



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

# Tabellenbuch Elektrotechnik

Tabellen

Formeln

Normenanwendung

## 24. neu bearbeitete und erweiterte Auflage

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

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

Europa-Nr.: 30103

Autoren des Tabellenbuchs Elektrotechnik:

Häberle, Gregor	Dr.-Ing., Abteilungsleiter	Tettngang
Häberle, Heinz	Dipl.-Gewerbelehrer, VDE	Kressbronn
Jöckel, Hans-Walter	Dipl.-Ing. (FH), Oberstudienrat	Friedrichshafen
Krall, Rudolf	Ing. (grad.), Berufsschuloberlehrer	St. Leonhard
Schiemann, Bernd	Dipl.-Ing., Studiendirektor	Ulm, Stuttgart
Schmitt, Siegfried	staatl. gepr. Techniker, Techn. Oberlehrer	Friedrichshafen
Tkocz, Klaus	Dipl.-Ing. (FH)	Kronach

Leitung des Arbeitskreises:

Dr.-Ing. Häberle, Tettngang

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Das vorliegende Buch wurde auf der **Grundlage der aktuellen Rechtschreibregeln und lernfeldorientiert** erstellt. Wenn die Rechtschreibregeln mehrere Formen zulassen, wurde die von der Duden-Redaktion empfohlene Form angewendet.

Auszüge aus DIN-Normen mit VDE-Klassifikation sind für die angemeldete limitierte Auflage wiedergegeben mit Genehmigung 42.011 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 und der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin erhältlich sind.

24. Auflage 2011

Druck 5 4 3 2 1

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

ISBN 978-3-8085-3220-1

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald  
unter Verwendung eines Fotos der Bilddatenbank  
[www.fotolia.de](http://www.fotolia.de) : © erdquadrat-fotolia.com

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

© 2011 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Tutte Druckerei GmbH, 94121 Salzweg b. Passau  
Druck: B.o.s.s Druck und Medien GmbH, 47574 Goch

MATHEMATIK, PHYSIK, SCHALTUNGS-  
THEORIE, BAUELEMENTE

11 ... 66

G

TECHNISCHE DOKUMENTATION,  
MESSEN

67 ... 118

TM

ELEKTRISCHE INSTALLATION

119 ... 192

EI

SICHERHEIT, ENERGIEVERSORGUNG

193 ... 268

SE

INFORMATIONEN- UND KOMMUNIKATIONSTECHNISCHE SYSTEME

269 ... 318

IK

AUTOMATISIERUNGS- UND ANTRIEBS-  
SYSTEME, STEUERN UND REGELN

319 ... 402

AS

WERKSTOFFE, VERBINDUNGSTECHNIK

403 ... 434

W

BETRIEB UND SEIN UMFELD,  
UMWELTTECHNIK, ANHANG

435 ... 512

BU

Die Weiterentwicklungen der Technik und der Lernorganisationen führte zu einer Überarbeitung und Erweiterung des Buches und macht es damit zu einem Kompendium. Neue und aktualisierte Inhalte sind nachstehend *kursiv* (schräg) gedruckt.

- **Teil M: Mathematik, Physik, Schaltungstheorie, Bauelemente** *Formelzeichen, Größen und Einheiten, mathematische Zeichen, Potenzen, Vorsätze, Kraft, Kraftmoment, Bewegungslehre, Arbeit, Leistung, Wärme, Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand, elektrisches und magnetisches Feld, Wechselgrößen. Schaltungen von R, L, C, Drehstrom, Oberschwingungen, Widerstände und Kondensatoren, Dioden, Transistoren, Thyristoren, magnetfeldabhängige und fotoelektronische Bauelemente.*
- **Teil TM Technische Dokumentation, Messen** *Technisches Zeichnen, Maßeintragung, Schaltpläne, Schaltzeichen, Vergleich von Schaltzeichen, Erstellen einer Dokumentation, Aufbau einer Betriebsanleitung. Messgeräte und Messwerke, Messkategorien, Messen in elektrischen Anlagen, Elektrizitätszähler, Oszilloskop, Messen mit Sensoren.*
- **Teil EI Elektrische Installation** *Arbeiten in elektrischen Anlagen, Leitungsverlegung, Leitungsführung, Installationsschaltungen, Sprechanlagen, Dimmertypen, Elektroinstallation mit Niedervolt-Halogenlampen, feldarme Elektroinstallation, Gebäudeleittechnik und Gebäudesystemtechnik, Hausanschluss, Hausinstallationen, Leitungsberechnung, Lichttechnik, Beleuchtungstechnik, LED-Leuchtmittel, Leuchtröhrenanlage.*
- **Teil SE Sicherheit, Energieversorgung** *Erste Hilfe, Arbeitsschutz, Arbeitssicherheit, Unfallverhütung, Differenzstromgeräte, Basisschutz, Fehlerschutz, zusätzlicher Schutz, Leiter für die Schutzmaßnahmen, Kraftwerksarten, Isolierstoffklassen, Transformatoren, Freileitungsnetze, Erdkabel, PV-Anlage, Brennstoffzellen, Elektrochemie, Primärelemente, Akkumulatoren, SSV-Anlagen, elektromagnetische Verträglichkeit EMV, Blitzschutz, Qualität der Stromversorgung, Kompensation, Sicherheitstechnik, Raumheizung, Heizwärmeverbrauch, Energie-Effizienz, Hausgerätetechnik, Stromtarife.*
- **Teil IK Informations- und kommunikationstechnische Systeme** *Zahlensysteme, Codes, Schaltalgebra, Flipflops, DA-Umsetzer, AD-Umsetzer, Modulation und Demodulation, Personal-Computer PC, Netze der Informationstechnik, Komponenten für Datennetze, Ethernet, Funk-LAN, AS-i-Bussysteme, Interbus, PROFIBUS, Identifizierungssysteme, Anschluss an das Telefonnetz, Internet, Antennenanlagen, SAT-Anlagen, Multimedieverkabelung.*
- **Teil AS Automatisierungs- und Antriebssysteme, Steuern und Regeln** *Hilfsstromkreise von Steuerungen, Stromrichter, Schaltnetzteile, Kippschaltungen, Steuerrelais, Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS, Programmiersprachen für SPS, Steuerungstechnik, Ablaufsteuerung GRAFCET, Schütze, Motorschutz, elektrische Ausrüstung von Maschinen, Regelungstechnik, Drehstrommotoren, Wechselstrommotoren, Gleichstrommotoren, Effizienz von Antrieben, Servomotoren, Kleinmotoren, Linearantriebe, Piezo-Antriebe.*
- **Teil W Werkstoffe, Verbindungstechnik** *Periodensystem, Stoffwerte, Stahlnormung, Magnetwerkstoffe, Isolierstoffe, Leitungen, Erdkabel, Steckverbinder, lötfreie Anschlussstechnik, Gewinde, Schrauben und Muttern.*
- **Teil BU Betrieb, Umfeld, Umwelttechnik, Anhang** *Organisationsformen, Arbeiten im Team, Arbeitsplanung, Kosten und Kennzahlen, Qualifikationen der Elektrofachkraft, Durchführung von Projekten, Umgang mit Konflikten, Kommunikation mit Kunden, Umwelttechnische Begriffe, gefährliche Stoffe, Elektroschrott, Normen, Kurzformen, fachliches Englisch, Sachwortverzeichnis, Firmen und Dienststellen.*

