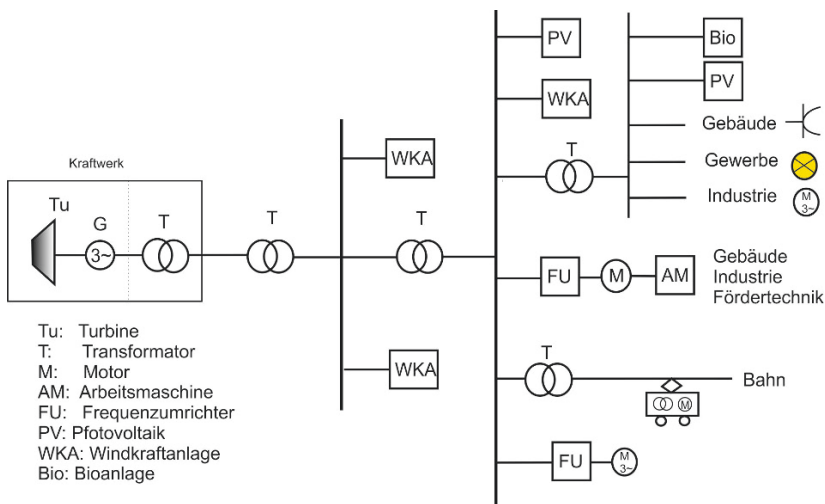


Bild 1.1: Elektrische Energiewandlung

Elektrische Energie wird in Kraftwerken durch Energieumwandlung bereitgestellt. Dabei werden Drehstromgeneratoren durch Wasser-, Dampf-, Gas- oder Windturbinen angetrieben. Die Spannung des Generators wird dann durch Blocktransformatoren hochtransformiert und über Übertragungsfreileitungen übertragen. Die Netztransformatoren verbinden die Verteilungsnetze mit unterschiedlichen Spannungen der Verbraucheranlagen. Der größte Teil der erzeugten Elektroenergie wird in Beleuchtungsanlagen und in elektrischen Asynchronmotoren in mechanische Energie umgewandelt.

Der Drehstrom-Transformator ist ein Betriebsmittel zur Übertragung und zum Transport von elektrischer Energie. Er besteht aus galvanisch getrennten Wicklungen auf einem Eisenkern, der mit einem oberen und unteren Joch miteinander verbunden ist. Die Transformatoren werden als Öl- oder Trockentransformatoren hergestellt.

Zur Übertragung dienen die Freileitungen, Kabel oder Sammelschienen. Bei Hoch- und Höchstspannungsleitungen werden Aluminium-Stahl-Seile verwendet. Die Bauform und das Material der Freileitungsmasten sind Holz-, Beton- und Stahlgittermasten. In Niederspannungsanlagen kommen Starkstrom-Kabel aus Kupfer oder Aluminium zum Einsatz. Die Grundtypen von Starkstrom-Kabeln sind Einleiter-Kabel, Gürtel-Kabel und Dreimantel-Kabel.

Kondensatoren werden in elektrischen Energieversorgungsnetzen zur Blindleistungskompensation eingesetzt. Der Leistungsfaktor der Anlage wird mindestens nach technischen Anschlussbedingungen (TAB) auf 95% erhöht. In Hochspannungsnetzen kommen reihen- oder parallel geschaltete Kondensatoren vor.

Für einen sicheren und zuverlässigen Betrieb einer Energieversorgungsanlage müssen außerdem Schalt- und Schutzgeräte wie Leistungsschalter, Lastschalter, Trenner und Sicherungen installiert werden.

Weitere Betriebsmittel sind die Stromrichter, die in der Leistungselektronik zum Einsatz kommen. Gleich- oder Wechselrichter bei PV-Anlagen, Windkraftanlagen, USV-Anlagen oder Haushaltgeräte sind heute nicht mehr wegzudenken.

Im **Bild 1.2** ist ein Niederspannungssystem beispielhaft mit einem Motor und einer Steckdose gezeigt, die zwischen den Außenleitern bzw. dem Außenleiter und dem Neutralleiter angeschlossen sind. Eine Niederspannungsanlage wird normalerweise von der Hochspannung mit 20 kV oder 10 kV versorgt. Die Transformatoren werden direkt geerdet. Das Energieversorgungssystem wird entweder mit einem Vierleiter- oder Fünfleiter-System herausgeführt. Die Niederspannung beträgt 400 V/230 V, 50 Hz.

