



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für elektrotechnische, elektronische,
mechatronische und informations-
technische Berufe

Tabellenbuch Elektrotechnik

Tabellen

Formeln

Normenanwendungen

30. neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Bearbeitet von Lehrern und Ingenieuren an beruflichen Schulen,
Technischen Hochschulen und Produktionsstätten (siehe Rückseite)

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

Europa-Nr.: 30103

Europa-Nr.: 30548 XL mit Keycard

Autoren des Tabellenbuchs Elektrotechnik:

Häberle, Gregor	Dr.-Ing., Abteilungsleiter	Tettngang
Häberle, Heinz †	Dipl.-Gewerbelehrer, VDE	Kressbronn
Häberle, Konstantin	MSc ETH ETIT	London
Häberle, Verena	MSc ETH ETIT	Zürich
Isele, Dieter	Ing. (HTL), Berufsschullehrer	Lauterach
Jöckel, Hans-Walter	Dipl.-Ing. (FH), Oberstudienrat	Friedrichshafen
Krall, Rudolf	Dipl.-Päd., Ing., Berufsschuloberlehrer	St. Leonhard
Schiemann, Bernd	Dipl.-Ing.	Durbach
Schmid, Dietmar	Dipl.-Ing., Studiendirektor	Biberach a. d. Riß
Schmitt, Siegfried	staatl. gepr. Techniker, Techn. Oberlehrer	Bad Bergzabern
Tkocz, Klaus	Dipl.-Ing. (FH)	Kronach

Leitung des Arbeitskreises:

Dr.-Ing. Gregor Häberle, Tettngang

Herr Heinz O. Häberle hat dieses Werk in der ersten Auflage 1966 mitgegründet, als Lektor und Autor weiterentwickelt und geprägt bis zu seinem Tod in 2017. Durch seine vielfältigen schriftstellerischen Werke unterstützte er junge Menschen in ihrer Aus- und Weiterbildung im Bereich der Elektrotechnik über Jahrzehnte hinweg. Dafür sind wir ihm dankbar.

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Auszüge aus DIN-Normen mit VDE-Klassifikation sind für die angemeldete limitierte Auflage wiedergegeben mit Genehmigung 462.021 des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. und des VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.. Für weitere Wiedergaben oder Auflagen ist eine gesonderte Genehmigung erforderlich.

Maßgebend für das Anwenden der Normen sind deren Fassungen mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der VDE VERLAG GMBH, Bismarckstr. 33, 10625 Berlin, www.vde-verlag.de, und der Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, erhältlich sind.

30. Auflage 2022

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-3076-4

ISBN 978-3-8085-3078-8 XL, mit Freischaltcode für das „Tabellenbuch interaktiv“

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

© 2022 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt
Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
Umschlagbilder: Icons: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt;
Weltkugel: © erdquadrat-stock.adobe.com
Druck: Himmer GmbH, 86167 Augsburg



Grundlagen, Physik, Bauelemente

Übersicht 11

G



Technische Dokumentation, Messen

Übersicht 67

TM



Elektrische Installation

Übersicht 133

EI



Sicherheit, Energieversorgung

Übersicht 233

SE



Informations- und Kommunikationstechnik

Übersicht 349

IK



Automatisierung, Antriebe, Steuern und Regeln

Übersicht 405

AS



Werkstoffe, Verbindungen

Übersicht 505

W



Betrieb und Umwelt

Übersicht 539

BU

Die Weiterentwicklungen der Technik infolge **Digitalisierung**, Industrie 4.0 und **Klimaschutz** sowie auch der **Normen** hinsichtlich z.B. Sicherheit, Prüfen, Ennergieeffizienz führten zu einer Überarbeitung und Erweiterung dieses Buchs als **Kompodium** inklusive aller wichtigen **Formeln** für Auszubildende sowie für Praktiker. Dabei stand im Vordergrund, notwendiges **Wissen** bereitzustellen und die bestmögliche **Vorbereitung auf Prüfungen** zu gewährleisten. Neue und aktualisierte Inhalte sind nachstehend *kursiv* (schräg) gedruckt.

- Teil G** Formelzeichen, Größen und Einheiten, mathematische Zeichen, Vorsätze, Kraft, Drehmoment, Arbeit, Leistung, Wärme, Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand, Potenziometer, Wechselgrößen, Drehstrom, unsymmetrische Belastung bei Drehstrom, Widerstände, Kondensatoren, Dioden, Transistoren, Thyristoren, magnetfeldabhängige Bauelemente.
- Teil TM** Technisches Zeichnen, *Geometrische Produktspezifikation*, Stromkreise, Schaltzeichen, Schaltpläne, *Referenzkennzeichnung*, Dokumentation, Betriebsanleitung, *Messgeräte*, Messkategorien, *Messen in elektrischen Anlagen*, eHZ, hydraulische/pneumatische Elemente, Symbole der Verfahrenstechnik, *Fließbilder für PCE, AC/DC-Größenerfassung, Sensoren, Lichtschranken*.
- Teil EI** **Elektrische Installation** *Qualifikationen für elektrotechnische Arbeiten*, Arbeiten in elektrischen Anlagen, *Installationsschaltungen*, Sprechanlagen, *Planungsgrundsätze für elektrische Anlagen, Mindestausstattung von Anschlüssen und Kommunikationsanlagen in Wohngebäuden*, Leiter für Schutzmaßnahmen, Verteilungssysteme, Dimmertypen, Dimmen von LEDs, Gebäudeleittechnik und Gebäudesystemtechnik, Gebäudeautomation, *DALI, Smart-Home-Anlagen, Komponenten zur Funksteuerung*, Aufbau von Schaltschränken, Hausanschluss und Aufteilung des PEN-Leiters, Leitungsberechnung, *Spannungsfall, Oberschwingungen, Überstrom-Schutzeinrichtungen*, Leitungsführung, *Elektroinstallationen*, Lichttechnik, LED-Leuchtmittel, *LED-Leuchtröhren, Lichtwerbeanlagen*.
- Teil SE** **Sicherheit, Energieversorgung** Arbeitssicherheit, Stromgefährdung durch DC, Basisschutz, Fehlerschutz, zusätzlicher Schutz, Fehlerströme, *Koordination der Betriebsmittel, RCD, RCM, AFDD, Prüfungen von Schutzmaßnahmen, Geräten, Maschinen, Anlagen und nach Instandsetzungen, Prüfrisiten*, Kraftwerksarten, HGÜ, Stromhandel, explosionsgeschützte Betriebsmittel, IC-Code, IK-Code, Isolierstoffklassen, Transformatoren, Freileitungssysteme, *Schalter in Energienetzen*, Erdkabel, *PV-Anlagen und deren Blitzschutz*, Brennstoffzellen, Primärelemente, Akkumulatoren, SSV-Anlagen, *Ladestationen für Elektrofahrzeuge, EMV und Potenzialausgleich*, Blitzschutz, Kompensation, Messen von Oberschwingungen, Regelung der Netzspannung und Netzfrequenz, Sicherheitstechnik, *Brandschutz und Leitungsanlagen*, Energy Harvesting, *Energiemanagement, Elektrische Energieeffizienz*.
- Teil IK** **Informations- und Kommunikationstechnik** Zahlensysteme, Codes, Kippschaltungen, *PC-Hauptplatine, Betriebssysteme*, Excel, *Digitalisierung*, Industrie 4.0, *IoT*, DA-/AD-Umsetzer, Modulation/Demodulation, Netze der Informationstechnik, *Trennklassen der Kommunikationsverkabelung, Ethernet, Funk-LAN, AS-i-Bussysteme, M-Bus und Smart Metering*, 3D-Drucker, Netzwerkkommunikation, *PROFINET*, Identifizierungssysteme, *Internet*, Fernwirken, Fernwarten, *Störungen bei der Funkübertragung*, Antennenanlagen, SAT-Anlagen, Satellitenempfang.
- Teil AS** **Automatisierung, Antriebe, Steuern und Regeln** Operationsverstärker, Stromrichter, Schaltnetzteile, Steuerrelais, *speicherprogrammierbare Steuerungen SPS, TIA-Portal, GRAFCET*, elektrische Ausrüstung von Maschinen, *funktionale Sicherheit SIL*, Schütze, Hilfsstromkreise von Steuerungen, elektropneumatische Steuerungen, Motorschutz, Regelungstechnik, *Bode-Diagramm, Drehstrommotoren*, Wechselstrommotoren, Gleichstrommotoren, *Effizienz von Antrieben*, Servomotoren, Kleinstmotoren, Linearantriebe, Frequenzumrichter, *Sicherheitsfunktionen*, elektronische Grenzaster, Softstarter.
- Teil W** **Werkstoffe, Verbindungstechnik** Periodensystem, Stoffwerte, Stahlnormung, Magnetwerkstoffe, Isolierstoffe, *Leitungen, Lichtwellenleiter*, Erdkabel, Steckverbinder, Cat-7-Steckverbindungen, lötfreie Anslusstechnik, *Installationsrohre und -dosen*, Gewinde, Schrauben, Muttern.
- Teil BU** **Betrieb und Umfeld** Organisationsformen, Arbeiten im Team, Arbeitsplanung, Kosten/Kennzahlen, Durchführung von Projekten, Umgang mit Konflikten, Kommunikation mit Kunden, *Gesetze für Arbeitsschutz, Betriebssicherheit, Umweltschutz*, Qualitätsmanagement, statistische Auswertungen, gefährliche Stoffe, *Klimaschutz, Normen, Kurzformen*, fachliches Englisch, *Formelumstellungen*.

Normänderungen wurden übernommen. Allgemein ist zu beachten, dass vielfach die Normen verschiedene Formeln zulassen, z.B. in DIN EN 61082 (Dokumente der Elektrotechnik, Regeln) Stromverzweigung mit oder ohne „Punkt“. Davon wurde, wie in der beruflichen Praxis, auch im Buch Gebrauch gemacht.

Verlag und Autoren danken für die zahlreichen Benutzerhinweise, die zu einer weiteren Verbesserung des Buchs führten. Gerne nehmen wir auch künftig konstruktive Verbesserungsvorschläge dankbar entgegen. Diese können auch per E-Mail an lektorat@europa-lehrmittel.de gesendet werden.

Vorwort zur 30. Auflage	4	Gleichrichterbegriffe	61
Lernfelder, Hauptabschnitte des Buches, Prüfungsteile	10	Magnetfeldabhängige Bauelemente	62
Teil G: Grundlagen, Physik, Bauelemente	11	Fotoelektronische Bauelemente	63
Formelzeichen dieses Buches	12	Schutzbeschaltung von Dioden und Thyristoren ..	64
Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches	13	Bauelemente für Überspannungsschutz	65
Formelzeichen für drehende elektrische Maschinen	14	Kühlung von Halbleiter-Bauelementen	66
Größen und Einheiten	15	Teil TM: Technische Dokumentation, Messen ..	67
Mathematische Zeichen	17	Grafische Darstellung von Kennlinien	68
Potenzen, Vorsätze, Logarithmen, Dreisatzrechnung	18	Allgemeine technische Kommunikation	69
Verstärkung, Dämpfung, Pegel	19	Zeichnerische Darstellung von Körpern	70
Winkel, Winkelfunktionen, Prozentrechnen	20	Maßpfeile, besondere Darstellungen	71
Beziehungen zwischen den Winkelfunktionen ..	21	Maßeintragung	72
Längen und Flächen	22	Maßeintragung, Schraffur	73
Körper und Masse	23	Geometrische Produktspezifikation (GPS)	74
Masse, Kraft, Druck, Drehmoment	24	Schaltpläne als funktionsbezogene Dokumente ..	76
Bewegungslehre	25	Weitere funktionsbezogene Dokumente	77
Mechanische Arbeit, mechanische Leistung, Energie	26	Ortsbezogene und verbindungsbezogene Dokumente	78
Übersetzungen	27	Kennbuchstaben der Objekte (Betriebsmittel) in Schaltplänen	79
Rollen, Keile, Winden	28	Kennzeichnungen in Schaltplänen	80
Wärme	29	Anwenden der Referenzkennzeichnung nach DIN EN IEC 81346 in Anlagen	82
Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand ..	30	Kontaktkennzeichnung in Stromlaufplänen	83
Elektrische Leistung, elektrische Arbeit	31	Stromkreise und Schaltzeichen	84
Elektrisches Feld, Kondensator	32	Allgemeine Schaltzeichen	85
Wechselgrößen, Wellenlänge	33	Zusatzschaltzeichen, Schalter in Energieanlagen ..	86
Leistung bei sinuswechselstrom, Impuls	34	Messinstrumente und Messgeräte	87
Magnetisches Feld, Spule	35	Halbleiterbauelemente	88
Strom im Magnetfeld, Induktion	36	Binäre Elemente	89
Elektrische und magnetische Feldstärken	37	Analoge Informationsverarbeitung, Zähler und Tarifschalengeräte	91
Schaltungen von Widerständen	38	Audiumsetzer, Videoumsetzer und Antennenanlagen	92
Bezugspfeile, Kirchhoff'sche Regeln, Spannungsteiler	39	Schaltzeichen für Installationsschaltpläne und Installationspläne	93
Potenziometer	40	Installationsschaltpläne	95
Ersatzspannungsquelle, Ersatzstromquelle, Anpassung	41	Schaltzeichen für Übersichtsschaltpläne	96
Grundschaltungen von Induktivitäten und Kapazitäten	42	Spulen, Transformatoren, drehende Generatoren Einphasenwechselstrommotoren und Anlasser ..	98
Schalten von Kondensatoren und Spulen	43	Drehstrommotoren und Anlasser	99
Reihenschaltung von R, L, C	44	Motoren mit Stromrichterspeisung	100
Parallelschaltung von R, L, C	45	Vergleich von Schaltzeichen	101
Ersatz-Reihenschaltung und Ersatz- Parallelschaltung	46	Kurzzeichen an elektrischen Betriebsmitteln ..	103
Einfache Filter	47	Hydraulische und pneumatische Elemente	104
Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)	48	Symbole der Verfahrenstechnik	105
Unsymmetrische Last, Netzwerkumwandlung, Brückenschaltung	49	Fließbilder	106
Unsymmetrische gleichartige Belastung bei Dreiphasenwechselstrom	50	Arten von Diagrammen	107
Widerstände und Kondensatoren	51	Erstellen einer Dokumentation über Geräte oder Anlagen	108
Farbkennzeichnung von Widerständen und Kondensatoren	52	Aufbau und Inhalt einer Betriebsanleitung	109
Bauarten von Widerständen und Kondensatoren Anwendungsgruppen und Aufbau von Kondensatoren	53	Elektrische Messgeräte und Messwerke	110
Halbleiterwiderstände	55	Piktogramme für die Messtechnik	111
Dioden	56	Mess-Schaltungen zur Widerstandsbestimmung ..	112
Feldefeffekttransistoren, IGBTs	57	Messbereichserweiterung	113
Bipolare Transistoren	58	AC/DC-Größenerfassung	114
Thyristor	59	Messungen in elektrischen Anlagen	115
Thyristorarten und Triggerdiode	60	Niederspannungs-Leistungsmessgeräte	118
		Elektrizitätszähler, Niederspannungs- Leistungsmessgeräte	119
		Elektronische kWh-Zähler	120
		Elektronische Haushaltszähler eHZ EDL und SMGW	121
		Oszilloskope	122