Normänderungen wurden übernommen, z. B. bei den Begriffen nach DIN VDE 0100-200. Allgemein ist zu beachten, dass vielfach die Normen verschiedene Formen 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 Buches führten. Gerne nehmen wir auch künftig konstruktive Verbesserungsvorschläge dankbar entgegen. Diese können auch mit E-Mail an [lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de) gerichtet sein.

Lernfelderauswahl .....	9	Magnetfeldabhängige Bauelemente .....	62
Literaturverzeichnis .....	10	Fotoelektronische Bauelemente .....	63
<b>Teil G:</b>		Schutzbeschaltung von Dioden und Transistoren	64
<b>Mathematik, Physik, Schaltungstheorie,</b>		Bauelemente für den Überspannungsschutz ....	65
<b>Bauelemente .....</b>	<b>11</b>	Kühlung von Halbleiter-Bauelementen .....	66
Formelzeichen dieses Buches .....	12	<b>Teil TM:</b>	
Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses		<b>Technische Dokumentation, Messen .....</b>	<b>67</b>
Buches .....	13	Grafische Darstellung von Kennlinien .....	68
Internationale Formelzeichen .....	14	Allgemeines Technisches Zeichnen .....	69
Größen und Einheiten .....	15	Zeichnerische Darstellung von Körpern .....	70
Mathematische Zeichen .....	17	Maßpfeile, besondere Darstellungen .....	71
Potenzen, Vorsätze, Logarithmen,		Maßeintragung .....	72
Dreisatzrechnung .....	18	Maßeintragung, Schraffur .....	73
Winkel, Winkelfunktionen, Prozentrechnen ....	19	Schaltpläne als funktionsbezogene Dokumente .	74
Beziehungen zwischen den Winkelfunktionen ...	20	Weitere funktionsbezogene Dokumente .....	75
Längen und Flächen .....	21	Ortsbezogene und verbindungsbezogene	
Körper und Masse .....	22	Dokumente .....	76
Masse, Kraft, Druck, Kraftmoment .....	23	Kennzeichnung in Schaltplänen .....	77
Bewegungslehre .....	24	Kennbuchstaben der Objekte (Betriebsmittel) ...	78
Mechanische Arbeit, mechanische Leistung,		Unterklassen für Aufgaben von Objekten .....	79
Energie .....	25	Kontaktkennzeichnung in Stromlaufplänen .....	80
Übersetzungen .....	26	Schaltzeichen .....	81
Rollen, Keile, Winden .....	27	Allgemeine Schaltzeichen .....	82
Wärme .....	28	Zusatzschaltzeichen, Schalter in Energieanlagen	83
Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand ...	29	Messinstrumente und Messgeräte .....	84
Elektrische Leistung, elektrische Arbeit .....	30	Halbleiterbauelemente .....	85
Elektrisches Feld, Kondensator .....	31	Binäre Elemente .....	86
Wechselgrößen, Wellenlänge .....	32	Analoge Informationsverarbeitung, Zähler und	
Leistung bei Sinuswechselstrom, Impuls .....	33	Tarifschaltgeräte .....	88
Magnetisches Feld, Spule .....	34	Elektroakustische Umsetzer und	
Elektrische Feldstärken und magnetische		Antennenanlagen .....	89
Feldstärken .....	35	Schaltzeichen für Installationsschaltpläne und	
Strom im Magnetfeld, Induktion .....	36	Installationspläne .....	90
Schaltung von Widerständen .....	37	Installationsschaltpläne .....	92
Bezugspeile, Kirchhoff'sche Regeln,		Schaltzeichen für Übersichtsschaltpläne .....	93
Spannungsteiler .....	38	Spulen, Transformatoren, Transduktor,	
Potentiometer .....	39	drehende Generatoren .....	94
Ersatzspannungsquelle, Ersatzstromquelle,		Einphasenwechselstrommotoren und Anlasser .	95
Anpassung .....	40	Drehstrommotoren und Anlasser .....	96
Grundsaltungen von Induktivitäten und		Motoren mit Stromrichterspeisung .....	97
Kapazitäten .....	41	Vergleich von Schaltzeichen .....	98
Schalten von Kondensatoren und Spulen .....	42	Hydraulische und pneumatische Elemente .....	100
Reihenschaltung von $R, L, C$ .....	43	Symbole der Verfahrenstechnik .....	101
Parallelschaltung von $R, L, C$ .....	44	Erstellen einer Dokumentation über Geräte	
Ersatz-Reihenschaltung und Ersatz-		und Anlagen .....	102
Parallelschaltung .....	45	Aufbau und Inhalt einer Betriebsanleitung .....	103
Einfache Filter .....	46	Elektrische Messgeräte und Messwerke .....	104
Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom) .....	47	Piktogramme für die Messtechnik .....	105
Unsymmetrische Last, Netzwerkwandlung,		Mess-Schaltungen zur Widerstandsbestimmung	106
Brückenschaltung .....	48	Messbereichserweiterung .....	107
Oberschwingungen .....	49	Messung in elektrischen Anlagen .....	108
Widerstände und Kondensatoren .....	50	Niederspannungs-Schaltungen für	
Farbkennzeichnung von Widerständen und		Leistungsmessgeräte .....	110
Kondensatoren .....	51	Elektrizitätszähler .....	111
Bauarten von Widerständen und Kondensatoren		Elektronische kWh-Zähler .....	112
Anwendungsgruppen und Aufbau von		Oszilloskop .....	113
Kondensatoren .....	53	Messen mit dem Oszilloskop .....	114
Halbleiterwiderstände .....	54	Wegmessung und Winkelmessung mit Sensoren	115
Gleichrichterbegriffe .....	55	Kraftmessung und Druckmessung mit Sensoren	116
Dioden .....	56	Bewegungsmessung mit Sensoren .....	117
Feldeffekttransistoren, IGBT .....	57	Temperaturmessung mit Sensoren .....	118
Bipolare Transistoren .....	58	<b>Teil EI:</b>	
Thyristor .....	59	<b>Elektrische Installation .....</b>	<b>119</b>
Thyristorarten und Triggerdiode .....	60	Arbeiten in elektrischen Anlagen .....	120
Gehäuseformen von Dioden, Transistoren		Werkstattausrüstung .....	121
und ICs .....	61		