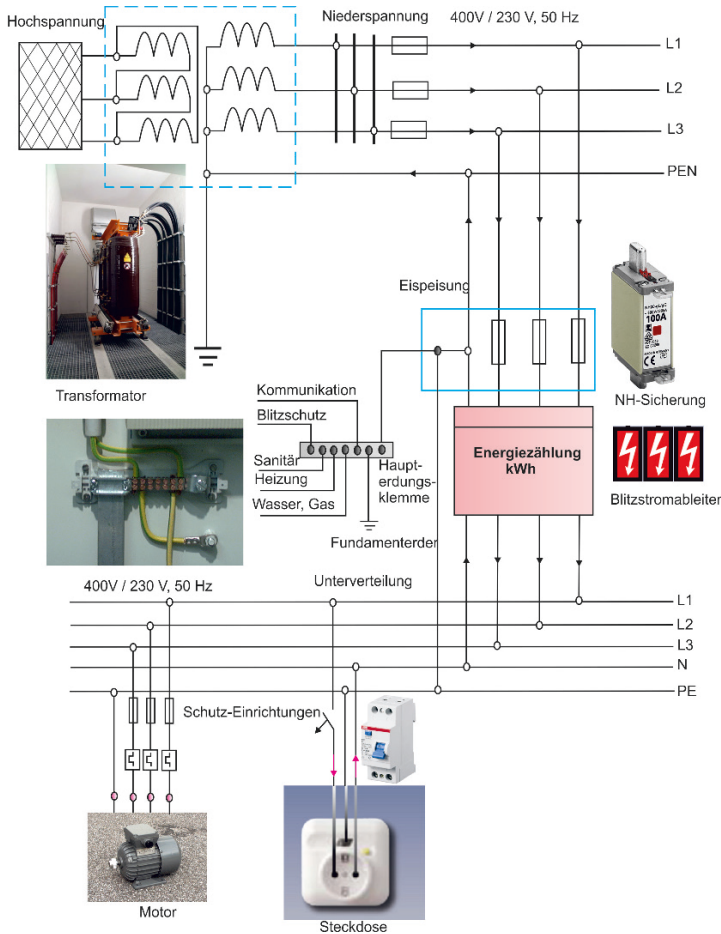


Bild 1.2: Drehstromsystem



2 Einführung in die Elektrotechnik

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Grundlagen der Elektrotechnik beschrieben und ein Überblick über die Zusammenhänge der einzelnen Komponenten gegeben [1], [3], [5].

1. die elektrischen Komponenten der Elektrotechnik,
2. die Bedeutung der Elektrizität,
3. die Anwendungsgebiete der Elektrizität und
4. die Grundformeln.

Elektrotechnik und Mathematik sind zwei Fächer, vor denen man als Student und Studentin am meisten Angst hat. Elektrotechnik kann man nicht mit unseren Sinnesorganen wahrnehmen. Die elektrischen und magnetischen Erscheinungen der Elektrotechnik sind überall sichtbar. Ihre Auswirkungen erleben wir tagtäglich im Haushalt und in der Industrie.

Wir alle kennen die Begriffe **Strom, Spannung, Widerstand** und **Leistung**. Sie werden auch außerhalb der Elektrotechnik im täglichen Leben verwendet. Wir wissen auch, dass Strom sehr nützlich, aber auch gefährlich ist, wenn man mit ihm in Berührung kommt.

Wie kann man Elektrotechnik beschreiben?

Elektrotechnik ist die Wissenschaft von der technischen Anwendung der Elektrizität. Wir können nur die Auswirkungen erkennen.

Was ist die Elektrizität?

Elektrizität beschreibt alle Vorgänge und Erscheinungen in der Natur und in der Technik, die von elektrischen Ladungen und Strömen und damit verbundenen elektrischen und magnetischen Feldern hervorgerufen werden. Schon die alten