Messen mit dem Oszilloskop	123	Zählerplatzinstallation	182
Wegmessung und Winkelmessung mit Sensoren	124	Elektrische Mindestausstattung in	
Kraftmessung und Druckmessung mit Sensoren	124	Wohngebäuden, Zählerplätze	183
Bewegungsmessung mit Sensoren	126	Mindestausstattung an Kommunikationsanlagen	
Temperaturmessung mit Sensoren	127	in Wohngebäuden	184
Optoelektronische Näherungsschalter		Leitungsführung in Wohngebäuden	185
(Lichtschranken)	128	Leitungsberechnung ohne Verzweigung	186
Näherungsschalter (Sensoren)	129	Leitungsberechnung mit Verzweigung	188
Ultraschall-Sensoren	130	Induktivitätsbelag und Spannungsfall	189
Weitere Sensoren	131	Überlastschutz und Kurzschlusschutz von	
Anschluss von Näherungssensoren der		Leitungen	190
Steuerungstechnik	132	Maximale Leitungslängen nach Spannungsfall ..	191
Teil EI: Elektrische Installation	133	Verlegearten für feste Verlegung	192
Qualifikationen für elektrotechnische Arbeiten ..	134	Strombelastbarkeiten für Kabel und Leitungen	
Arbeiten in elektrischen Anlagen	135	bei $\vartheta_U = 25^\circ\text{C}$	193
Werkstattausrüstung	136	Strombelastbarkeiten für Kabel und Leitungen	
Leitungsverlegung, Leitungsbearbeitung	137	bei $\vartheta_U = 30^\circ\text{C}$	194
Ausschaltungen, Serienschaltung	138	Strombelastbarkeiten für Kabel und Leitungen ..	195
Wechselschaltung, Kreuzschaltung	139	Ergänzungen zur Strombelastbarkeit	196
Reale Ausführung von Installationsschaltungen ..	140	Umrechnungsfaktoren für die Strombelastbarkeit	197
Treppenlichtzeitschalter, Hausklingelanlage mit		Leitungsberechnung bei Oberschwingungen	198
Türöffner	141	Verteilerstromkreis bei Oberschwingungen	199
Schaltungen mit Stromstoßschaltern	142	Mindest-Leiterquerschnitte, Strombelastbarkeit	
Jalousieschaltungen	143	von Starkstromkabeln	200
Einfache Türsprechanlagen mit Bussystem	145	Überstrom-Schutzeinrichtungen	
Videoanlagen für Hauskommunikation	146	(Niederspannungssicherungen)	201
Ausführungen von Türsprechanlagen	147	Überstrom-Schutzeinrichtungen für Geräte	204
Dimmen konventioneller Lampen	148	Orte mit Badewanne oder Dusche	205
Konventionelle Tastdimmer, Dimmertypen	149	Räume und Anlagen besonderer Art, Arbeiten	
Dimmen von LED-Lichtquellen	150	unter Spannung	206
Lichtmanagement mit DALI	151	Saunaanlagen, Schwimmbecken, begehbare	
Automatikschrter mit Wärmesensor	152	Becken	207
Automatikschrter mit Ultraschall-		Elektroinstallation in feuergefährdeten	
Bewegungssensor	153	Betriebsstätten	208
Elektroinstallation mit Niedervolt-		Elektroinstallation in landwirtschaftlichen	
Halogenleuchtampen	154	Betriebsstätten	209
Feldarme Elektroinstallation	155	Elektroinstallation in medizinisch genutzten	
Gebäudeleittechnik und Gebäudesystemtechnik ..	156	Bereichen	210
Linien und Bereiche beim Installationsbus KNX-		Elektroinstallation in Unterrichtsräumen mit	
TP	157	Experimentiereinrichtungen	212
Schaltzeichen des KNX	158	Elektroinstallation in explosionsgefährdeten	
Systemkomponenten für den KNX-TP	159	Bereichen	213
Sensoren für den KNX-TP	160	Energieversorgung von Werkstätten und	
Aktoren für den KNX-TP	161	Maschinenhallen	214
Installationsbus mit FSK-Steuerung KNX-PL	162	Aufbau von Schaltschränken	215
Projektierung einer Smart-Home-Anlage	163	Lichttechnik	216
Projektierung und Inbetriebnahme beim KNX	164	Planung der Arbeitsstättenbeleuchtung in	
Smart Home mit Busch-free@home	166	Innenräumen	217
Busch-free@home-Komponenten	167	Wartungsfaktoren von	
LON	168	Arbeitsstättenbeleuchtungen	218
LON-Komponenten	169	Berechnung von Beleuchtungsanlagen	219
LCN	170	Beleuchtung und Blendung	220
Elektroinstallation mit Funksteuerung	171	Leuchtstofflampen für AC 230 V	221
Komponenten zur Funksteuerung	173	Temperaturstrahler, Gasentladungslampen	222
Gebäudeautomation über bestehende		Energiesparlampen, Farbwiedergabe	223
Stromleitungen	174	Induktionslampen und Lichtwellenleiter	224
Verteilungssysteme	175	EVG für Leuchtstofflampen	225
Hausanschluss mit Schutzpotenzialausgleich	176	LED-Beleuchtung	226
Hausanschluss und Aufteilung des PEN-Leiters ..	177	LED-Leuchtmittel	227
Leiter für Schutzmaßnahmen	178	LED-Leuchtröhren, LED-Module	228
Fundamenterder im Beton oder in Erde	179	Leuchtstofflampenersatz	229
Planungsgrundsätze für elektrische Anlagen in		Lichttechnische Daten von Leuchten	230
Wohngebäuden	180	Lichtwerbeanlagen für Niederspannung	231
Hauptleitungen in Wohnanlagen	181	Leuchtröhrenanlagen, Kaltkathoden-	
		Fluoreszenzlampen	232

Teil SE: Sicherheit, Energieversorgung 233

Persönliche Schutzausrüstung (PSA),
 Sicherheitsfarben 234
 Zeichen zur Unfallverhütung 235
 Arbeitsschutz, Arbeitssicherheit 239
 Berührungsarten, Stromgefährdung, Fehlerarten
 Weitere Stromgefährdungen 241
 Schutzmaßnahmen, Schutzklassen 242
 Schutz gegen elektrischen Schlag 243
 Differenzstromgeräte RCD, RCM 244
 Fehlerschutz durch automatische Abschaltung
 der Stromversorgung 245
 Weitere Schutzmaßnahmen 247
 Koordination elektrischer Betriebsmittel 248
 Fehlerströme und RCDs bei
 Stromrichterschaltungen 249
 Überwachung der Endstromkreise 250
 Weiterer Fehlerschutz in fachlich überwachten
 Anlagen 251
 Prüfungen nach DIN VDE 0100 Teil 600 252
 Prüfung der Schutzmaßnahmen 253
 Wiederkehrende Prüfungen 255
 Reparatur und Wiederholungsprüfung
 elektrischer Geräte 256
 Prüfen von elektrischen Maschinen und Anlagen
 Transformatoren und Drosselspulen, Prüfung der
 Isolation 262
 Berechnung von Transformatoren 263
 Weitere Betriebsgrößen von Transformatoren 264
 Kleintransformatoren 265
 Isolierstoffklassen, Leistungsschilder von
 Transformatoren 266
 Transformatoren für Drehstrom 267
 Transformatoren in Parallelbetrieb 268
 Netze der Energietechnik 269
 Freileitungen 270
 Freileitungsnetze 271
 Kabel für die Energieverteilung 272
 Schalter in Energienetzen 273
 Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung HGÜ
 Verlegen von Erdkabeln 275
 Kraftwerksarten 276
 Drehende Generatoren 277
 Windkraftanlagen 278
 Eigenerzeugungsanlagen 279
 Fotovoltaik 281
 Fotovoltaikanlagen 282
 Blitz- und Überspannungsschutz bei
 Fotovoltaikanlagen 283
 Prüfungen und Energieermittlung bei
 Fotovoltaikanlagen 284
 Brennstoffzellen 285
 Intelligente Stromnetze 286
 Energieüberwachung in Smart-Grid-Anlagen 287
 Messumformer in Smart-Grid-Anlagen 288
 Stromhandel 289
 Schutzarten elektrischer Betriebsmittel, ENEC-
 Zeichen 290
 Explosionsschutz, ATEX-Kennzeichnung 291
 IK-Code, IC-Code 292
 Elektrochemie 293
 Primärelemente (Batterien) 294
 Akkumulatoren (Sekundärelemente) 295
 Ladetechniken für Akkumulatoren 296
 Energie ernten für Sensoren und Aktoren 297

Notstromversorgung und Notbeleuchtung 298
 Sicherheits-Stromversorgungsanlagen (SSV-
 Anlagen) 299
 USV-Systeme (Unterbrechungsfreie
 Stromversorgungssysteme) 300
 Energieversorgung für Baustellen 301
 Ladestationen für Elektrofahrzeuge 302
 Anschlüsse und Antriebe von Elektrofahrzeugen 303
 Elektromagnetische Verträglichkeit EMV 304
 Elektromagnetische Störungen EMI 305
 Maßnahmen gegen EMIs 306
 EMV und Potenzialausgleich 307
 Innerer Blitzschutz 308
 Äußerer Blitzschutz 309
 Fangeinrichtungen und Ableitungen 311
 Qualität der Stromversorgung 312
 Merkmale der Versorgungsspannung 313
 Oberschwingungen OS 314
 THD-Werte von Oberschwingungen 315
 Messen von Oberschwingungen OS 316
 Regelung der Netzspannung 317
 Regelung der Netzfrequenz 318
 Kompensation 319
 Kompensation der Blindleistung 320
 Melde- und Überwachungsanlagen 322
 Sicherheitstechnik in Gebäuden 323
 Rauchwarnmelder RWM 324
 Brandschutzschalter 325
 Risiko-, Sicherheitsbewertung zum Einsatz von
 AFDDs 326
 Brandschutz 327
 Brandschutztechnische Anforderungen an
 Leitungsanlagen 328
 Brandmeldeanlagen 329
 Gefahrenmeldeanlagen 330
 Einbruchmeldeanlage EMA 331
 Video-Überwachung 332
 Raumheizung 333
 Umschlossene Heizungssysteme 334
 Klimatisierung von Räumen 335
 Klimatisierung von Schaltschränken 336
 Kochstellen für Elektroherde 337
 Warmwassergeräte 338
 Hausgeräte 339
 CE-Kennzeichnung 340
 Elektrische Energieeffizienz 341
 Punktesystem für die Energieeffizienz
 elektrischer Anlagen 342
 Ermittlung des Energieverbrauchskennwertes
 von Gebäuden 343
 Energieeffizienzklasse von Geräten 344
 Energie-Einsparpotenziale 346
 Wärmepumpe 347
 Stromtarife 348

Teil IK: Informations- und Kommunikationstechnik 349

Digitalisierung (Industrie 4.0) 350
 Internet of Things (IIoT und IoT) 351
 Dualzahlen und Binär-codes 352
 Sedezimalzahlen und Oktalzahlen 353
 ASCII-Code und Unicode 354
 Binäre Verknüpfungen 355
 Schaltalgebra 356
 Entwicklung von Schaltnetzen 357

Codeumsetzer	358	Vollgesteuerte Stromrichter	417
Komparatoren und bistabile Kippschaltungen	359	Wechselrichter	418
Digitale Zähler und Schieberegister	360	Gleichstromsteller, U-Umrichter	419
DA-Umsetzer und AD-Umsetzer	361	U-Umrichter mit Zwischenkreis	420
Mikrocomputer	362	Frequenzumrichter auswählen und einrichten	421
PC-Hauptplatine und PC-Anschlüsse	363	Ansteuerschaltungen für Halbleiter	422
Bildschirmgeräte	364	Glättung und Spannungsstabilisierung	423
3D-Drucker	365	Grundlagen der Schaltnetzteile	424
Schnittstellen und Steckverbinder des PC	366	Schaltnetzteile	425
Schnittstellenkopplungen, Schnittstellenkonverter	367	Halbleiterrelais und Sicherheitsrelais	426
Betriebssysteme	368	Steuerungstechnik	427
Windows-10-Tastenkürzel	369	Kleinststeuerung LOGO!	428
Diagrammerstellung in Excel	370	LOGO! 8 mit Ethernet-Schnittstelle	429
Netze der Informationstechnik	371	Signalkopplungen für SPS und Mikrocomputer	430
Netzwerkkommunikation	372	Speicherprogrammierbare Steuerung SPS	431
Komponenten für Datennetze	373	SPS-Programmierung im TIA-Portal	432
Trennklassen der Kommunikationsverkabelung	374	Programmstruktur für SPS	433
Leitungen in Datennetzen	375	Programmieranweisungen für SPS	434
Kommunikationsnetzwerke mit Lichtwellenleiter LWL	376	Boole'sche SPS-Anweisungen	435
Kommunikation bei Ethernet	377	SPS-Programmierung nach DIN EN 61131-3	436
Errichten eines Ethernet-Netzwerks	378	Zähler und Zeitglieder in SPS	437
Power over Ethernet (PoE)	379	Wortverarbeitung bei SPS	438
Industrial Ethernet	380	Bibliotheksfähige SPS-Bausteine	439
Signalübertragung	381	Programmiersprachen Strukturierter Text ST, Ablaufsprache AS	440
Modulation und Demodulation	382	Struktogramme und Programmablaufpläne (PAP)	441
Datenübertragung mittels Funk	383	Ablaufsteuerung mit GRAFCET	442
Funk-LAN	384	Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen	444
Störungen bei Funkübertragungen in Werkstätten	385	Architekturen von Steuerungen	445
Identifikationssysteme	386	Funktionale Sicherheit nach SIL	446
AS-i-Bussystem	387	Bestimmung und Anwendung des SIL	447
Querkommunikation bei Feldbussen	388	Sicherheitsfunktionen bei Antrieben	448
PROFIBUS	389	EU-Maschinenrichtlinie	449
M-Bus und Smart Metering	390	Elektrische Niederspannungs-Ausrüstung von Maschinen	450
Fernwirkssysteme	391	Grenztaster, Befehlsgeräte	451
Fernwirken, Fernwarten mittels Kurznachrichten	392	Elektronische Grenztaster	452
Anschluss an das Telefonnetz	393	Schütze	453
Internet-Telefonie (VoIP)	394	Spezielle Schützarten	454
Internet-Zugänge	395	Kennzeichnung und Antriebe der Schütze	455
Anwendungen des Internets	396	Gebrauchskategorien und Prüfbedingungen von Schützen	456
Sichern und Schützen von Daten	397	Schützsicherungen	457
Antennen, Betriebsmittel für Antennenanlagen	398	Schützsicherung mit Steuereinrichtung	459
SAT-Anlagen	399	Hilfsstromkreise	460
Satellitenantennenanlagen	400	Motorschutz	461
Digitales Fernsehen über terrestrische Antenne, DVB-T2	401	Elektronischer Motorschutz	462
Gemeinschaftsantennenanlagen	402	Steuerung durch Motorschalter	463
Errichtung von Antennenanlagen	403	Kennzeichnung in elektropneumatischen Steuerungen	464
Breitbandkommunikationsanlagen (BK-Anlagen)	404	Elektropneumatische Grundsicherungen	465
Teil AS: Automatisierung, Antriebe, Steuern und Regeln	405	Regelungstechnik	466
Verstärker-Grundsicherungen	406	Unstetige Regelglieder	467
Grundlagen des Operationsverstärkers	407	Digitale stetige Regelglieder	468
Schaltungen mit Operationsverstärkern	408	Analoge stetige Regelglieder	469
Schaltransistor und Kippschaltungen	410	Anwendung des Bode-Diagramms	470
Aufgaben von Stromrichtern	411	Digitale Regelung	471
Benennung von Stromrichterschaltungen	412	Einstellung von Regelkreisen	472
Schaltungen für Gleichrichter und Stromrichter	413	Betriebsarten und Grenzübertemperaturen bei Maschinen	475
Wechselwegschaltungen, Steuerkennlinien	414	Effizienz von elektrischen Antrieben	476
Betriebsquadranten bei Antrieben, Linearmotoren	415	Drehstrommotoren für Stromrichterspeisung	477
Halbgesteuerte Stromrichter	416	Oberflächengekühlte Käfigläufermotoren (Normmotoren)	478
		Betriebsdaten von Käfigläufermotoren	479