Leitungsverlegung, Leitungsbearbeitung . . . . .	122	Energieversorgung von Werkstätten und Maschinenhallen . . . . .	177
Ausschaltung, Serienschaltung . . . . .	123	Lichttechnik . . . . .	178
Wechselschaltung, Kreuzschaltung . . . . .	124	Planung der Arbeitsstättenbeleuchtung von Innenräumen . . . . .	179
Treppenlichtzeitschalter, Hausklingelanlage mit Türöffner . . . . .	125	Wartungsfaktoren von Arbeitsstätten- beleuchtung . . . . .	180
Schaltungen mit Stromstoßschaltern . . . . .	126	Berechnung von Beleuchtungsanlagen . . . . .	181
Jalousieschaltungen . . . . .	127	Beleuchtung und Blendung . . . . .	182
Sprechanlagen . . . . .	129	Glühlampen, Metaldampflampen . . . . .	183
Zweidraht-Türsprechanlagen . . . . .	130	Energiesparlampen, Farbwiedergabe . . . . .	184
Lampenschaltungen mit Dimmern . . . . .	131	Induktionslampen und Lichtleiter . . . . .	185
Tastdimmer, Dimmertypen . . . . .	132	Leuchtstofflampen für 230 V . . . . .	186
Automatikschalter mit Wärmesensor . . . . .	133	Elektronische Vorschaltgeräte EVG für Leuchtstofflampen . . . . .	187
Automatikschalter mit Ultraschall-Bewegungs- sensor . . . . .	134	Schaltungen von Entladungslampen . . . . .	188
Elektroinstallation mit Niedervolt- Halogenlampen . . . . .	135	LED-Beleuchtung . . . . .	189
Feldarme Elektroinstallation . . . . .	136	LED-Leuchtmittel . . . . .	190
Gebäudeleittechnik und Gebäudesystemtechnik . . . . .	137	Lichttechnische Daten von Leuchten . . . . .	191
Linien und Bereiche des KNX . . . . .	138	Leuchtröhrenanlagen . . . . .	192
Schaltzeichen des KNX . . . . .	139	<b>Teil SE:</b>	
Systemkomponenten zum KNX . . . . .	140	<b>Sicherheit, Energieversorgung . . . . .</b>	<b>191</b>
Spezielle Aktoren und Systemgeräte zum KNX . . . . .	141	Erste Hilfe am Arbeitsplatz . . . . .	194
Sensoren für den KNX . . . . .	142	Persönliche Schutzausrüstung PSA . . . . .	195
Aktoren für den KNX . . . . .	143	Zeichen zur Unfallverhütung . . . . .	196
Installationsbus mit FSK-Steuerung . . . . .	144	Zeichen und Farben der Unfallverhütung . . . . .	197
Projektierung und Inbetriebnahme beim KNX . . . . .	145	Arbeitsschutz, Arbeitssicherheit . . . . .	198
LON . . . . .	146	Berührungsarten, Stromgefährdung, Fehlerarten . . . . .	199
LON-Komponenten . . . . .	147	Schutzmaßnahmen, Schutzklassen . . . . .	200
Elektroinstallation mit Funksteuerung . . . . .	148	Verteilungssysteme (Netzformen) . . . . .	201
LCN . . . . .	150	Schutz gegen elektrischen Schlag . . . . .	202
Hausanschluss mit Schutzpotenzialausgleich . . . . .	151	Differenzstromgeräte . . . . .	203
Hauptleitungen in Wohnanlagen . . . . .	152	Fehlerschutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung . . . . .	204
Zählerplatzeinrichtung . . . . .	153	Weitere Schutzmaßnahmen . . . . .	205
Elektrische Mindestausstattung in Wohngebäuden, Zählerplätze . . . . .	154	Weiterer Fehlerschutz in fachlich überwachten Anlagen . . . . .	206
Leitungsführung in Wohngebäuden . . . . .	155	Leiter für die Schutzmaßnahmen . . . . .	207
Leitungsberechnung ohne Verzweigung . . . . .	156	Prüfung der Schutzmaßnahmen . . . . .	208
Leitungsberechnung mit Verzweigung . . . . .	158	Wiederkehrende Prüfungen . . . . .	209
Überflutschutz und Kurzschlusschutz von Leitungen . . . . .	159	Instandsetzung, Änderung und Prüfung elektrischer Geräte . . . . .	210
Verlegearten für feste Verlegung . . . . .	160	Transformatoren und Drosselspulen, Prüfung der Isolation . . . . .	212
Strombelastbarkeit für Kabel und Leitungen bei $\vartheta_U = 25\text{ °C}$ . . . . .	161	Berechnung von Transformatoren . . . . .	213
Strombelastbarkeit für Kabel und Leitungen bei $\vartheta_U = 30\text{ °C}$ . . . . .	162	Kleintransformatoren . . . . .	214
Strombelastbarkeit von flexiblen oder wärmefesten Leitungen . . . . .	163	Kraftwerksarten . . . . .	215
Umrechnungsfaktoren für die Strombelastbarkeit . . . . .	164	Drehende Generatoren . . . . .	216
Mindest-Leiterquerschnitte, Strombelastbarkeit von Starkstromkabeln . . . . .	165	Isolierstoffklassen, Leistungsschilder von Transformatoren . . . . .	217
Überstrom-Schutzeinrichtungen (Niederspannungssicherungen) . . . . .	166	Transformatoren für Drehstrom . . . . .	218
Überstrom-Schutzeinrichtungen . . . . .	167	Transformatoren in Parallelbetrieb . . . . .	219
Räume mit Badewanne oder Dusche . . . . .	168	Netze der Energietechnik . . . . .	220
Räume und Anlagen besonderer Art, Arbeiten unter Spannung . . . . .	169	Freileitungen . . . . .	221
Saunaanlagen und Schwimmbecken . . . . .	170	Freileitungsnetze . . . . .	222
Elektroinstallation in feuergefährdeten Betriebsstätten . . . . .	171	Durchhang von Freileitungen . . . . .	223
Elektroinstallation in landwirtschaftlichen Betrieben . . . . .	172	Verlegung von Erdkabeln . . . . .	224
Elektroinstallation in medizinisch genutzten Bereichen . . . . .	173	Eigenerzeugungsanlagen . . . . .	225
Elektroinstallation in Unterrichtsräumen mit Experimentiereinrichtungen . . . . .	175	Vergütung erneuerbarer Energien nach dem EEG, Windkraftanlagen . . . . .	226
Elektroinstallation in explosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	176	Fotovoltaik . . . . .	227
		Fotovoltaik-Anlage, PV-Anlage . . . . .	228
		Kurzzeichen an elektrischen Betriebsmitteln . . . . .	229
		Brennstoffzellen . . . . .	230
		Schutzarten elektrischer Betriebsmittel . . . . .	231
		Elektrochemie . . . . .	232