Mathematik

Formelzeichen dieses Buches	12
Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches	13
Formelzeichen für drehende elektrische Maschinen ..	14
Größen und Einheiten	15
Mathematische Zeichen	17
Potenzen, Vorsätze, Logarithmen, Dreisatzrechnung ..	18
Verstärkung, Dämpfung, Pegel	19
Winkel, Winkelfunktionen, Prozentrechnen	20
Beziehungen zwischen den Winkelfunktionen	21

Physik

Längen und Flächen	22
Körper und Masse	23
Masse, Kraft, Druck, Drehmoment	24
Bewegungslehre	25
Mechanische Arbeit, mechanische Leistung, Energie ..	26
Übersetzungen	27
Wärme	29
Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand	30
Elektrische Leistung, elektrische Arbeit	31
Elektrisches Feld, Kondensator	32
Wechselgrößen, Wellenlänge	33
Leistung bei Sinuswechselstrom, Impuls	34
Magnetisches Feld, Spule	35
Strom im Magnetfeld, Induktion	36
Elektrische und magnetische Feldstärken	37

Schaltungstheorie

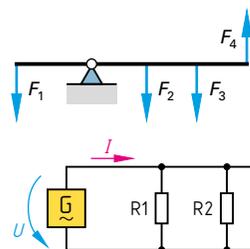
Schaltungen von Widerständen	38
Bezugspfeile, Kirchhoff'sche Regeln, Spannungsteiler ..	39
Ersatzspannungsquelle, Ersatzstromquelle, Anpassung ..	41
Grundsicherungen von Induktivitäten und Kapazitäten ..	42
Schalten von Kondensatoren und Spulen	43
Ersatz-Reihenschaltung und Ersatz-Parallelschaltung ..	46
Einfache Filter	47
Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)	48
Unsymmetrische Last, Netzwerkwandlung,	
Brückenschaltung	49

Bauelemente

Widerstände und Kondensatoren	51
Halbleiterwiderstände	55
Dioden	56
Feldefekttransistoren, IGBTs	57
Bipolare Transistoren	58
Thyristor	59
Gleichrichterbegriffe	61
Magnetfeldabhängige Bauelemente	62
Fotoelektronische Bauelemente	63
Schutzschaltung von Dioden und Thyristoren	64
Kühlung von Halbleiter-Bauelementen	66

Weitere Seiten mit Formeln

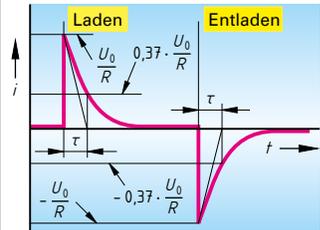
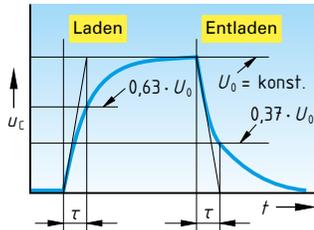
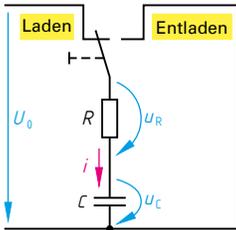
AFDD-Risikoanalyse	326
Akkumulatoren	295
Antennenanlagen	398, 403
Antriebe, Elektromotoren ..	484 f.
Beleuchtungsanlagen	217
DA-/AD-Umsetzer	361
Digitaltechnik	352 f.
Elektrochemie, Chemie ..	293, 506
Elektromotoren	484 f.
Energieeffizienz	342
Fehlerschutz	245 f.
Fotovoltaik	281, 284
Frequenzumrichter	421
Glättung, Stabilisierung	423
Kippschaltungen	410
Kompensation	320
Kostenberechnungen	559 f.
Kurzschlusschutz	190
Leitungsrechnung	186 f.
Lichttechnik	216
Messbereichserweiterung ..	113
Messfehler	110
Messwandler	113
Oberschwingungen ..	198, 314 f.
Operationsverstärker	407 f.
Oszilloskop	123
Regelungstechnik	469 f.
Schrittmotoren	495
Schutzmaßnahmen ..	245 f., 253
Signalübertragung	375, 381
Spannungsfall	187 f.
Spannungsstabilisierung ..	423
Statistische Auswertungen ..	564
Stromrichter	413 f.
Stromtarife	348
Transformatoren	263 f.
Transistoren	406, 410
Überlastschutz	190
Wärmeleistung	127
Widerstandsbestimmung ..	112
Windkraftanlagen	278





Schaltung, Zeitkonstante	Spannungsverlauf	Stromverlauf
--------------------------	------------------	--------------

Ladevorgang und Entladevorgang beim Kondensator an DC



Zeitkonstante

$$\tau = R \cdot C \quad \mathbf{1}$$

$$[\tau] = \Omega \cdot F = \Omega \cdot \frac{As}{V} = s$$

Laden:

$$u_C = U_0 [1 - \exp(-t/\tau)] \quad \mathbf{2}$$

Entladen:

$$u_C = U_0 \cdot \exp(-t/\tau) \quad \mathbf{4}$$

Laden und Entladen:

$$u_R = i \cdot R \quad \mathbf{6}$$

Laden:

$$i_C = \frac{U_0}{R} \cdot \exp(-t/\tau) \quad \mathbf{3}$$

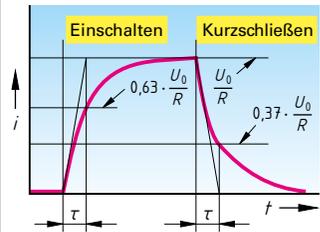
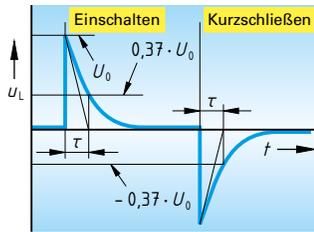
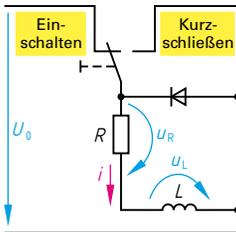
Entladen:

$$i_C = -\frac{U_0}{R} \cdot \exp(-t/\tau) \quad \mathbf{5}$$

Anmerkung:
 $y = e^x$
 $x = \ln y$
 siehe Seite 18

$\exp(x) = e^x$ mit $e = 2,71828 \dots$

Einschaltvorgang und Ausschaltvorgang (Kurzschließen) bei der Spule an DC



Zeitkonstante

$$\tau = \frac{L}{R} \quad \mathbf{7}$$

$$[\tau] = \frac{H}{\Omega} = \frac{Vs}{A\Omega} = s$$

Einschalten:

$$u_L = U_0 \cdot \exp(-t/\tau) \quad \mathbf{8}$$

Kurzschließen:

$$u_L = -U_0 \cdot \exp(-t/\tau) \quad \mathbf{10}$$

Einschalten:

$$u_R = U_0 [1 - \exp(-t/\tau)] \quad \mathbf{12}$$

Einschalten:

$$i_L = \frac{U_0}{R} \cdot [1 - \exp(-t/\tau)] \quad \mathbf{9}$$

Kurzschließen:

$$i_L = \frac{U_0}{R} \cdot \exp(-t/\tau) \quad \mathbf{11}$$

$\exp(x) = e^x$ mit $e = 2,71828 \dots$

C Kapazität	R Wirkwiderstand	u_C Kondensatorspannung
i Stromstärke (Augenblickswert)	t Zeit	u_L Spulenspannung
L Induktivität	τ Zeitkonstante	u_R Spannung an R
		U_0 Gleichspannung

$\exp(-t/\tau)$ ist die genormte Schreibweise von $e^{-t/\tau}$. Beim Taschenrechner muss man bei der Berechnung die Taste e^x verwenden und nicht die Taste \exp .

Die Zeitkonstante gibt die Zeit an, nach der ein nach $\exp(x) = e^x$ verlaufender Vorgang beendet wäre, wenn der Vorgang mit der Anfangsgeschwindigkeit weiter verlaufen würde. Das ist aus den Tangenten der Bilder erkennbar.

Endwerte von u und i sind erreicht nach $t \approx 5\tau$.



Maßlinienbegrenzung		Schreibrichtung	
<p>Maßpfeile:</p>	<p>Immer anwenden bei Radien, Kreisbögen, Durchmessern. ausgefüllt $\alpha \approx 15^\circ$ $l \approx 5 d$</p> <p>nicht ausgefüllt offen $\alpha = 15^\circ$ bis 90° $l \approx 3 d$ bis $5 d$</p> <p>d Linienbreite</p>		
<p>Schrägstriche:</p>	<p>Verlaufen von links unten nach rechts oben, bezogen auf die Maßlinie. $l \approx 6 d$</p>		
<p>Punkte:</p>	<p>Dürfen nur bei Platzmangel verwendet werden, ausgefüllt: $\varnothing \approx 1,5 d$ nicht ausgefüllt: $\varnothing \approx 2,5 d$</p>		

Für jede Zeichnung ist nur eine Art anzuwenden. Bei Platzmangel sind Kombinationen möglich.

Leserichtung vorzugsweise von unten und rechts. Zulässig auch in Leserichtung des Schriftfeldes, nichthorizontale Maßlinien werden unterbrochen.

Schnitte		Bruchlinien und besondere Darstellungen	
Darstellung	Merkregeln	Darstellung	Merkregeln
	<p>(a) Schraffur: Dünne Volllinie unter 45° zur Achse oder zu den Hauptmrisen. Schnittflächen und Ausbrüche des gleichen Teils in einer oder mehreren Ansichten werden in gleicher Art und Richtung schraffiert.</p>		<p>(h) Ausbrüche werden durch dünne Freihandlinien begrenzt.</p>
	<p>(b) Aneinanderstoßende Werkstücke erhalten entgegengesetzt gerichtete oder verschiedene weite Schraffur.</p>		<p>Bei der Darstellung „halb Ansicht – halb Schnitt“ wird bei waagrechter Mittellinie (Beispiel d) der Halbschnitt unterhalb, bei senkrechter Mittellinie rechts von ihr angeordnet. Durch dünne Freihandlinien werden dargestellt:</p>
	<p>(c) Der Schraffurlinienabstand ist umso größer, je größer die Schnittfläche ist.</p>		<p>(i) der Bruch flacher Werkstücke, (k) der Abbruch von Rundkörpern, (l) der Abbruch von hohlen Rundkörpern, z.B. Rohre.</p>
	<p>(d) Umlaufkanten, die durch den Schnitt sichtbar geworden sind, werden eingezeichnet.</p>		<p>(l) der Abbruch von hohlen Rundkörpern, z.B. Rohre.</p>
	<p>(e) Trennfugen sind als Kanten zu zeichnen.</p>		<p>(m) Spitzkörper sind in abgebrochener Darstellung zusammengeschoben zu zeichnen.</p>
	<p>(f) Vollkörper einfacher Form werden in der Längsrichtung nicht geschnitten. Beispiele: Nieten, Bolzen, Wellen, Stifte, Rippen, Schrauben.</p>		<p>(n) Der Bruch geschnittener, hohler Rundkörper wird durch eine Freihandlinie begrenzt.</p>
	<p>(g) Ist der Schnittverlauf nicht ohne weiteres ersichtlich, so ist er durch dicke Strichpunktlinien zu kennzeichnen. Die Blickrichtung auf den Schnitt deuten Pfeile an. Buchstaben verwendet man nur zur besseren Übersicht.</p>		<p>(o) Gerundete Übergänge und Kanten können durch dünne Volllinien (Lichtkanten), die vor den Körperkanten enden, dargestellt werden, wenn das Bild dadurch anschaulicher wird.</p>
			<p>(p) Flach verlaufende Durchdringungskurven dürfen weggelassen werden.</p>



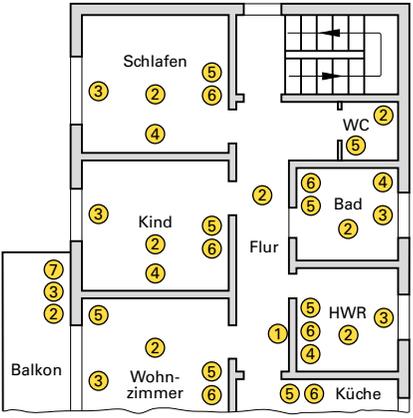
Kurzzeichen	Erklärung	Kurzzeichen	Erklärung	Kurzzeichen	Erklärung
Prüfzeichen		Kleintransformatoren		Schutzklassen (SK)	
	Bescheinigung des Herstellers für Übereinstimmung mit EU-Richtlinien		Gekapselter Sicherheitstransformator nicht kurzschlussfest		Schutzklasse I: Schutzmaßnahme mit Schutzleiter
	„Geprüfte Sicherheit“ Sicherheitszeichen zum Produktsicherheitsgesetz		Offener Sicherheitstransformator		Schutzklasse II: doppelte oder verstärkte Isolierung
	VDE-Kabelkennzeichen		Sicherheitstransformator, kurzschlussfest		Schutzklasse III: SELV, PELV
	Zusatz bei harmonisierten VDE-Bestimmungen		Steuertransformator, nicht kurzschlussfest	Leuchten	
	Zulassungszeichen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) für Messeinrichtungen		Steuertransformator, kurzschlussfest		Einbauleuchte: Zur Montage in nicht brennbaren Baustoffen. Hinweise auf der Leuchte beachten.
	Funkschutzzeichen. Im freien Ausschnitt: Funkstörgrad G, N, K oder Zahl		Spielzeugtransformator (auch Kinderkochgerät, Kinderbügeleisen)		Leuchte mit begrenzter Oberflächentemperatur für feuergefährdete Betriebsstätten
	EMC-Funkschutzzeichen (C von compatible = verträglich)		Klingeltransformator		Leuchte für rauen Betrieb
	Explosionsschutz		Handleuchten-transformator		Stoßfeste Glühlampe
	Geräte zugelassen in: Deutschland		Auftautransformator		Unabhängiges Vorschaltgerät, Montage außerhalb Leuchten möglich. Wird im Fehlerfall nicht zu heiß.
	Österreich		Transformator für medizinische und zahnmedizinische Geräte	Sonstige Zeichen	
	Schweiz		Trenntransformator		Träge Sicherung
	Frankreich		Transformator, nicht kurzschlussfest		Sicherung eingebaut
	USA		Transformator, unbedingt kurzschlussfest		Gerätedosen, Verbindungsdosen, Kleinverteiler für Hohlwandinstallation
Schweißmaschinen			Rasiersteckdosen-Einheit		Gerätedosen, Verbindungsdosen, Leuchtenanschlussdosen für Installation in Beton
	Die Klemmenspannung von 42 V darf im Leerlauf nicht überschritten werden.			Elektromedizin	
	Schweißgleichrichter für Arbeiten in engen Räumen.				Anschlussstelle für Betriebserdung
Kondensatoren					Patientenanschluss an Elektrokardiographen, bei Herzkatheteruntersuchung nicht mit Patient verbunden.
	Flammsicher				Patientenanschluss an Elektroenzephalographen, während Untersuchung am Gehirn nicht mit Patienten verbunden.
	Flammsicher und platzsicher				



Aufbau und Wirkungsweise

Schaltung, Anordnung		Merkmale		Erklärung, Begriffe																																	
				<p>Bei angelegter Betriebsspannung wird der Schwingquarz des Schallgebers für kurze Zeit angeregt. Er sendet dadurch Ultraschallwellen aus. Dann wird der Schallgeber auf Empfang umgestellt und die eingehenden Ultraschallimpulse werden ausgewertet. Zuerst prüft die Auswerteeinheit, ob das aufgenommene Signal das Echo der ausgesendeten Ultraschallwellen ist. Fällt diese Prüfung positiv aus, wird die Laufzeit des Schalls als Maß für den Abstand eines Objektes ermittelt.</p>																																	
<p>Objekterkennung mit Ultraschallsensoren</p>		<p>Pulse bei Ultraschallsensoren</p>																																			
		<p>Mindestabstand von Sensoren</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Erfassungsbereich</th> <th>Mindestabstand x in m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>bis 0,3 m</td> <td>> 1,2</td> </tr> <tr> <td>0,2 m bis 1 m</td> <td>> 4,0</td> </tr> <tr> <td>0,8 m bis 6 m</td> <td>> 25,0</td> </tr> </tbody> </table>		Erfassungsbereich	Mindestabstand x in m	bis 0,3 m	> 1,2	0,2 m bis 1 m	> 4,0	0,8 m bis 6 m	> 25,0																										
Erfassungsbereich	Mindestabstand x in m																																				
bis 0,3 m	> 1,2																																				
0,2 m bis 1 m	> 4,0																																				
0,8 m bis 6 m	> 25,0																																				
<p>Störbeeinflussung gegenüberliegender Ultraschall-Sensoren</p>		<p>Mindestabstände zu Wänden</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Erfassungsbereich</th> <th>Mindestabstand x in m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>bis 0,3 m</td> <td>> 0,03</td> </tr> <tr> <td>0,2 m bis 1 m</td> <td>> 0,15</td> </tr> <tr> <td>0,8 m bis 4 m</td> <td>> 0,4</td> </tr> </tbody> </table>		Erfassungsbereich	Mindestabstand x in m	bis 0,3 m	> 0,03	0,2 m bis 1 m	> 0,15	0,8 m bis 4 m	> 0,4	<p>Ein Objekt im Nahbereich kann Fehlsignale hervorrufen, die ein Objekt in größerem Schaltabstand vortäuschen (Bild). Deshalb sollte der Nahbereich immer von Objekten freigehalten werden.</p> <p>Innerhalb des Erfassungsbereichs kann der Näherungsschalter zwischen Objekten im eingestellten Schaltbereich und im davor liegenden Sperrbereich unterscheiden.</p> <p>Objekte mit größerem Abstand als dem eingestellten Erfassungsbereich werden nicht erfasst.</p> <p>Viele industrielle Anwendungen, auch bei Prüfungen bzgl. Rissen und Schweißnähten.</p> <p>www.sick.com www.microsonic.de</p>																									
Erfassungsbereich	Mindestabstand x in m																																				
bis 0,3 m	> 0,03																																				
0,2 m bis 1 m	> 0,15																																				
0,8 m bis 4 m	> 0,4																																				
<p>Störbeeinflussung von Ultraschall-Sensoren zu benachbarten Wänden oder Körpern</p>		<p>Mindestabstände paralleler Sensoren</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Erfassungsbereich</th> <th>Mindestabstand x in m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>bis 0,3 m</td> <td>> 0,15</td> </tr> <tr> <td>0,2 m bis 1 m</td> <td>> 0,6</td> </tr> <tr> <td>0,8 m bis 6 m</td> <td>> 2,5</td> </tr> </tbody> </table>		Erfassungsbereich	Mindestabstand x in m	bis 0,3 m	> 0,15	0,2 m bis 1 m	> 0,6	0,8 m bis 6 m	> 2,5																										
Erfassungsbereich	Mindestabstand x in m																																				
bis 0,3 m	> 0,15																																				
0,2 m bis 1 m	> 0,6																																				
0,8 m bis 6 m	> 2,5																																				
		<p>Störbeeinflussung paralleler Ultraschall-Sensoren</p>																																			
<p>Daten von Ultraschall-Näherungsschaltern</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Bemessungs-Schaltabstand</td> <td>1000 mm</td> <td>6000 mm</td> </tr> <tr> <td>Nutzschaltabstand</td> <td>200 mm bis 1000 mm</td> <td>800 mm bis 6000 mm</td> </tr> <tr> <td>Anzahl der Schaltbereiche</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Schaltbereichsbreite (am Schaltabstand)</td> <td>30 mm</td> <td>60 mm</td> </tr> <tr> <td>Öffnungswinkel der Schallkeule</td> <td>etwa 5°</td> <td>etwa 5°</td> </tr> <tr> <td>Wandlerfrequenz</td> <td>200 kHz</td> <td>80 kHz</td> </tr> <tr> <td>Reproduzierbarkeit des Schaltabstands</td> <td>± 1,5 mm</td> <td>± 9 mm</td> </tr> <tr> <td>Schalthysterese (Schaltdifferenz zwischen EIN und AUS)</td> <td>≤ 10 mm</td> <td>≤ 60 mm</td> </tr> <tr> <td>Normmessplatte</td> <td>20 mm x 20 mm</td> <td>100 mm x 100 mm</td> </tr> <tr> <td>Schaltfrequenz</td> <td>4 Hz</td> <td>1 Hz</td> </tr> <tr> <td>Ansprechzeit</td> <td>≤ 100 ms</td> <td>≤ 240 ms</td> </tr> </tbody> </table> <p>Bemessungsspannung DC 24 V; Betriebsspannung U_b DC 20 V bis 30 V und $\pm 10\%$ Restwelligkeit; Leerlaufstromaufnahme ≤ 40 mA; Dauerstrom 300 mA; maximale Ausgangsspannung $U_a = U_b - 3$ V; Schaltzustandsanzeige mit LED.</p>					Bemessungs-Schaltabstand	1000 mm	6000 mm	Nutzschaltabstand	200 mm bis 1000 mm	800 mm bis 6000 mm	Anzahl der Schaltbereiche	1	1	Schaltbereichsbreite (am Schaltabstand)	30 mm	60 mm	Öffnungswinkel der Schallkeule	etwa 5°	etwa 5°	Wandlerfrequenz	200 kHz	80 kHz	Reproduzierbarkeit des Schaltabstands	± 1,5 mm	± 9 mm	Schalthysterese (Schaltdifferenz zwischen EIN und AUS)	≤ 10 mm	≤ 60 mm	Normmessplatte	20 mm x 20 mm	100 mm x 100 mm	Schaltfrequenz	4 Hz	1 Hz	Ansprechzeit	≤ 100 ms	≤ 240 ms
Bemessungs-Schaltabstand	1000 mm	6000 mm																																			
Nutzschaltabstand	200 mm bis 1000 mm	800 mm bis 6000 mm																																			
Anzahl der Schaltbereiche	1	1																																			
Schaltbereichsbreite (am Schaltabstand)	30 mm	60 mm																																			
Öffnungswinkel der Schallkeule	etwa 5°	etwa 5°																																			
Wandlerfrequenz	200 kHz	80 kHz																																			
Reproduzierbarkeit des Schaltabstands	± 1,5 mm	± 9 mm																																			
Schalthysterese (Schaltdifferenz zwischen EIN und AUS)	≤ 10 mm	≤ 60 mm																																			
Normmessplatte	20 mm x 20 mm	100 mm x 100 mm																																			
Schaltfrequenz	4 Hz	1 Hz																																			
Ansprechzeit	≤ 100 ms	≤ 240 ms																																			



Ablauf	Erklärung	Bemerkungen
<p>Kundengespräch</p> <p>Erstellung des Lastenheftes</p>	<p>Zu unterscheiden ist das Planen einer Smart-Home-Anlage für einen Neubau oder einen Altbau. Das Lastenheft ist Voraussetzung für ein genaues Angebot.</p> <p>Mit dem Kunden muss der Umfang der zu planenden Anlage besprochen werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anzahl, Art der Schaltstellen (Aktoren), • Anzahl, Art der Sensoren, • Anzahl der Lichtszenen, Dimmfunktionen, • Art der Zeitfunktionen, • Türkommunikation, • Fernabfrage bzw. Fernbedienung mittels Smartphone, Tablet-Pad (siehe Seite 396), • Visualisierung, • Leitungsverbindung oder wireless, • Systemerweiterungen, z.B. Philips Hue, Sonos bzgl. Beleuchtungs-Multimedia-Effekten oder Geofencing (Auslösen einer Aktion beim Betreten oder Verlassen eines Ortes). 	 <p>1 Zentrale 2 Aktor Licht 3 Aktor Jalousie 4 Aktor Heizung 5 Sensor 6 Raumtemperaturregler 7 Wetterstation</p> <p>Wohnungsgrundriss</p>
<p>Informationsbeschaffung</p>	<p>Informationen bei den Herstellern der notwendigen Betriebsgeräte einholen: → Prospekte, Kataloge, Preislisten. Bauplan, ggf. bestehende Elektroplanung, besorgen.</p>	
<p>Planung der Anlage</p>	<p>Auf Basis des Lastenheftes. Die Anzahl der Aktoren und Sensoren ergibt die erforderliche Anzahl der Betriebsgeräte.</p> <p>Einzelne Geräte können mehrere Aufgaben erfüllen. So realisiert ein Vierfach-Schaltaktor vier Schaltaufgaben, er stellt jedoch nur ein Gerät in der Anlage dar.</p>	<p>Abhängig von der Anlagengröße muss festgelegt werden, ob eine KNX-Lösung oder eine „kleinere“ Lösung möglich ist. Zu berücksichtigen sind Leitungsstrecken zum Ermitteln der erforderlichen Leitungslängen, Leitungsquerschnitte, Dosen und Funkstrecken mit evtl. Repeatern, Zentrale zur Anlagensteuerung/Anlagenanzeige.</p>
<p>Auswirkung auf die Größe der Verteiler</p>	<p>Die notwendigen Reiheneinbaugeräte benötigen Platz. Deshalb muss der Platzbedarf ermittelt werden und in die Verteilerplanung aufgenommen werden.</p>	<p>Beispiel: Eine Hutschiene hat z.B. 12 Teilungseinheiten (TE). Bei 2 Jalousieaktoren mit 4 TE, 2 Dimmaktoren mit 8 TE, 2 Schaltaktoren mit 4 TE, einem Heizungsaktor mit 6 TE und dem Netzgerät mit 5 TE → Verteiler mit mindestens 43 TE erforderlich.</p>
<p>Einholung von Angeboten</p>	<p>Für die benötigten Geräte, Leitungen, Verteiler usw. ist ein schriftliches Angebot bei mehreren Elektrogroßhändlern, ggf. unter Einbeziehung des Außendienstes der ausgewählten Firmen, einzuholen.</p>	<p>Beispiele von Anbietern: örtliche Großhändler und www.knx.org www.busch-jaeger.de www.jung.de</p>
<p>Angebotserstellung Pflichtenheft</p>	<p>Das Angebot umfasst die Betriebsgeräte, Aktoren, Sensoren, Fernbedienungen, Smart-Home-Zentrale, Leitungen und Dosen sowie die Programmierung der Anlage.</p>	<p>Die Anzahl und Art der Betriebsgeräte ist sorgfältig zu kalkulieren. Der Zeitaufwand für die Programmierung/Parametrierung darf nicht unterschätzt werden.</p>
<p>Auftragsausführung</p>	<p>Die Busleitungen sind in Installationsrohren oder Kabelkanälen zu verlegen.</p>	<p>Vorschriften, z.B. für Biegeradien, Installationszonen, sind für die Leitungsverlegung einzuhalten.</p>
<p>Inbetriebnahme</p>	<p>Nach Montage und Verdrahtung aller Komponenten ist die Anlage in Betrieb zu nehmen. Die Verknüpfungen zwischen Sensoren und Aktoren sind zu programmieren/parametrieren, notwendige Zeitfunktionen, Aktionen und Lichtszenen sind ebenfalls zu programmieren.</p>	<p>Für die Inbetriebnahme ist die Projektierungssoftware des verwendeten Systems erforderlich.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beim KNX-System ist diese die ETS von der KNX-Association, • Beim Busch-free@home-System ist diese Bestandteil des System-Access-Points.
<p>Übergabe an den Kunden</p>	<p>Nach erfolgter Inbetriebnahme ist die Anlage an den Auftraggeber zu übergeben.</p>	<p>Der Kunde muss die Anlage abnehmen. Eine vollständige Dokumentation ist an ihn zu übergeben.</p>



Durch Flächen mit zu hoher Leuchtdichte und/oder zu großer Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld eines Betrachters wird Blendung hervorgerufen. Das *UGR-Verfahren* (Unified Glare Rating) wird zur Beurteilung der *psychologischen* Blendung verwendet und berücksichtigt die Helligkeit von Wänden und Decken sowie aller Leuchten des Raums, die zum Blendeeindruck beitragen. Entwickelt von der Internationalen Beleuchtungskommission **CIE** (franz. Commission Internationale de L'Éclairage) gilt es europaweit und ersetzt die bisher verwendeten Verfahren (z. B. das System begrenzender Leuchtdichtekurven). Leuchtenhersteller geben die *UGR-Werte* in photometrischen Datenblättern für jedes ihre Produkte an.

Blendwert

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L^2 \Omega}{p^2} \right)$$

UGR Blendwert der Beleuchtungsanlage (Maximalwert)

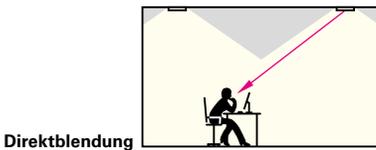
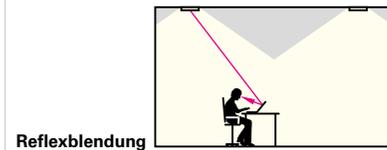
L Leuchtdichte jeder Leuchte in Beobachtungsrichtung (cd/m²)

L_B Hintergrundleuchtdichte (cd/m²)

Ω Raumwinkel (Omega), unter dem die Leuchte gesehen wird (sr)

p Positionsindex der einzelnen Leuchte nach Guth

Direktblendung und *Reflexblendung* vermindern den Sehkomfort (psychologische Blendung) und setzen somit die Sehleistung herab (physiologische Blendung).