Primärelemente .....	233	Funk-LAN .....	296
Akkumulatoren .....	234	Identifizierungssysteme .....	297
Ladetechniken für Akkumulatoren .....	235	AS-i-Bussystem .....	298
Notstromversorgung und Notbeleuchtung .....	236	Interbus .....	299
Sicherheits-Stromversorgungsanlagen (SSV-Anlagen) .....	237	PROFIBUS .....	300
USV-Systeme (Unterbrechungslose Stromversorgungssysteme) .....	238	Fernwirkssysteme .....	301
Elektromagnetische Verträglichkeit EMV .....	239	Messumformer und Signalumsetzer für Fernwirkssysteme .....	302
Elektromagnetische Störungen EMI .....	240	Programmierbarer Messumformer für Fernwirkssysteme .....	303
Maßnahmen gegen EMI .....	241	Anschluss an das Telefonnetz .....	304
Innerer Blitzschutz .....	242	Telekommunikation mit ISDN .....	305
Äußerer Blitzschutz .....	243	Einrichten von ISDN-Anlagen .....	306
Fangeinrichtungen und Ableitungen .....	245	Internet-Zugang .....	307
Qualität der Stromversorgung .....	246	Suchen im Internet .....	308
Kompensation .....	247	Sichern und Schützen von Daten .....	309
Kompensation der Blindleistung .....	248	Antennen, Betriebsmittel für Antennenanlagen .....	310
Überwachung der Endstromkreise .....	250	Satellitenempfang .....	311
Melde- und Überwachungsanlagen .....	251	SAT-Anlagen .....	312
Sicherheitstechnik in Gebäuden .....	252	Satellitenantennenanlagen .....	313
Einbruchmeldeanlagen EMA .....	253	Digitales Fernsehen über terrestrische Antenne, DVB-T .....	314
Videoüberwachung .....	254	Gemeinschaftsantennenanlagen .....	315
Temperaturen für Wärmebedarf .....	255	Errichtung von Antennenanlagen .....	316
Wärmebedarf und Wärmeleitung von Gebäuden .....	256	Breitband-Kommunikationsanlagen (BK-Anlagen) .....	317
Heizwärmeverbrauch und Energiekennzahl eines Einfamilienhauses .....	257	Multimediaverkabelung im Heimbereich .....	318
Raumheizung .....	258		
Fußboden- und Deckenheizung .....	259	<b>Teil AS:</b>	
Klimatisierung .....	260	<b>Automatisierungs- und Antriebssysteme, Steuern und Regeln .....</b>	<b>319</b>
Kochstellen für Elektroherde .....	261	Verstärker-Grundsaltungen .....	320
Energie-Effizienz-Klassen .....	262	Grundlagen des Operationsverstärkers .....	321
Energie-Einsparpotenziale .....	263	Schaltungen mit Operationsverstärkern .....	322
CE-Kennzeichnung .....	264	Aufgaben von Stromrichtern .....	324
Warmwassergeräte .....	265	Benennung von Stromrichterschaltungen .....	325
Hausgeräte .....	266	Schaltungen für Gleichrichter und Stromrichter .....	326
Wärmepumpen .....	267	Wechselwegschaltung, Steuerkennlinie .....	327
Stromtarife .....	268	Betriebsquadranten bei Antrieben, Linearmotoren .....	328
		Halbgesteuerte Stromrichter .....	329
<b>Teil IK:</b>		Vollgesteuerte Stromrichter .....	330
<b>Informations- und kommunikationstechnische Systeme .....</b>	<b>269</b>	Wechselrichter .....	331
Dualzahlen und Binär-codes .....	270	Gleichstromsteller, U-Umrichter-Prinzip .....	332
Sedezimalzahlen und Oktalzahlen .....	271	U-Umrichter .....	333
ASCII-Code im Unicode .....	272	Ansteuerschaltungen für Halbleiter .....	334
Binäre Verknüpfungen .....	273	Glättung und Spannungstabilisierung .....	335
Schaltalgebra .....	274	Grundlagen der Schaltnetzteile .....	336
Entwicklung von Schaltnetzen .....	275	Schaltnetzteile .....	337
Code-Umsetzer .....	276	Schalttransistor, Kippschaltungen .....	338
Flipflops (bistabile Kippschaltungen) .....	277	Halbleiterrelais .....	339
Digitale Zähler und Schieberegister .....	278	Kleinsteuerung easy .....	340
DA-Umsetzer und AD-Umsetzer .....	279	Kleinsteuerung LOGO! .....	341
Modulation .....	280	Strukturgramme und Programmablaufpläne .....	342
Mikrocomputer .....	281	Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS .....	343
Personalcomputer PC .....	282	Signalkopplungen für SPS und Mikrocomputer .....	344
Bildschirmgeräte .....	283	Steueranweisungen für SPS .....	345
Schnittstellen und Steckverbinder des PC .....	284	Programmbeispiele für SPS .....	347
Schnittstellenkopplungen .....	285	Zähler und Zeitglieder in SPS .....	348
Betriebssysteme Windows .....	286	Programmiersprachen Strukturierter Text ST, Ablaufsprache AS .....	349
Elemente von Windows-Benutzeroberflächen .....	287	Programmstruktur für SPS S7 .....	350
Netze der Informationstechnik .....	288	Ablaufsteuerung mit GRAFCET .....	351
Komponenten für Datennetze .....	289	Alphanumerische Kennzeichnung der Anschlüsse .....	353
Kommunikation bei Ethernet .....	291	Steuerungstechnik .....	354
Errichten eines Ethernet-Netzwerkes .....	292	Elektronische Steuerung von Verbrauchsmitteln .....	355
Industrial Ethernet .....	293		
Signalübertragung .....	294		
Datenübertragung mittels Funk .....	295		