**Direktblendung****Reflexblendung**

Ursache

- Leuchten nicht entblendet
- Flächen mit zu großer Helligkeit
- Fenster

- Spiegelnde Oberflächen
- Falsche Leuchten-Anordnung
- Falsche Arbeitsplatzposition

Auswirkung

- Konzentration lässt nach
- Fehlerquote steigt an
- Ermüdungserscheinungen

- Konzentration lässt nach
- Fehlerquote steigt an
- Ermüdungserscheinungen

Abhilfe

- Leuchten mit begrenzter Leuchtdichte
- Abschirmung
- Anordnung, Ausrichtung

- Leuchte und Arbeitsplatz aufeinander abstimmen
- Indirekte Beleuchtung
- Matte Oberflächen

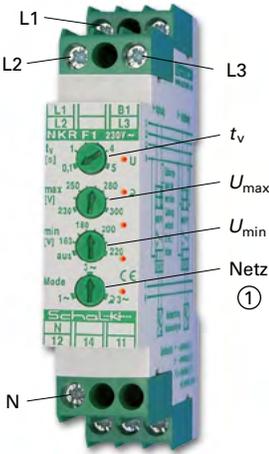
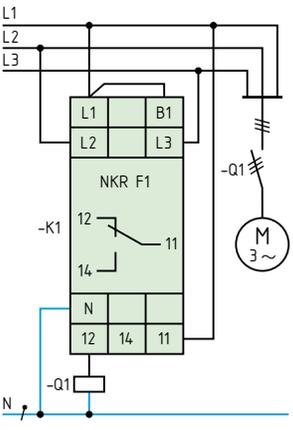
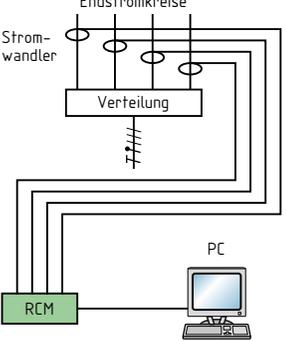
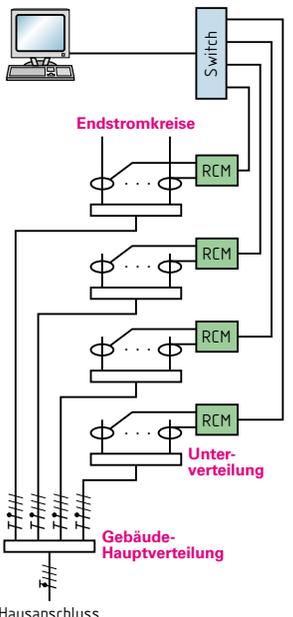
Beleuchtungsstärke, Blendungsbewertung, Gleichmäßigkeit, Farbwiedergabeindex

vgl. DIN EN 12464-1

Innenraumbereiche, Sehaufgabenbereiche, Tätigkeitsbereiche	E_m lx	UGR_L	U_0	R_a	Innenraumbereiche, Sehaufgabenbereiche, Tätigkeitsbereiche	E_m lx	UGR_L	U_0	R_a
Pausen-, Sanitär-, 1. Hilfe-Räume					Elektro- und Elektronikindustrie				
Pausenräume	100	22	0,40	80	Kabel- und Drahtherstellung	300	25	0,60	80
Kantinen	200	22	0,40	80	Montagearbeiten grob	300	25	0,60	80
Sanitätsräume	500	19	0,60	80	Montagearbeiten mittelfein	500	22	0,60	80
					Montagearbeiten fein	750	19	0,70	80
					Montagearbeiten sehr fein	1000	16	0,70	80
					Prüfen, Justieren	1500	16	0,70	80
Verkehrszonen in Gebäuden					Metallbearbeitung				
Flure, Verkehrsflächen	100	28	0,40	40	Schweißen	300	25	0,60	80
Treppen, Rolltreppen, Fahrbänder	100	25	0,40	40	Maschinenarbeiten grob, mittel	300	22	0,60	80
Aufzüge, Lifte	100	25	0,40	40	Maschinenarbeiten fein	500	19	0,70	80
					Anreißen, Kontrolle	750	19	0,70	80
Büros					Ausbildungsstätten				
Ablegen, Kopieren	300	19	0,40	80	Unterrichtsräume, Seminarräume	300	19	0,60	80
Schreiben, Lesen, Datenverarbeitung	500	19	0,60	80	Hörsäle	500	19	0,60	80
Technisches Zeichnen	750	16	0,70	80	Räume für technisches Zeichnen	750	16	0,70	80
CAD-Arbeitsplätze	500	19	0,60	80	Lehrwerkstätten	500	19	0,60	80
Konferenz-, Besprechungsräume	500	19	0,60	80	Bibliotheken: Lesebereiche	500	19	0,60	80
Empfangstheken	300	22	0,60	80					
Archive	200	25	0,40	80					

E_m Wartungswert der (mittleren) Beleuchtungsstärke, $E_{m\min}$ Mindestbeleuchtungsstärke, R_a Farbwiedergabeindex (Mindestwert), U_0 Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke (Mindestwert) E_{\min}/E_m , UGR_L UGR-Grenzwerte zur Bewertung der Blendung ($L = \text{Limit}$).



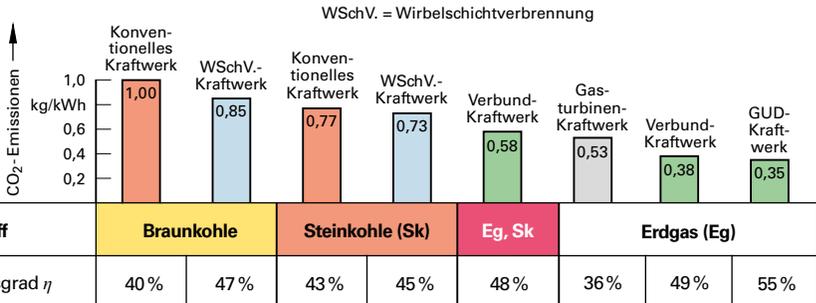
Ansicht, Prinzip	Erklärung	Bemerkungen, Schaltung
Überwachung durch Überwachungsrelais		
	<p>Überwachung im Einphasennetz oder Dreiphasennetz von Spannung, Unterspannung, Überstrom, Unterstrom, Phasenfolge und Phasenausfall, Symmetrie bzw. Asymmetrie oder Rückspannung der Last, Neutralleiterbruch oder Temperatur. Automatisches Einschalten bei Verbindung L1, B1.</p> <p>Mit Mode ① wird die Netzbetriebsart eingestellt, 1-phasig, 3-phasig oder 3-phasig mit Drehfeldüberwachung. Mit t_v wird die Reaktionszeit auf Netzfehler eingestellt (0,1 s bis 5 s).</p> <p>Versorgungsspannung für die Elektronik, z. B. DC 24V oder AC 12 V bis 400 V.</p> <p>Anzeigen: Grüne LED Spannung, rote LED Fehler, rote LED blinkend Fehler mit Auslöseverzögerung, gelbe LED ON/OFF Stellung des Ausgangsrelais.</p> <p>www.schalk.de www.tele-online.de</p>	 <p>Motorschutz (vor Falschlauf und Anlauf im 2-Phasenbetrieb)</p>
Überwachung mit RCM		
 <p>RCM-System für vier Stromkreise</p> <p>RCMs (Residual Current Monitors) können über einen Summenstromwandler von jedem zu überwachenden Stromkreis für eine Auswerteeinheit mit Anschlussmöglichkeit von z. B. bis zu 20 Summenstromwandlern (für 20 Stromkreise) Signale erhalten. Die Eingabe der Programmier-Software und die Ausgabe der Messdaten erfolgt am PC.</p> <p>Für kleine Stromstärken gibt es Stromwandler kombiniert mit Auswerteeinheit RCM.</p> <p>Wie bei den RCDs werden die aktiven Leiter des zu überwachenden Stromkreises (Außenleiter und Neutralleiter) durch die Stromwandler geführt.</p>	<p>Beim RCM werden wie beim RCD die durch einen Summenstromwandler erfassten Ströme summiert. Bei einem Isolationsfehler entsteht ein Differenzstrom. Die Auswerteeinheit gibt je nach Einstellung ein Signal, z. B. an eine externe Abschalteneinrichtung, ab und/oder leitet die Messwerte über eine verdrehte Aderleitung zur weiteren Auswertung und zur Anzeige an einen PC.</p> <p>Typen RCM: A, B, B+ (entsprechend zu RCD).</p> <p>Anwendungsbeispiele:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Versorgungsnetze für Anlagen mit IT-Technik, • medizinisch genutzte Bereiche, • RCD-ungeeignete Anlagen, z. B. Großküchen, • Sicherheitseinrichtungen. <p>Vorteile der RCM-Überwachung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abnahme der Isolationsfestigkeit wird erkannt, • Erdschlüsse werden beim Entstehen erkannt, • verschiedene Brücken von PE zu N werden erkannt, • Instandsetzung kann geplant werden, • vagabundierende (umherschweifende) Ströme werden erkannt, • in Anlagen mit IT-Technik ist die Datenübertragung sicherer. 	<p>RCMs können auch in der Gebäude-Hauptverteilung eingebaut werden. Zur Fehlerlokalisierung ist der Einbau in die gegen Fehler empfindlichen Endstromkreise nötig.</p>  <p>Überwachung eines TN-S-Systems</p>

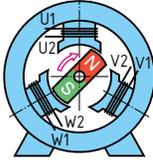
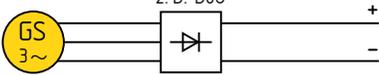
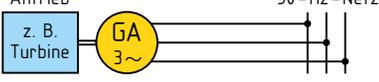
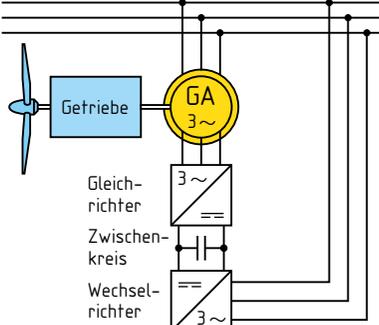
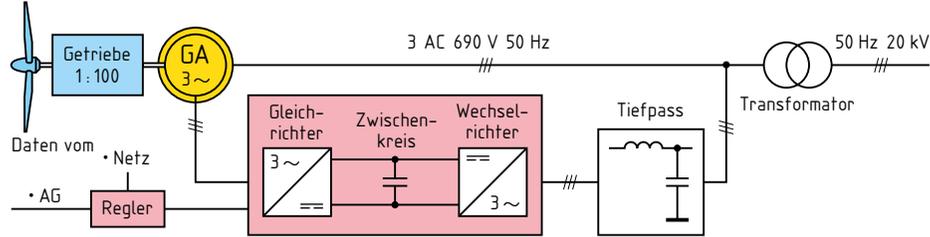


Vorgang	Erklärung	Bemerkungen, Ansicht																		
Herrichten des Kabelgrabens	<ul style="list-style-type: none"> Breite mindestens 40 cm, Frostfreie Tiefe bei Niederspannung normal mindestens 70 cm, Tiefe bei zusätzlichem Mittelspannungskabel normal mindestens 80 cm, Tiefe bei Kreuzung mit Hauptverkehrsstraßen mindestens 100 cm, Sandbett auf steinfreier Grabensohle mindestens 10 cm, bei Richtungsänderung den Kabelgrabenbogen entsprechend dem Krümmungshalbmesser r des Kabels ($r = 12 \times$ Kabeldurchmesser) ausführen. 	<p>Maße in cm</p> <p>Kabelgraben bei zwei Niederspannungskabeln</p>																		
Abdecken und Auffüllen des Kabelgrabens	<ul style="list-style-type: none"> Nach dem Auslegen des Kabels weitere Sandschicht von 10 cm einbringen, bei steinfreiem Erdboden kann auf diese Sandschicht verzichtet werden, Kabel mit Kunststoffplatten abdecken, ist mit einer Beschädigung des Kabels nicht zu rechnen, kann auf die Kunststoffplatten verzichtet werden, Kabelgraben lagenweise mit Erdboden auffüllen und die Lagen verdichten, im oberen Drittel des Kabelgrabens Trassenwarnband einlegen. 	<p>Maße in cm</p> <p>Kabelgraben mit 400-V-Kabel und 20-kV-Kabel</p>																		
Auslegen des Kabels	<ul style="list-style-type: none"> Temperatur soll über -5°C liegen, Kabel über Kabellegerollen von der Liefertrommel abziehen, Krümmungshalbmesser r von Bögen mindestens $r = 12 \times$ Kabeldurchmesser, vor Muffen und Kabelhochführungen (z. B. zu Umspannstationen) Kabel geschlängelt auslegen, Zugbeanspruchung höchstens 30 N/mm^2 (Summe der Leiterquerschnitte). 	<p>Kabellegerolle</p>																		
Verwendung von Schutzrohren	<ul style="list-style-type: none"> Schutzrohre, z. B. geteilte Schutzrohre aus Kunststoff, sind bei zu erwartender mechanischer Belastung, z. B. Kreuzung von Hauptverkehrsstraßen, erforderlich, am Schutzrohrende ein Polster aus Erde unter dem Kabel zum Schutz gegen Kabelbeschädigung durch die Rohrkante anbringen, jedes Kabel ist in ein eigenes Schutzrohr zu legen. 	<p>Schutz des Kabels am Rohrende</p>																		
Kreuzungen und Näherungen	<ul style="list-style-type: none"> Bei Kreuzungen und bei Näherungen mit allen Arten von Leitungen sind Mindestabstände einzuhalten. Parallelführung mit Fernmeldekabeln ist wegen der Induktion zu vermeiden. Das gilt nicht für Lichtwellenleiterkabel. Notfalls müssen die Mindestabstände erheblich größer gewählt werden. Bei Kreuzungen mit anderen Energiekabeln soll das Kabel mit der höheren Spannung unten liegen. 	<p>Mindestabstände bei Kreuzung oder Näherung</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Art</th> <th>Kreuzung</th> <th>Näherung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fernmeldeanlage</td> <td>10 cm</td> <td>10 cm</td> </tr> <tr> <td>Wasserleitung</td> <td>20 cm</td> <td>40 cm</td> </tr> <tr> <td>Gasleitung ≤ 16 bar</td> <td>20 cm</td> <td>40 cm</td> </tr> <tr> <td>Fernwärmenetz</td> <td>30 cm</td> <td>30 cm</td> </tr> <tr> <td>Tanks und zugehörige Rohrleitungen</td> <td>100 cm</td> <td>100 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Art	Kreuzung	Näherung	Fernmeldeanlage	10 cm	10 cm	Wasserleitung	20 cm	40 cm	Gasleitung ≤ 16 bar	20 cm	40 cm	Fernwärmenetz	30 cm	30 cm	Tanks und zugehörige Rohrleitungen	100 cm	100 cm
Art	Kreuzung	Näherung																		
Fernmeldeanlage	10 cm	10 cm																		
Wasserleitung	20 cm	40 cm																		
Gasleitung ≤ 16 bar	20 cm	40 cm																		
Fernwärmenetz	30 cm	30 cm																		
Tanks und zugehörige Rohrleitungen	100 cm	100 cm																		
Pflugkabellegung	<ul style="list-style-type: none"> Auslegung mit Pflug möglich, wenn Trasse außerhalb bebauter Gebiete liegt, Kabelstrecke genügend lang ist, keine befestigten Wege vorhanden sind, im Boden keine Hindernisse liegen, der Boden die Belastung durch den Pflug aushält. 	<p>Das Kabel ist gleichzeitig mit dem Einpflügen auszufahren. Das Trassenwarnband wird zusammen mit dem Kabel eingepflügt. Wegkreuzungen sind vor dem Einpflügen zu öffnen. Das Kabel ist an diesen Stellen in geteilte Schutzrohre einzulegen. Sofort nach der Verlegung ist die Pfluginne durch Walzen zu schließen.</p>																		