Grenzwerte der Anschlussleistung im öffentlichen Netz .....	356	Isolierstoffe .....	412
Hilfsstromkreise .....	357	Kunststoffe als Isolierstoffe .....	414
Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen .....	358	Weitere Isolierstoffe .....	415
Architekturen von Steuerungen .....	359	Hilfsstoffe .....	416
Elektrische Niederspannungsausrüstung von Maschinen .....	360	Leitungen und Kabel .....	417
Schütze .....	361	Isolierte Starkstromleitungen .....	418
Spezielle Schützarten .....	362	Starkstromleitungen .....	419
Kennzeichnung und Antriebe der Schütze .....	363	Weitere Leitungen für feste Verlegung .....	420
Gebrauchskategorien und Prüfbedingungen von Schützen .....	364	Leitungen zum Anschluss ortsveränderlicher Betriebsmittel .....	421
Schützschaltungen .....	365	Leitungen und Kabel für Melde- und Signalanlagen .....	422
Motorschutz .....	367	Leitungen in Datennetzen .....	423
Vollelektronischer Motorschutz .....	368	Leitungen für Kleinspannungsbeleuchtung .....	424
Steuerung durch Motorschalter .....	369	Code zur Farbkennzeichnung, Starkstromkabel ..	425
Optoelektronische Näherungsschalter (Lichtschranken) .....	370	Kabel für die Energieverteilung .....	426
Näherungsschalter (Sensoren) .....	371	Steckvorrichtungen der Energietechnik .....	427
Ultraschall-Sensoren .....	372	Steckverbinder .....	428
Regelungstechnik .....	373	Steckverbinder RJ45 und RJ11 .....	429
Unstetige Regelglieder .....	374	Lötfreie Anschlussstechnik .....	430
Digitale stetige Regelglieder .....	375	Installationsrohre .....	431
Analoge stetige Regelglieder .....	376	Bezeichnungsbeispiele für Schrauben und Muttern .....	432
Digitale Regelung .....	377	Metrische ISO-Gewine .....	433
Einstellung von Regelkreisen .....	378	Toleranzen und Passungen .....	434
Betriebsarten und Grenzübertemperaturen .....	380	<b>Teil BU:</b>	
Effizienzklassen von elektrischen Antrieben .....	381	<b>Betrieb und sein Umfeld, Umwelttechnik,</b>	
Betriebsdaten von Käfigläufermotoren .....	382	<b>Anhang .....</b>	<b>435</b>
Oberflächengekühlte Käfigläufermotoren (Normmotoren) .....	383	Organisationsformen der Unternehmen .....	436
Bauformen von drehenden elektrischen Maschinen .....	384	Organisation der Arbeit .....	437
Berechnungsformeln für drehende elektrische Maschinen .....	385	Arbeitsplanung, Netzplantechnik .....	438
Leistungsschilder von drehenden elektrischen Maschinen .....	386	Arbeiten im Team .....	439
Drehstrommotoren .....	387	Umgang mit Konflikten .....	440
Polumschaltbare Motoren .....	388	Prozesse analysieren und gestalten .....	441
Fehlerbeseitigung bei Drehstrom-Asynchronmotoren .....	389	Vorbereitung einer Präsentation .....	442
Einphasen-Wechselstrommotoren .....	390	Präsentation eines Projektes .....	443
Gleichstrommotoren .....	391	Diagramme für Präsentationen .....	444
Servomotoren .....	392	Durchführung von Projekten .....	445
Ansteuerung von Servomotoren .....	393	Systematisches Marketing .....	446
Schrittmotoren .....	394	Kommunikation mit Kunden .....	447
Kleinstmotoren .....	395	Durchführung von Kundens Schulungen .....	448
Daten von Kleinstantrieben, Getriebe für Kleinstmotoren .....	396	Bestandteile eines Tarifvertrages .....	449
Lineare Antriebe .....	397	Qualifikationen für elektrotechnische Arbeiten ..	450
Piezo-Aktoren und Piezo-Antriebe .....	398	Rechtsgeschäfte des Betriebes .....	451
Prüfung elektrischer Maschinen .....	399	Kosten und Kennzahlen .....	452
Antriebstechnik .....	400	Kalkulation der Kosten .....	453
Wahl des Antriebsmotors .....	401	Erstellen eines Angebotes .....	454
Anlassen von Kurzschlussläufermotoren .....	402	Lastenheft, Pflichtenheft .....	455
<b>Teil W:</b>		Computerunterstützte Planung einer Elektroinstallation .....	456
<b>Werkstoffe, Verbindungstechnik .....</b>	<b>403</b>	Reale Ausführung von Installationsschaltungen ..	457
Periodensystem, chemische Bindung .....	404	Zertifizierung, Auditierung .....	458
Stoffwerte .....	405	Gefährliche Stoffe .....	459
Stahlnormung .....	406	Risiko-Sätze (H-Sätze) für Gefahrstoffe .....	460
Leitende Werkstoffe der Elektrotechnik (Nichteisenmetalle) .....	407	Sicherheitsratschläge (P-Sätze) für Gefahrstoffe ..	461
Magnetisierungskennlinien .....	408	Umgang mit Elektroschrott .....	462
Magnetwerkstoffe .....	409	Normen .....	463
Lote, Thermobimetalle, Kohlebürsten .....	410	Wichtige Teile des VDE-Vorschriftenwerkes .....	466
Kontaktwerkstoffe, Freileitungen .....	411	Teile von DIN VDE 0100 .....	467
		Glossar .....	469
		Kurzformen von Fachbegriffen .....	475
		Fachliches Englisch (Englisch-Deutsch) .....	481
		Sachwortverzeichnis (mit fachlichem Englisch) ..	488
		Bildquellenverzeichnis .....	509
		Unterstützende Firmen und Dienststellen .....	510



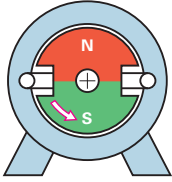
## Lernfelderauswahl und Buchabschnitte

Selection of Fields of Learning and relevant Sections in this Book

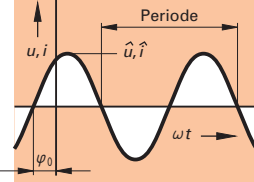
Lernfeld	Lernfeldinhalt	Hauptabschnitte im Tabellenbuch Elektrotechnik, zusätzliche Inhalte weiterer Hauptabschnitte
<b>Lernfeldübersicht für industrielle und handwerkliche Elektroberufe (Beispiel)</b>		
1	Elektrotechnische Systeme analysieren und Funktionen prüfen	Teil M: Schaltungstheorie, Bauelemente Teil TM: Technische Dokumentation, Messen
2	Elektrische Installationen planen und ausführen	Teil EI: Elektrische Installation Teil TM: Technische Dokumentation
3	Steuerungen analysieren und ausführen	Teil AS: Steuern und Regeln Teil M: Schaltungstheorie, Bauelemente Teil TM: Technische Dokumentation
4	Informationstechnische Systeme bereitstellen	Teil IK: Informations- und kommunikationstechnische Systeme Teil TM: Technische Dokumentation
5	Elektroenergieversorgung und Sicherheit von Betriebsmitteln gewährleisten	Teil SE: Sicherheit, Energieversorgung Teil TM: Technische Dokumentation, Messen Teil W: Werkstoffe, Verbindungstechnik Teil BU: Betrieb und sein Umfeld
6	Anlagen analysieren und deren Sicherheit prüfen	Teil SE: Sicherheit, Energieversorgung Teil AS: Automatisierungs- und Antriebssysteme
7	Steuerungen für Anlagen programmieren und realisieren	Teil AS: Steuern und Regeln Teil IK: Informations- und kommunikationstechnische Systeme
8	Antriebssysteme auswählen und integrieren	Teil AS: Automatisierungs- und Antriebssysteme, Steuern und Regeln Teil TM: Technische Dokumentation Teil SE: Sicherheit, Energieversorgung
9	Steuerungssysteme und Kommunikationssysteme integrieren	Teil AS: Steuern und Regeln Teil IK: Informations- und kommunikationstechnische Systeme Teil TM: Technische Dokumentation, Messen
10	Automatisierungssysteme in Betrieb nehmen und übergeben	Teil AS: Automatisierungs- und Antriebssysteme Teil BU: Betrieb und sein Umfeld Teil TM: Technische Dokumentation, Messen
11	Automatisierungssysteme in Stand halten und optimieren	Teil AS: Automatisierungs- und Antriebssysteme Teil EI: Elektrische Installation Teil SE: Sicherheit, Energieversorgung Teil BU: Umwelttechnik Teil TM: Technische Dokumentation, Messen
12 13	Automatisierungssysteme planen, Automatisierungssysteme realisieren	Teil AS: Automatisierungssysteme Teil EI: Elektrische Installation Teil SE: Sicherheit, Energieversorgung Teil BU: Umwelttechnik Teil W: Werkstoffe, Verbindungstechnik
<b>Lernfeldübersicht für elektrische Teile der Lernfelder Mechatronik</b>		
1	Analysieren von Funktionszusammenhängen in mechatronischen Systemen	Teil TM: Technische Dokumentation Teil W: Werkstoffe, Verbindungstechnik
3	Installieren elektrischer Betriebsmittel unter Beachtung sicherheitstechnischer Aspekte	Teil SE: Sicherheit, Energieversorgung Teil EI: Elektrische Installation
4	Untersuchen der Energie- und Informationsflüsse in elektrischen Baugruppen	Teil AS: Automatisierungssysteme Teil W: Werkstoffe, Verbindungstechnik
5	Kommunizieren mithilfe von Datenverarbeitungssystemen	Teil IK: Informations- und kommunikationstechnische Systeme
8	Design und Erstellen mechatronischer Teilsysteme	Teil TM: Technische Dokumentation, Messen Teil AS: Automatisierungs- und Antriebssysteme

Automatisierungstechnik	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten	Baumann u. a.
Betrieb von elektrischen Anlagen	VDE-Verlag, Berlin	DIN VDE 0105
Digitale Übertragungstechnik	B. G. Teubner, Stuttgart	Gerdsen
Drehzahlvariable Drehstromantriebe mit Asynchronmotoren	VDE-Verlag GmbH, Berlin	Budig
Elektrische Niederspannungsanlagen von Gebäuden	VDE-Verlag, Berlin	DIN VDE 0100
Elektrische Anlagen in Wohngebäuden	Beuth-Verlag, Berlin	DIN 18015
Fachwissen Betriebs- und Antriebstechnik	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten	Fritsche u. a.
Elektrische Energieversorgung	Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden	Heuck u. a.
Elektrische Messgeräte und Messverfahren	Springer-Verlag, Berlin	Jahn u. a.
EMV nach VDE 0100	VDE-Verlag, Berlin	Rudolph u. a.
Fachkunde Elektrotechnik	Verlag Europa-Lehrmittel	Bastian u. a.
Fachkunde Industrieelektronik und Informationstechnik	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten	Grimm u. a.
Handbuch Elektromagnetische Verträglichkeit	VDE-Verlag GmbH, Berlin	Habiger u. a.
Handbuch Elektrotechnik	Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, Wiesbaden	Böge u. a.
IT-Handbuch	Westermann-Schulbuchverlag, Braunschweig	Hübscher u. a.
Leistungselektronik	Carl Hanser Verlag, München	Bystron
Moderne Leistungselektronik und Antriebe	VDE-Verlag, Berlin	Hofer
NetZRückwirkungen	VDE-Verlag, Berlin und VDEW-Energieverlag, Frankfurt a.M.	Hörmann u. a.
Optische Übertragungstechnik	Hüthig Buch Verlag, Heidelberg	Wrobel u. a.
Professionelle Stromversorgung	Franzis-Verlag GmbH, München	Freyer
Praxis Elektrotechnik	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan	Bastian u. a.
Schutz durch DIN VDE 0100	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan	Fritsche u. a.
Sensoren, Messaufnehmer	expertverlag, Renningen	Bonfig u. a.
Tabellenbuch industrielle Computertechnik	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten	Grimm u. a.
Tabellenbuch Informations- und Systemtechnik	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten	Burgmaier u. a.
Tabellenbuch Mechatronik	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten	G. Häberle u. a.
Taschenbuch Elektrotechnik	Carl Hanser Verlag, München	Philipow u. a.
Transformatoren	VDE-Verlag, Berlin und VDEW-Energieverlag, Frankfurt a.M.	Janus u. a.

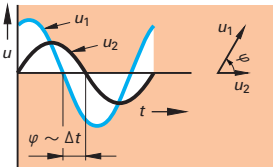
Wechselgrößen



Innenpolmaschine mit einem Polpaar



Sinusspannung mit Nullphasenwinkel



Liniendiagramm Zeigerdiagramm

Phasenverschiebung

$$[f] = \frac{1}{s} = \text{Hz}$$

$$[\omega] = \frac{1}{s}; [n] = \frac{1}{s}$$

Frequenz

$$f = \frac{1}{T} \quad 1$$

$$f = p \cdot n \quad 2$$

$$\omega = 2 \pi \cdot f \quad 3$$

Signalform				
Crestfaktor $F_C$	$\sqrt{2} = 1,41$	$\sqrt{3} = 1,73$	1	$\sqrt{\frac{T}{t_i}}$