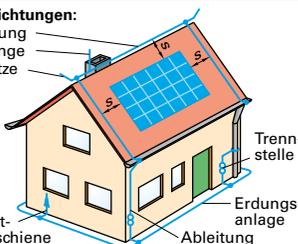


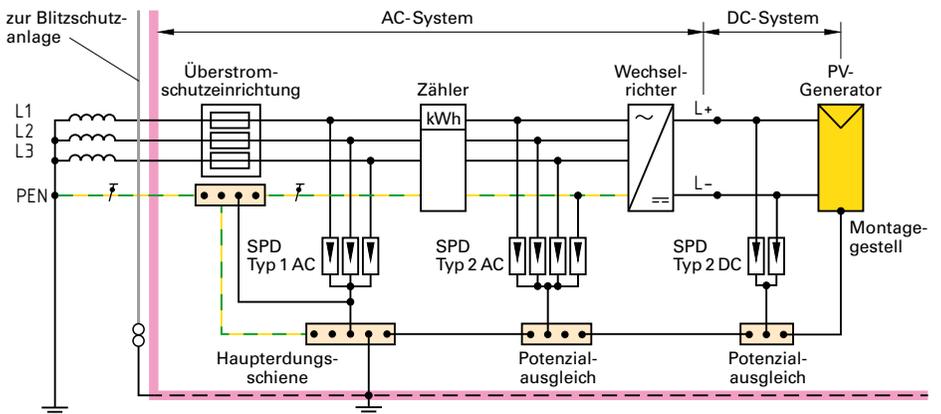
Kraftwerksart	Einsatzmöglichkeit	η	Bemerkungen
Wasserkraftwerke	Laufwasser-Kraftwerk	Errichtung an Flüssen oder Kanälen. Durch Wehranlagen werden Höhenunterschiede von 4 m bis 25 m erreicht. Niederdruckanlagen arbeiten mit Kaplan-turbinen.	0,85 Für konstante Energieversorgung. Deckung der Grundlast.
	Speicher-kraftwerk	Bei großen Stauhöhen. Mitteldruck-Kraftwerke 20 m bis 50 m. Hochdruck-Kraftwerke 50 m bis 2 000 m. Kaplan-, Francis- oder Pelton-turbinen. Wasser wird bei Regenfällen oder Schneeschmelze in einer Talsperre gestaut und bei Bedarf abgefah- ren.	0,8 Abhängig von Zufluss und Speichervermögen unter-scheidet man: Tages-, Wochen-, Monats- und Jahreskraftwerke.
	Pump-speicher-kraftwerk	Mit elektrischer Überschussenergie aus Wärme-, Wind- und Solarkraftwerken wird das Pendelwas- ser in das Oberbecken gepumpt. Bei Spitzenstrom- bedarf wird wie beim Speicherkraftwerk elektrische Energie erzeugt.	0,75 Zur Deckung von Spitzenlast. Dient als Energiespeicher.
	Gezeiten-kraftwerk	Nur an Küsten mit hohen Gezeitenunterschieden wirtschaftlich einsetzbar.	0,8 Zum Beispiel in Saint Malo, Frankreich (10 MW).
Wärmekraftwerke	Dampf-kraftwerk	Mit Atomkraft, Kohle, Gas oder Öl wird Wasser-dampf mit Temperaturen bis 550 °C und Drücken bis 25 MPa erzeugt und Dampfturbinen zugeführt. Diese wandeln über sogenannte Turbogeneratoren die mechanische in elektrische Energie um.	0,35 bis 0,45 Kraftwerke mit hohen Leis-tungen. Hohe Kosten für Entsorgung der Abfälle, Luftreinhal-tung.
	Gasturbinen-Kraftwerk	Verdichtete Frischluft wird durch Verbrennung von Erdgas oder leichtem Heizöl auf eine Temperatur von 1 300 °C gebracht. Diese heiße Luft treibt über die Turbine den Generator an.	0,36 Volle Leistungsabgabe inner-halb von 2 min bis 3 min. Spitzenstromerzeuger.
	GuD-Kraftwerk (Gas- und Dampf-kraftwerk)	Die 600 °C heißen Rauchgase einer Gasturbine wer-den direkt in einem unbefeuerten Abhitze-kessel zur Dampferzeugung für den Antrieb einer Dampftur-bine genutzt.	0,55 bis 0,6 Sehr effiziente Brennstoff-ausnutzung und kleine Schad-stoffemissionen. Leistungen bis 250 MW.
	Verbund-kraftwerk	Der im Abhitze-kessel mit den Gasturbinenabgasen erzeugte Dampf wird in ein externes Dampfkraftwerk eingespeist. Dampfturbine und Gasturbine können gemeinsam oder einzeln gefahren werden.	0,48 Zur Leistungs- und Wirkungs-graderhöhung vorhandener Kraftwerke.
Alternative Anlagen	Windkraft-anlagen	Windkraftanlagen werden in Windparks oder als Offshore-Anlage betrieben. In Deutschland werden ca. 27 % des Stroms mit Windrotoren erzeugt.	0,45 Rotorblätter bis 60 m lang, Rotordrehzahl bis 150/min, Turmhöhe bis 180 m, Spitzenleistung bis 8 MWp.
	Photovoltaik-Anlagen	PV-Anlagen wandeln Sonnenlicht in elektrische Energie um. Sie benötigen große freie Flächen und Dachanlagen, um das Sonnenlicht optimal zu nutzen. Mindestanlagengröße 1 kWp. Stromerzeugung in Deutschland ca. 11 %.	0,2 Der Jahresertrag je instal-liertem Kilowattpeak kWp liegt zwischen 750 kWh und 850 kWh. Ein kWp benötigt rund 10 m ² Dachfläche.

CO₂-Emission und Wirkungsgrad η verschiedener fossiler Wärmekraftwerke

Art	Erklärung	Schaltung	
Synchron-generator für AC (Einphasenwechselstrom) und 3 AC (Drehstrom)	Der Synchrongenerator SG besteht aus einem Ständer mit AC-Wicklung oder 3AC-Wicklung, einem Magnetläufer mit Erregerwicklung oder mit Dauermagneten. Dreht sich der Läufer, so wird in der Wicklung eine Spannung induziert. Zum Betrieb am Netz muss konstante Drehzahl $n = f/p$ eingehalten werden. Im Inselbetrieb steigt f mit n und p , die Spannung steigt mit I_{err} und n .	 <p>Synchrongenerator (Prinzip)</p>	
Synchron-generator für DC (Gleichstrom)	Der SG (im Schaltzeichen GS) erzeugt AC oder 3AC und mittels Gleichrichter, z.B. B2U oder B6U, kann DC entnommen werden. Durch Ändern von n oder I_{err} kann die Spannung eingestellt werden.	 <p>Synchrongenerator für DC</p>	
Asynchron-generator für AC und 3AC	Eine Kurzschlussläufermaschine oder eine Schleifringläufermaschine wird zum Asynchrongenerator AG (im Schaltzeichen GA), wenn sie mit einer höheren Drehzahl als ihrer Drehfeldfrequenz angetrieben wird, und zwar am Netz, aus dem der AG Blindstrom für das magnetische Drehfeld beziehen muss.	 <p>Asynchrongenerator für 3AC</p>	
Generatoren für Windkraftanlagen Synchron-generator mit DC-Zwischenkreis Asynchron-generator mit USK Doppelt speisender Asynchron-generator DSA www.wind-energie.de www.vem-group.com	Bei Windenergieanlagen ändert sich die Drehzahl von 0,5- bis 1,1-facher Nenndrehzahl je nach Wind. Deshalb ist direkte Verbindung zum 50-Hz-Netz nicht möglich. Bei Anlagen bis etwa 50 kW wird ein <i>Umrichter mit Zwischenkreis URZ</i> angewendet (Bild, Seite 420). Bei Anlagen bis 2 MW kommt als Generator eine Schleifringläufermaschine als <i>untersynchrone Stromrichtererkaskade USK</i> in Betracht. Der Ständer nimmt dabei Blindleistung auf, der Läufer gibt die Schlupfenergie an das Netz ab (Bild). Der <i>doppelt speisende Asynchrongenerator DSA</i> ist eine weiter entwickelte USK mit geregelten Stromrichtern für Leistungen bis über 5 MW. Das 50-Hz-Netz wird vom Ständer und vom Läufer gespeist (Bild unten). Vorteil gegen URZ: Nur 30 % der Leistung gehen über die empfindliche Elektronik.	 <p>Windenergieanlage mit USK (Prinzip)</p>	
 <p>Doppelt speisender Asynchrongenerator DSA (Prinzip)</p>			
AG Asynchrongenerator (GA)	DSA Doppelt speisender Asynchron-generator	URZ Umrichter mit Zwischenkreis USK Untersynchrone Stromrichtererkaskade f Frequenz	I_{err} Erregerstrom n Drehzahl p Polpaarzahl



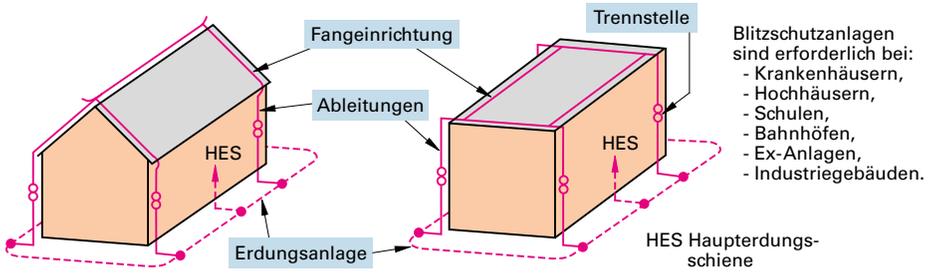
Merkmale	Erklärung	Bemerkungen
Überspannungsschutz innerhalb von PV-Installationen	Überspannungsschutz ist nach DIN VDE 0100-443/534 in allen neu geplanten Gebäuden, auch in Einfamilienhäusern, verpflichtend. Ist in PV-Installationen auf der AC- und DC-Seite vorzusehen. Ein Blitzschutzsystem besteht aus äußerem und innerem Blitzschutz. Der äußere Blitzschutz hat Fangeinrichtungen sowie Ableitungen. Für den inneren Blitzschutz werden Überspannungsableiter (SPDs) eingesetzt. Eine PV-Anlage auf dem Dach erhöht im Allgemeinen die Blitzgefährdung nicht.	Der Verband der Sachversicherer (VdS) empfiehlt Blitzschutz bei PV-Anlagen ab 10 kWp. Ist eine Blitzschutzanlage vorhanden, so ist die PV-Anlage in das vorhandene Blitzschutzkonzept nach DIN VDE 0185 zu integrieren. Ist keine Blitzschutzanlage vorhanden, so ist in der Regel auch keine notwendig.
Leitungsführung von PV-Installationen	Um bei Blitzschlag Induktionsspannungen auf Leitungen zu vermeiden, dürfen bei der Leitungsverlegung keine großflächigen Leiterschleifen gebildet werden. DC-Leitungen sollten eine kritische Länge, z.B. 10 m, nicht überschreiten, andernfalls sind SPDs dazwischen zu schalten.	Energieleitungen (DC und AC) und Datenleitungen sind im gesamten Verlauf gemeinsam mit dem Potenzialausgleich zu verlegen. Weiterhin sind diese erd- und kurzschlussicher zu verlegen.
Potenzialausgleich	Zur Vermeidung von Überspannungen ist ein Potenzialausgleich mit Erdung zur Haupterdungsschiene notwendig. Der Querschnitt der Potenzialausgleichsleitungen ist zu beachten.	Montagegestelle für die PV-Module sind in den Potenzialausgleich > 6 mm ² (Kupferleiter) einzubeziehen. Der Potenzialausgleichsleiter muss an eine geeignete Erdungsklemme angeschlossen werden.
Überspannungsschutzgeräte	Bei Blitzentladungen werden Überspannungen in elektrische Leiter durch Induktion übertragen. Zum Schutz der elektrischen Systeme im Gebäude durch Blitzschlag werden Überspannungsschutzgeräte (SPD, Seite 308) eingebaut.	Diese SPDs sind vor den zu schützenden Geräten auf der AC-, DC- und Datenseite zu installieren. Je nach Ableitvermögen und Schutzpegel, z.B. 1,5 kV, unterscheidet man SPD vom Typ 1, Typ 2 und Typ 3.
Trennungsabstand	Damit es bei einem äußeren Blitzschlag zwischen der Fotovoltaikanlage und deren benachbarten Metallteilen, z.B. den Modulgestellen, zu keinem Spannungsüberschlag kommt, ist ein Trennungsabstand <i>s</i> zwischen dem Blitzschutzsystem und der Fotovoltaikanlage einzuhalten. Durch einen unkontrollierten Blitzschlag, z.B. auf Elektroleitungen, kann es zu Schäden an den angeschlossenen Verbrauchern kommen. Auch kann dadurch ein Gebäudebrand entstehen.	Fangeinrichtungen: - Fangleitung - Fangstange - Fangspitze
Fangeinrichtung	Der Trennungsabstand <i>s</i> wird z. B. durch den Durchmesser der Fangstange bestimmt. Je nach Einhaltung des Trennungsabstands sind die Querschnitte der Potenzialausgleichsleitungen zur Haupterdungsschiene verschieden und sind einzuhalten. Ggf. Modul-Rahmen leitfähig mit Blitzschutzsystem verbinden.	 Beispiel: Fangstange $\varnothing = 10 \text{ mm} \Rightarrow s = 1,08 \text{ m}$ Potenzialausgleichsleitung: • <i>s</i> eingehalten: 6 mm ² (Kupfer) • <i>s</i> unterschritten: 16 mm ² (Kupfer)



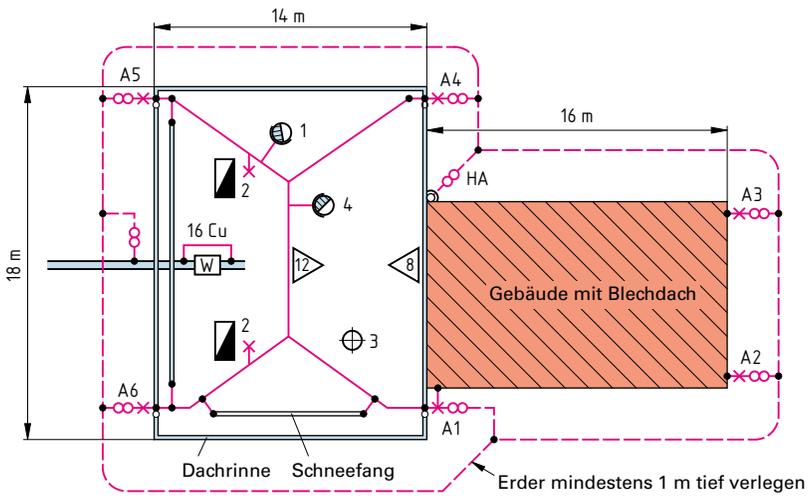
Fotovoltaikanlage mit äußerem Blitzschutz (Trennungsabstand *s* eingehalten)



Prinzip äußerer Blitzschutz

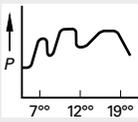
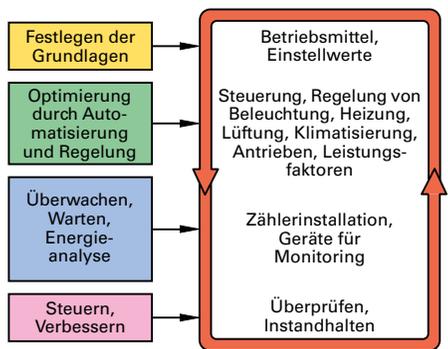


Plan einer Blitzschutzanlage



Kurzzeichen	Bedeutung	Kurzzeichen	Bedeutung
	Gebäudeumrisse und Dachhöhen Zahl im Dreieck gibt First- oder Traufhöhe in m an		Fangleitungen und Ableitungen, außen
	Kamin, Rauchfang Zahlen ≙ Höhe in m		Innen: Fangleitungen und Ableitungen, unter Putz
	Rohr, Mast, Antenne Zahlen ≙ Höhe in m		Fangstange, Fangspitze
	Dachständer Zahlen ≙ Höhe in m		Trennstelle
	Rohrleitungen und Rinnen aus Metall		Anschlüsse an Rohre, Rinnen und Bleche
			Horizontaler, Erdungsleiter
	Zähler, z. B. Wasserzähler		Vertikalerder



Merkmal	Erklärung	Bemerkungen																																			
Energieeffizienz-Management Lastprofile 	Energieeffizienz (EE) wird erreicht durch Maßnahmen bei Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie. Lastprofile kennzeichnen den Leistungsbedarf P von Verbrauchern und Einrichtungen über einen Zeitraum. In DIN VDE 0100-801 sind Standard-Lastprofile gegeben, z.B. H0 Haushalt, G1 Gewerbe allgemein, G5 Gewerbe Bäckerei, L1 Landwirtschaft mit Milchwirtschaft.																																				
Lastabschaltung	Lastabschaltung dient dazu, Spitzenlasten zu vermeiden. Schaltanlage und Transformator sollten wegen EE nahe beieinanderliegen → Lastschwerpunkt.																																				
Kabel, Leitungen	Ein Regeln der Leistungsaufnahme ist bei der Auswahl von Kabeln und Leitungen zu berücksichtigen.																																				
Zonen, Maschen	Masche: Stromkreis oder mehrere Stromkreise. Zone: z.B. Wohnraum, Stockwerk oder Gebäude.	Entsprechend der Maschen, Zonen kann der Energieverbrauch gemessen, analysiert und optimiert werden.																																			
Ermittlung der el. Energieeffizienzklasse EE_x Punktesystem, siehe auch folgende Seite	Erfolgt für el. Anlagen von Wohnungen, Industrie-, Gewerbe-, Infrastrukturanlagen über ein Punktesystem (Tabelle unten). EE0 bedeutet niedrige Effizienz, EE5 sehr hohe. Die Gesamtpunktzahl erfolgt durch Addition von Punkten für z.B. Energieverbrauch, Spannungsfall, Wirkungsgrad Transformatoren, Abschaltbarkeit von Verbrauchern, Anzahl über ein Energiemanagement verwaltete Verbraucher, Leistungsüberprüfung, Oberschwingungsgehalt am Einspeisepunkt, Anteil erneuerbarer Energien, Speicherung der erfassten Daten. Die Berechnung der Punkte des Energieverbrauchs erfolgt nach Formel 1, zusammen mit Tabelle rechts .	$E_{\%} = \frac{E_L \cdot 100\%}{E_A}$																																			
	Punkttabellen der anderen Merkmale → DIN VDE 0100-801, folgende Seite.	$E_{\%}$ Energieverbrauch in % E_L Jahres-Energieverbrauch der Lasten, an denen der Energieverbrauch gemessen wird E_A Jahres-Energieverbrauch der Anlage $[E_L] = [E_A] = \text{kWh (1 kWh} = 3,6 \text{ MJ)}$																																			
Energie-management Energie-monitoring Energie-controlling	Erfolgt computerunterstützt anhand von Messdaten bzgl. Verbrauch von z.B. Strom, Wasser, Gas, Heizenergie, Kühlenergie. Als Ergebnis werden Energieberichte, Energieberechnungen erstellt, ggf. werden Regelungsabläufe gestartet, Verbraucher wie Waschmaschinen zu energie günstigen Zeiten geschaltet, Energiespeicher, z.B. von Elektrofahrzeugen, geladen.	Punkte-Bestimmung des Energieverbrauchs <table border="1"> <thead> <tr> <th>$E_{\%}$ in %</th> <th>Whg.</th> <th>Ind. Geb.</th> <th>gwl. Geb.</th> <th>Infr.st.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 50</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>≥ 50 < 65</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>≥ 65 < 75</td> <td>6</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>≥ 75 < 83</td> <td>10</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>≥ 83 < 90</td> <td>16</td> <td>6</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>≥ 90</td> <td>20</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table> <p>Whg. Wohnung, Ind. Geb. Industriegebäude, gwl. Geb. gewerbliches Gebäude, Infr.st. Infrastruktur Gebäude</p> <p>Smart Grids und Smart-Home-Anlagen sind zusammen mit Smart Meter Voraussetzung für ein Energiemanagement(system). Verwandte Begriffe sind Energiemonitoring, Energiecontrolling.</p> <p>Bestandteil des Energiemanagements ist das Facilitymanagement (Software zur Verwaltung und Betreuung von Gebäuden und deren technischen Anlagen und Einrichtungen, facility = Einrichtung).</p> <p>www.bafa.de</p>	$E_{\%}$ in %	Whg.	Ind. Geb.	gwl. Geb.	Infr.st.	< 50	0	0	0	0	≥ 50 < 65	2	1	1	1	≥ 65 < 75	6	2	2	2	≥ 75 < 83	10	4	4	4	≥ 83 < 90	16	6	5	6	≥ 90	20	7	6	7
$E_{\%}$ in %	Whg.	Ind. Geb.	gwl. Geb.	Infr.st.																																	
< 50	0	0	0	0																																	
≥ 50 < 65	2	1	1	1																																	
≥ 65 < 75	6	2	2	2																																	
≥ 75 < 83	10	4	4	4																																	
≥ 83 < 90	16	6	5	6																																	
≥ 90	20	7	6	7																																	
Energieeffizienzklassen von elektrischen Anlagen und ihre Punktezahlen																																					
Effizienzklasse	Wohnungen	Industrieanlagen	Gewerbeanlagen	Infrastrukturanlagen	Notwendige Messungen																																
EE0	0 bis 14	0 bis 19	0 bis 18	0 bis 18	Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung, Wirkenergie, Scheinverbrauch, Frequenz, Strangstrom, Neutralleiterstrom, Leistungsfaktor, Spannung zwischen Außenleiter, Spannung zwischen Außenleiter/Neutralleiter, Oberschwingungsgehalt.																																
EE1	15 bis 30	20 bis 38	19 bis 36	19 bis 36																																	
EE2	31 bis 49	39 bis 63	37 bis 60	37 bis 59																																	
EE3	50 bis 69	64 bis 88	61 bis 84	60 bis 83																																	
EE4	70 bis 89	89 bis 113	85 bis 108	84 bis 106																																	
EE5	90 und mehr	114 und mehr	109 und mehr	107 und mehr																																	

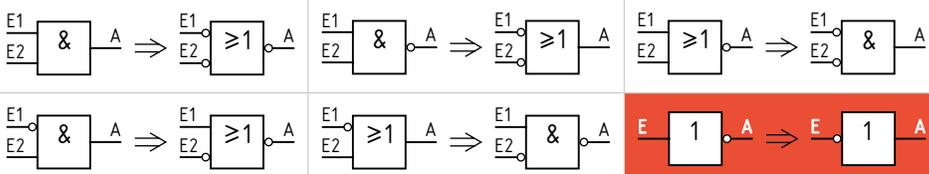


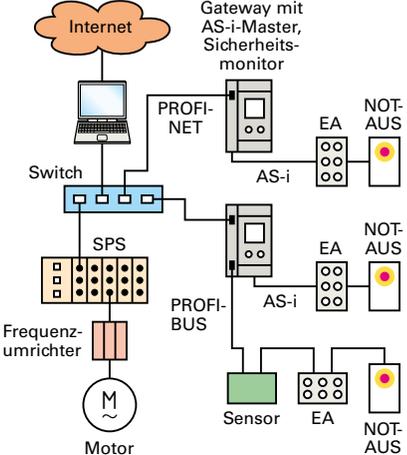
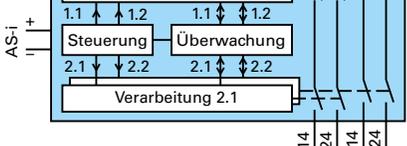
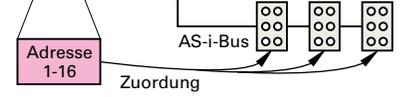
Schaltzeichen	Benennung der Verknüpfung	Kontaktschaltung	Schaltfunktion (Sprechweise)	Wertetabelle		
				b	a	x
	NICHT ¹ (Negation)		$x = \bar{a}$ oder $x = \neg a$ (a nicht) nicht genormt: $x = a'$ oder $x = \bar{a}$	0 1	0 1	1 0
	UND ¹ (Konjunktion)	 ¹ Pneumatik siehe Seite 465.	$x = a \wedge b$ (a und b)	0 0 1 1	0 1 0 1	0 0 0 1
	ODER ¹ (Adjunktion, Disjunktion)		$x = a \vee b$ (a oder b)	0 0 1 1	0 1 0 1	0 1 1 1
	NAND		$x = \bar{a} \vee \bar{b} = \overline{a \wedge b}$ $= a \bar{b}$ (a nand b)	0 0 1 1	0 1 0 1	1 1 1 0
	NOR		$x = \bar{a} \wedge \bar{b} = \overline{a \vee b}$ $= a \bar{b}$ (a nor b)	0 0 1 1	0 1 0 1	1 0 0 0
	Exklusiv-ODER Antivalenz, Exklusiv-OR, XOR		$x = (a \wedge \bar{b}) \vee (\bar{a} \wedge b)$ $= a \leftrightarrow b$ (a xor b)	0 0 1 1	0 1 0 1	0 1 1 0
	Exklusiv-NOR, Äquivalenz, XNOR		$x = (a \wedge b) \vee (\bar{a} \wedge \bar{b})$ $= a \leftrightarrow b$ (a Doppelpfeil b)	0 0 1 1	0 1 0 1	1 0 0 1
	Inhibition (Sperrelement)		$x = \bar{a} \wedge b$	0 0 1 1	0 1 0 1	0 0 1 0
	Implikation, Subjunktion		$x = \bar{a} \vee b = a \rightarrow b$ (a Pfeil b)	0 0 1 1	0 1 0 1	1 0 1 1
	(m aus n)- Element		Z.B. bei 2 aus 3: $x = (\bar{a} \wedge b \wedge c) \vee$ $(b \wedge a \wedge c) \vee$ $(c \wedge a \wedge b)$	$x = 1$, nur wenn an m von n Eingängen Wert 1 anliegt ($m < n$).		

Gleichwertige Darstellung von binären Verknüpfungselementen mit & und ≥ 1

Ein gleichwertiges Schaltzeichen wird entsprechend den de Morgan'schen Regeln wie folgt gebildet (Ausnahme beim NICHT-Element):

1. Alle & werden ≥ 1 ;
2. Alle ≥ 1 werden &;
3. Alle Anschlüsse werden gegenüber dem Ausgangszustand invertiert.



Merkmal	Erklärung	Bemerkungen, Darstellung
Aufgabenstellung	Bei Feldbussen ist die Anzahl der anzuschließenden Sensoren, Aktoren (Teilnehmer) begrenzt, bei AS-i z.B. bis zu 62 Teilnehmer (Slaves) je Master mit je vier Eingängen und Ausgängen. Große Anlagen erfordern oft mehrere zu koppelnde Busstränge, Feldbusse (Querkommunikation).	Mehrere Feldbusse, auch verschiedener Hersteller, können wegen der Trennung von sicherheitsrelevanten Signalen und Standardsignalen insbesondere bei Alt-Anlagen vorhanden sein. Oft ist allerdings ein gemischtes Verarbeiten dieser Signale notwendig, idealerweise sogar über die gleiche Feldbus-Leitung.
Gateway	<p>Querkommunikation über verschiedene Feldbusse hinweg, z.B. AS-i zu PROFIBUS, CAN-Bus, auch PROFINET, erfordert Gateways mit entsprechenden Schnittstellen. Für den AS-i-Feldbus besitzt solch ein Gateway auch einen AS-i-Master.</p> <p>Über Gateways ist ein Zugriff auf alle Sensor-, Aktordaten im Feldbus gegeben. Bei integrierem Sicherheitsmonitor (unten) erfolgt ständiges „Abhören“ der Busleitungen.</p>	
Komponenten	Switches ermöglichen das Verbinden mehrerer Gateways für Feldbusse sowie das Anbinden an einen übergeordneten Computer. Ferndiagnose von Anlagen ist damit über Internet möglich. Wireless-Komponenten sind verfügbar.	
F-Module	F-Module (fail secure, ausfallsicher) in Feldbussen ermöglichen wegen ihrer F-Eingänge E und F-Ausgänge A F-Anwendungen, z.B. Ansteuerung von Lichtvorhängen, NOT-AUS-Tastern, Zweihandbedienungs-Schaltern über SPS, Industrie-PC. Auch Module mit F-EA und Standard-EA sind verfügbar.	
Sicherheits-Technologie	Mehrfache Auslegung von Hardwarestrukturen in den Schaltgeräten zum parallelen Bearbeiten von Daten. Dadurch Gewährleistung der Ausfallsicherheit.	
Sicherheitsmonitor	Ein Sicherheitsmonitor (als eigenes Hardware-Modul oder integriert in einem Gateway) überwacht die Datenübertragung bei AS-i zwischen Master und zugeordneten sicheren Eingängen, Ausgängen. Bei Auftreten eines sicherheitsrelevanten Ereignisses, z.B. NOT-AUS, veranlasst der Sicherheitsmonitor zentrales Abschalten.	
Datenübertragung	Das Datenübertragen zwischen Master (bei AS-i) und Busteilnehmern wird überwacht. In jedem Übertragungszyklus sind 4 Bits zur Überwachung enthalten. Nach acht Zyklen muss die Folge übertragen sein, sonst erfolgt Abschaltung (4x8-Bit-Codetabelle). Eingangsmodule senden ihre Codes zum Prüfen an den Sicherheitsmonitor, dieser seinen Code zum Prüfen an die Ausgangsmodule.	<p>Parallele Strukturen im Sicherheitsmonitor</p> <p>Der Abschaltcode infolge betätigtem Signalgeber, defektem Busteilnehmer oder Leitungsbruch ist der gleiche. Sicherheitsrelevante Signale und Standard-signale können somit über die gleiche AS-i-Busleitung übertragen werden.</p> <p>www.ifm.com; www.bihl-wiedemann.de; www.siemens.com</p>
Konfiguration	Der Sicherheitsmonitor bzw. das Gateway wird über USB-Schnittstelle mittels Software, z.B. ASIMON, am PC konfiguriert (eingestellt). Es werden dabei den zu überwachenden Busabschnitten Adressen zugeordnet. Den sicheren Ausgangsmodule eines Busabschnitts wird dann dessen Adresse zugewiesen. Bei Eintritt von z.B. NOT-AUS erfahren dies alle Teilnehmer im Busabschnitt vom Sicherheitsmonitor gleichzeitig und „schalten aus“.	
Freigabebereich		 <p>Adressierung von sicheren Ausgangsmodulen</p>