Effektivwert bei Sinusform

$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} \quad 4$$

$$I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}} \quad 5$$

Effektivwert allgemein

$$U = \frac{\hat{u}}{F_C} \quad 7$$

$$I = \frac{\hat{i}}{F_C} \quad 8$$

Scheiteltwert der Spannung

$$\hat{u} = U \cdot F_C \quad 6$$

Augenblickswert

$$u = \hat{u} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) \quad 9$$

$u_1$  eilt  $u_2$  um den Phasenverschiebungswinkel  $\varphi$  voraus.

$$\varphi = 2 \pi \cdot \frac{\varphi^\circ}{360^\circ}; \varphi^\circ = \Delta t \cdot \frac{360^\circ}{T}$$

$$u = \hat{u} \cdot \sin(360^\circ \cdot f \cdot t + \varphi_0^\circ) \quad 10$$

$$[\varphi] = \text{rad}; [\varphi^\circ] = ^\circ$$

Spitze-Tal-Werte

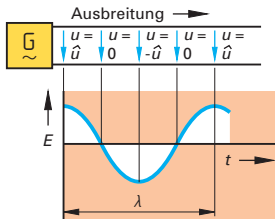
$$\hat{u}_\vee = 2 \cdot \hat{u} \quad 11$$

$$\hat{i}_\vee = 2 \cdot \hat{i} \quad 12$$

ab Zeitpunkt Nulldurchgang ( $\varphi_0 = 0$ ):

$$u = \hat{u} \cdot \sin(360^\circ \cdot f \cdot t) \quad 13$$

Wellenlänge



Wellenlänge

im Vakuum:

allgemein:

$$c_0 = 299\,792\,458 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$\approx 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$= 0,3 \cdot 10^9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\lambda = \frac{c_0}{f} \quad 14$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad 15$$

$$\lambda = c_0 \cdot T \quad 16$$

$$\lambda = c \cdot T \quad 17$$

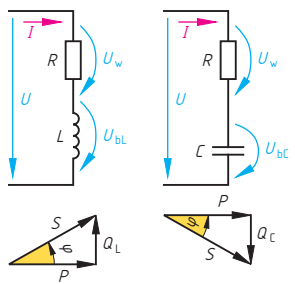
- c Ausbreitungsgeschwindigkeit
- $c_0$  Lichtgeschwindigkeit im Vakuum oder in Luft
- E elektrische Feldstärke
- f Frequenz
- $F_C$  Scheitelfaktor, Crestfaktor
- $i$  Augenblickswert des Stromes
- $\hat{i}$  Scheiteltwert des Stromes
- I Effektivwert der Stromstärke

- $\hat{i}$  Spitze-Tal-Wert des Stromes
- $\hat{l}$  Leiterlänge
- n Drehfeldzahl
- p Polpaarzahl der Maschine
- t Zeit
- $t_i$  Impulszeit
- T Periodendauer
- u Augenblickswert der Spannung

- $\hat{u}$  Scheiteltwert der Spannung
- U Effektivwert der Spannung
- $\hat{u}_\vee$  Spitze-Tal-Wert der Spannung
- $\alpha$  Winkel
- $\varphi$  Phasenverschiebungswinkel
- $\varphi_0$  Nullphasenwinkel
- $\lambda$  Wellenlänge
- $\omega$  Kreisfrequenz, Winkelgeschwindigkeit

# Leistung bei Sinuswechselstrom, Impuls

## Power of Alternating Sine-wave Current, Impulse



Der Spannungserzeuger gibt eine Scheinleistung an eine beliebige Schaltung ab.  
 $[S] = V \cdot A = VA$

$$S = U \cdot I \quad 1$$

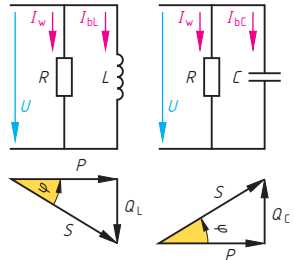
Im Wirkwiderstand tritt Wirkleistung auf.  
 $[P] = V \cdot A = W$

$$P = U_w \cdot I_w \quad 2$$

Im Blindwiderstand tritt Blindleistung auf.  
 $[Q] = V \cdot A = var$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad 3$$

### Reihenschaltung von Wirkwiderstand und Blindwiderstand



var = Volt-Ampere-reaktiv (reaktiv = rückwirkend)

$Q$  ist  $Q_C$  oder  $Q_L$ ,  $U_b$  ist  $U_{BC}$  oder  $U_{BL}$  und  $I_b$  ist  $I_{BC}$  oder  $I_{BL}$ .

Bei Sinusform:

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S} \quad 4$$

### Blindleistung

$$Q = U_b \cdot I_b \quad 5$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad 6$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad 7$$

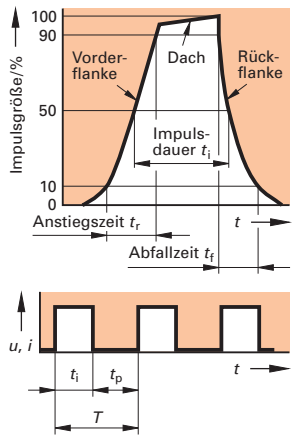
Bei Nichtsinusform:

$$\lambda = \frac{P}{S} \quad 8$$

### Scheinleistung

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad 9$$

### Parallelschaltung von Wirkwiderstand und Blindwiderstand



Die Anstiegszeit und die Abfallzeit werden zwischen dem 10%-Wert und dem 90%-Wert der Impulsgröße gemessen.

Für Spannungsimpuls:

$$S = \frac{\Delta u}{\Delta t} \quad 10$$

Die Impulsdauer und die Pausendauer misst man zwischen den 50%-Werten der Impulsgröße.

Für Stromimpuls:

$$S = \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad 11$$

$$[S] = \frac{V}{s} \text{ oder } \frac{A}{s}$$

### Frequenz

$$f = \frac{1}{T} \quad 12$$

### Periodendauer

$$T = t_i + t_p \quad 13$$

### Tastverhältnis

$$V = \frac{1}{g} \quad 14$$

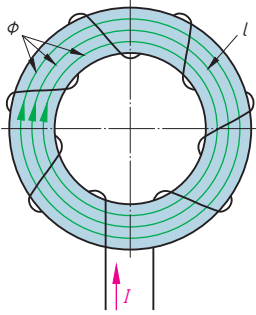
### Tastgrad

$$g = \frac{t_i}{T} \quad 15$$

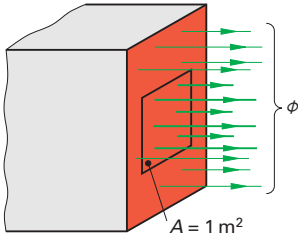
### Kenngrößen beim Impuls

C	Index für kapazitiv	P	Wirkleistung	$U_b$	Blindspannung
f	Frequenz	Q	Blindleistung	$U_w$	Wirkspannung
g	Tastgrad	S	Scheinleistung, Flankensteilheit	V	Tastverhältnis (nicht genormt)
$I, i$	Stromstärke	T	Periodendauer	$\Delta$	Zeichen für Differenz
$I_b$	Blindstrom	t	Zeit	$\varphi$	Phasenverschiebungswinkel
$I_{bC}$	kapazitiver Blindstrom	$t_f$	Abfallzeit	$\lambda$	Leistungsfaktor
$I_{bL}$	induktiver Blindstrom	$t_i$	Impulsdauer	Bei Sinusform:	
$I_w$	Wirkstrom	$t_p$	Pausendauer	$\cos \varphi$	Leistungsfaktor, Wirkfaktor
L	Index für induktiv	$t_r$	Anstiegszeit	$\sin \varphi$	Blindfaktor