Baugruppen		
Art	Erklärung	Daten, Beispiele
<p>Messgrößen</p> <p>Sensoren und Messwertumformer</p>	<p>Mit Sensoren werden die benötigten Größen erfasst. Messumformer wandeln die Messgrößen in entsprechende Signale, z.B. 0 mA bis 20 mA, 0 V bis 10 V, um. Übertragungseinrichtungen leiten diese weiter.</p>	<p>Drehzahl: 20/min bis 7 000/min. Temperatur: – 40 °C bis 160 °C. Für das Messen von Spannungen, Strömen und Leistungen von Generatoren und Motoren.</p>
<p>Zentrale mit Bildschirmgeräten</p>	<p>In der Zentrale werden die eingehenden Signale ausgewertet und im Leitstand angezeigt. Auswertungen erfolgen automatisch oder durch Dialog mit dem Bedienpersonal.</p>	<p>Je nach der anfallenden Datenmenge werden PC, SPS oder Prozessrechner verwendet.</p>
<p>Aktoren und Steuereinrichtung</p>	<p>Steuereinrichtungen setzen die Signale der Zentrale so um, dass über entsprechende Aktoren die Anlage gesteuert werden kann.</p>	<p>Aktoren sind Schütze, Relais, Ventile, Pumpen, Servomotoren.</p>
Messwertübertragungseinrichtungen		
Übertragungsart	Erklärung	Daten
<p>Gleichstromleitung</p>	<p>Die Messgröße kann als eingepreßte Messspannung U_a oder als eingepreßter Messstrom I_a übertragen werden. Meist werden verdrillte Zweidrahtleitungen verwendet, z.B. J-Y(St)Y2x2x0,8.</p>	<p>Ausgangsgleichspannung U_a von 1 V bis 10 V. Kurzschlussstrom ≤ 50 mA. Ausgangsgleichströme I_a 2,5 mA, 5 mA, 10 mA, 20 mA. Leerlaufspannung ≤ 30 V.</p>
<p>Lichtwellenleitung (LWL)</p>	<p>Sender und Empfänger für Lichtwellenleitungen werden zur optischen Übertragung von digitalen Daten verwendet. Der Sender arbeitet mit IRED, LED oder Laserdiode¹ LD, der Empfänger mit einer Fotodiode.</p>	<p>Bitrate für TTL-Übertragung bis 5 Mbit/s. Bitrate für V.24-Übertragung (RS232) bis 100 kbit/s. Übertragungsentfernung je nach Kabel: 200 m bis 3 000 m.</p>
<p>Tonfrequenz</p>	<p>Die Pulsfrequenz schaltet den Tonfrequenzsender entsprechend ein und aus. Der Tonfrequenzempfänger arbeitet als AM-Empfänger, der das jeweilige Sendesignal selektiv ausfiltert und eingepreßte Ausgangssignale abgibt.</p>	<p>Frequenzbereich 300 Hz bis 3400 Hz. Kanalarbeit 1 bis 25. Frequenzabstand 120 Hz/Kanal. Sendepiegel ≤ 625 mV bei 1 Kanal. Sendersummenpegel ≤ 385 mV für alle verwendeten Kanäle.</p>
<p>Pulsfrequenz</p>	<p>Die Eingangsgröße wird in ein Signal mit einer proportionalen Pulsfrequenz umgeformt. Auf der Empfängerseite wird aus den Sendepulsen mit einem Frequenz-Spannungs-Umsetzer ein zur Frequenz proportionaler, eingepreßter Gleichstrom oder eine eingepreßte Gleichspannung erzeugt.</p>	<p>Frequenzbereich 5 Hz bis 15 Hz. Für $u_e = 0$ V ist bei unipolarem Eingang $f_0 = 5$ Hz, bei bipolarem Eingang $f_0 = 10$ Hz. Impulsform rechteckförmig. Tastgrad $g = 0,5$. Spannungspegel bei Einfachimpulsen 20 V, bei Doppelimpulsen ± 20 V.</p>
<p>f_0 ungetastete Frequenz I_a Ausgangsstrom LWL Lichtwellenleiter n Drehzahl (Messgrößenbeispiel)</p>	<p>t Zeit U_a Ausgangsspannung U_e Eingangsspannung</p>	<p>¹ Laser von Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.</p>



Bereich	LW*	MW*	UKW	FI	DAB+	FIV/V	FVI	
Empfangs-Antenne	Draht- oder Stabantenne, Ferritantenne	Dipole, Kreuzdipole, Richtant.	Richtantennen				Parabolantenne	Frequenzbereiche werden durch die Bundesnetzagentur verwaltet und in F-Bereiche, z. B. I bis VI, eingeteilt.
Frequenzbereich in MHz	0,149 bis 0,284	0,527 bis 1,607	87,5 bis 108	47 bis 68	174 bis 230	470 bis 862	10 700 bis 12 750	Bei FVI wird die Empfangsfrequenz im LNC (Low Noise Block Converter) auf 950 MHz bis 2150 MHz umgesetzt.
Antennenweiche	1,5 dB	1,5 dB	1,5 dB	1 dB	1 dB	0,5 dB	0,8 dB	$A_K = 40$ dB, $SM \geq 65$ dB
Stammleitungsverteiler	9 dB	9 dB	5,5 dB	5,5 dB	5,5 dB	6 dB	4,5 dB	$A_K = 22$ dB zwischen den Ausgängen, $SM \geq 65$ dB
Stichleitungsverteiler	A_D	1 dB	1 dB	1 dB	1 dB	1 dB	2,5 dB	$A_K = 36$ dB zwischen den Abzweigern, $SM \geq 65$ dB
	A_A	20 dB	20 dB	20 dB	20 dB	20 dB	15 dB	
Steckdosen für Einzel-Ant.-Anlagen	A_A	0,5 dB	0,5 dB	1 dB	0,8 dB	0,5 dB	0,5 dB	$A_K = 0$ dB, $SM \geq 65$ dB
	A_D	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	1,5 dB	
GA-Anlagen	A_A	16 dB	16 dB	16 dB	14 dB	14 dB	14 dB	$A_K = R_{df} \leftrightarrow TV \geq 50$ dB, $TV \leftrightarrow TV \geq 34$ dB, $SM \geq 65$ dB
	A_D	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	1,5 dB	
Ant.-Verstärk. Pegel	G_u	26 dB	26 dB	34 dB	34 dB	33 dB	34 dB	$SM = 61$ dB
L _{umax} am Ausgang	L_{umax}	111 dB μ V	111 dB μ V	116 dB μ V	L_{umax} gilt je Kanal bei Verstärkung von zwei Kanälen.			
	L_{umax}	111 dB μ V	111 dB μ V	116 dB μ V				

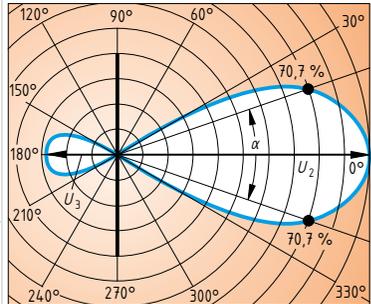
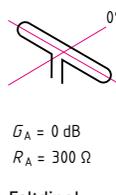
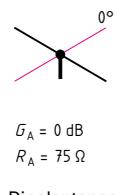
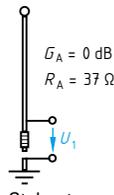
* LW-, KW-, MW-Bereiche (Lang-, Kurz-, Mittelwelle) werden in Deutschland für Rundfunk nicht mehr verwendet.

Antennen

Anschlussvorschrift:

$$R_i = Z_w = R_e$$

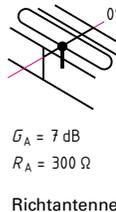
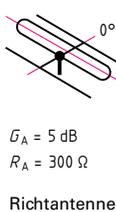
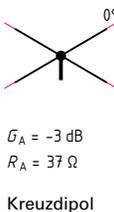
- R_i Antennenwiderstand
- Z_w Wellenwiderstand
- R_e Eingangswiderstand Empfänger



Richtcharakteristik einer Richtantenne

$$G_A = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1}$$

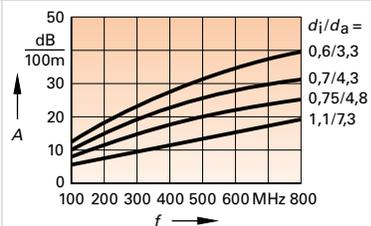
$$G_{VR} = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_3}$$



Koaxialleitung

$$Z_w = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

Wellenwiderstand Z_w : 75 Ω
 Gleichstromwiderstand bei 100 m Leitungslänge und Kurzschluss am Leitungsende: 2,3 Ω bis 10 Ω
 Schirmungsmaß: 55 dB bis 75 dB
 Verlegung: Auf Putz, in Isolierrohren. Sicherheitsabstand zu elektrischen Anlagen in Räumen: 10 mm im Freien: 20 mm

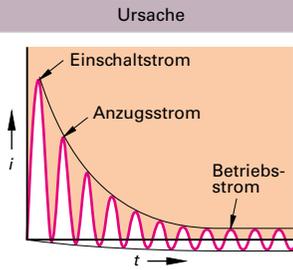


A Dämpfungsmaß, A_A Anschlussdämpfung, A_D Durchgangsdämpfung, A_K Kopplungsdämpfungsmaß, d_a Außendurchmesser, d_i Innendurchmesser, f Frequenz, G_A Antennengewinnmaß, G_u Spannungsverstärkungsmaß, G_{VR} Vor-Rück-Verhältnismaß, L_{umax} maximaler Spannungspegel, R_A Fußpunktwiderstand, SM Schirmungsmaß, U_1 Antennenspannung eines Dipols in Hauptempfangsrichtung, U_2 Spannung der Mehrelementeantenne in Hauptempfangsrichtung, U_3 Spannung der Mehrelementeantenne in Rückwärtsrichtung, α Öffnungswinkel.



Schaltung, Benennung	Erklärung
<p>U-Umrichter für PAM im Zweiquadrantenbetrieb</p>	<p>Vierquadrantenbetrieb zum Bremsen <i>mit</i> Energierückspeisung über TB1 mit Schaltung B6C ist möglich, wenn Zwischenkreisspannung U_z umgepolt wird. Motorleistung bis 10 kW.</p>
<p>Zwischenkreis des U-Umrichters für PAM im Vierquadrantenbetrieb</p>	<p>Vierquadrantenbetrieb zum Bremsen <i>ohne</i> Energierückspeisung (Verlustbremsung) ist bei Antrieben bis etwa 10 kW möglich, wenn in den Zwischenkreis der belastbare Widerstand R1 gelegt wird, der zum Bremsen über den IGBT Q1 an die Zwischenkreisspannung gelegt wird. Die vom Antrieb (z.B. Motor) beim Bremsen gelieferte Rückspeiseenergie gelangt in den Zwischenkreis und wird in R1 in Wärme umgesetzt.</p>
<p>U-Umrichter für PWM im Vierquadrantenbetrieb</p>	<p>In TB1 arbeiten die Dioden als Gleichrichter, die Thyristoren beim Bremsen (Nutzbremsung) als Wechselrichter. Spannungssteuerung in TB2 durch Steuerung der Pausendauern (gleichbleibend oder sinusbewertet), Frequenzsteuerung durch Impulszahl je Halbperiode. Motorleistung bis 500 kW.</p>
<p>U-Umrichter für PWM mit variabler Amplitude im Zweiquadrantenbetrieb</p>	<p>Am Ausgang von TB1 liegt wegen B6U eine konstante U_z. Diese wird von einem Gleichstromsteller je nach Bedarf herabgesetzt. In TB3 wird die variable U_z mit hoher Frequenz (bis 50 kHz) so getaktet, dass eine PWM entsteht. Spannungssteuerung durch Steuerung der Pausendauern <i>und</i> Steuerung der Spannungshöhe von U_z.</p>
<p>B1 Spannungswandler DC/DC I gegenparallel B2 Zweipuls-Brückenschaltung PAM Pulsamplituden-Modulation B6 Sechspuls-Brückenschaltung PWM Pulsweiten-Modulation C voll gesteuert SuR Steuern und Regeln HC halb gesteuert</p> <p>Sonstige Zeichen und Formelzeichen sind aus den Bildern erkennbar.</p>	<p>f_2 Ausgangsfrequenz n_{soll} Soll-Drehzahl U_2 Ausgangsspannung U_z Zwischenkreis-Spannung \bar{u} Mittelwert Spannung</p>

Prinzip

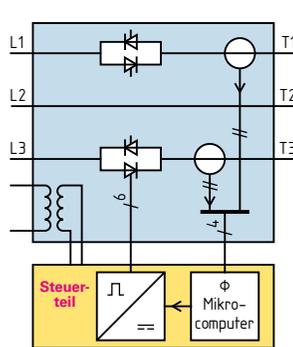


Stromverlauf

Ursache	Bedingung	Folgerung
	Anschluss an das öffentliche Niederspannungsnetz nach TAB	
	Motorenart	Bedingung
Einphasenmotoren	Scheinleistung nicht über 1,7 kVA.	Bei Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren mit einer Bemessungsleistung von mehr als 4 kW muss beim Einschalten die Spannung heruntergesetzt sein, damit der Einschaltstrom, der bis zum 10-Fachen des Bemessungsstroms betragen kann, begrenzt bleibt. Der Einschaltstrom sinkt im selben Verhältnis, wie die Spannung herabgesetzt wird. Dagegen nimmt das Drehmoment etwa quadratisch ab, bei halber Spannung also auf ein Viertel.
Drehstrommotoren	Anzugsstrom nicht über 60 A oder Scheinleistung bis 5,2 kVA bei gelegentlichem Schalten.	

Anlaufschaltungen

Schaltung	Erklärung	Bemerkungen
Direktes Einschalten	Einschalten z.B. mit Motorschalter, elektromagnetischem Schütz oder Halbleiterschütz.	Am öffentlichen Netz bei Drehstrommotoren bis 4 kW möglich.
Einschalten mit Stern-Dreieck-Schalter	In der Sternschaltung beträgt der Einschaltstrom nur ein Drittel des Einschaltstroms der Dreieckschaltung.	Am öffentlichen Netz für Bemessungsleistung bis 11 kW. Bemessungsleistung und Moment sind in Y nur ein Drittel der Werte in Δ.

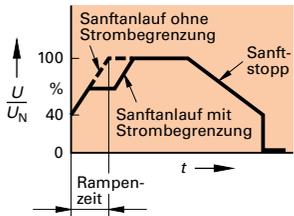


Elektronischer Motorstarter

Der *Steuer-teil* enthält einen Mikrocomputer und eine Steuereinheit zur Erzeugung der Impulse für die IGBTs oder Thyristoren. Die Motorstarter haben meist zwei oder drei Antiparallelschaltungen von IGBTs oder Thyristoren. T1, T2, T3 Lastanschlüsse.

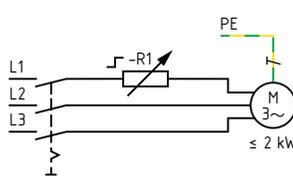
Elektronische Motorstarter erhöhen während der Anlaufzeit mittels An- oder Abschnittsteuerung die Spannung an den Motorklemmen von etwa 40 % auf 100 % der Bemessungsspannung des Motors.

Elektronische Motorstarter trennen wegen der Halbleiter nicht sicher vom Netz. Es muss deshalb immer ein Schalter mit Trennvermögen vorgeschaltet sein, z.B. Leitungsschutzschalter.



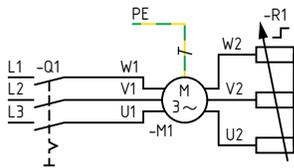
Spannungsverlauf beim elektronischen Motorstarter

Geeignet am öffentlichen Netz für Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren bis zu einer Bemessungsleistung von 15 kW. Siehe auch Seite 482.

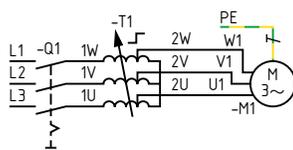


Kusa-Schaltung

Herabsetzung der Spannung durch drei Drosselspulen oder drei Wirkwiderstände. Bei Drehstrommotoren mit der Angabe Y 400 V kann am 400-V-Netz ein Sternpunktanlasser, auch als Flüssigkeitsanlasser mit Elektrolyt, verwendet werden. Für Motoren bis 2 kW kann die Kusa-Schaltung (Kusa von Kurzschlussläufer-Sanftanlauf) mit nur einem Widerstand verwendet werden.



Schaltung mit Sternpunktanlasser



Schaltung mit Anlauftransformator

Herabsetzung der Spannung durch einen stellbaren Drehstromtransformator, meist in Sternschaltung. Der Einschaltstrom aus dem Netz wird dabei herabgesetzt durch die kleinere Spannung und durch die Stromübersetzung des Transformators.

Mit Anlauftransformatoren können Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren bis zu einer Bemessungsleistung von 15 kW angelassen werden.

Nachteilig beim Anlassen mit Transformator zum Herabsetzen der Anlaufspannung sind die hohen Anschaffungskosten.