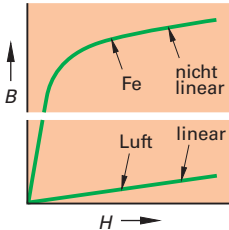
G



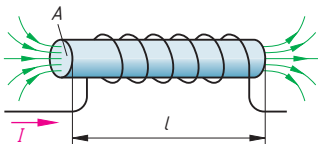
## Magnetische Feldstärke



## Magnetische Flussdichte, Induktion



## Magnetisierungskennlinien



## Induktivität

$$[\Theta] = A$$

$$[H] = \frac{A}{m}$$

$$[R_m] = \frac{A}{Vs} = \frac{1}{H}$$

## magn. Leitwert

$$\Lambda = \frac{1}{R_m}$$

$$[\Phi] = Vs = \text{Wb (Weber)}$$

$$[B] = \frac{Vs}{m^2} = T \text{ (Tesla)}$$

$$[\mu_0] = 1,257 \frac{\mu Vs}{Am} = 1,257 \mu H/m$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

Die Permeabilitätszahl  $\mu_r$  gibt den Faktor an, um den die magnetische Leitfähigkeit des Kernes größer ist als die der Luft.

$\mu_r$  siehe Seite 410

Für Luft:  $\mu_r = 1$

$$[F] = \frac{T^2 \cdot m^2 \cdot Am}{Vs} = \frac{Ws}{m} = N \text{ (Newton)}$$

$$[L] = \frac{Vs}{A} = H \text{ (Henry)}$$

$$[W] = \frac{Vs}{A} \cdot A^2 = Ws = J \text{ (Joule)}$$

$$[w] = \frac{J}{m^3}$$

## Energiedichte

$$w = \frac{1}{2} \cdot B \cdot H$$

$$w = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0 \cdot \mu_r}$$

## Durchflutung

$$\Theta = I \cdot N$$

## magn. Feldstärke

$$H = \frac{I \cdot N}{l}$$

## magn. Widerstand

$$R_m = \frac{l}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}$$

## magn. Fluss

$$\Phi = \frac{\Theta}{R_m}$$

## magn. Flussdichte

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

In Luft:

$$B = \mu_0 \cdot H$$

In Magnetwerkstoffen:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$

$$F = \frac{B^2 \cdot A}{2 \mu_0}$$

## Induktivität

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}{l}$$

$$L = N^2 \cdot A_L$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

$$w = \frac{W}{V}$$

A Polfläche, Spulenquerschnitt

$A_L$  Spulenkonstante

B magnetische Flussdichte

F Kraft (bei Elektromagneten)

H magnetische Feldstärke

I Stromstärke

L Induktivität

l mittlere Feldlinienlänge, Länge der Spule

N Windungszahl

$R_m$  magnetischer Widerstand

V Volumen

W Energie

w Energiedichte

$\Phi$  magnetischer Fluss

$\Lambda$  magnetischer Leitwert (Lambda)

$\Theta$  Durchflutung, magnetische Spannung

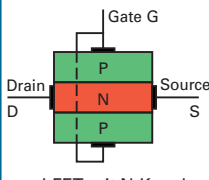
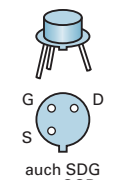
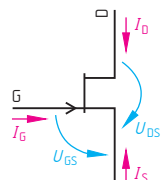
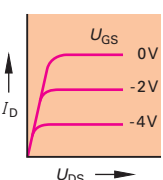
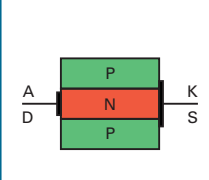
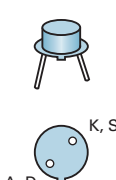
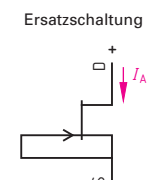
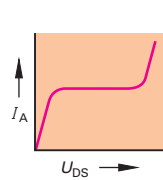
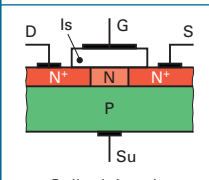
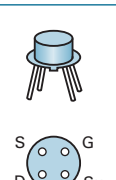
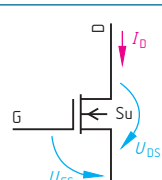
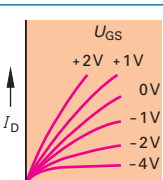
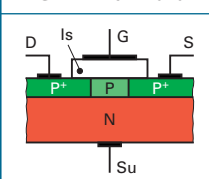

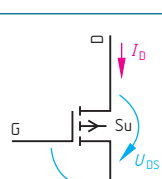
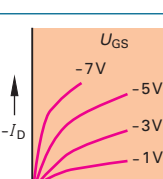
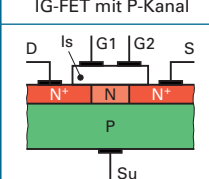

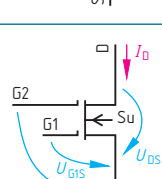
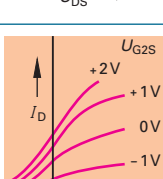
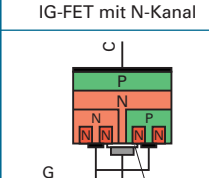
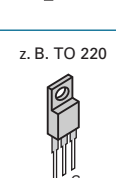
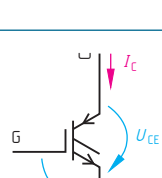
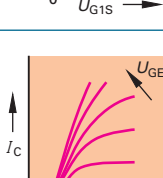
$\mu$  Permeabilität

$\mu_0$  magnetische Feldkonstante

$\mu_r$  Permeabilitätszahl

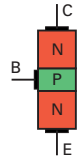
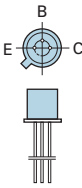
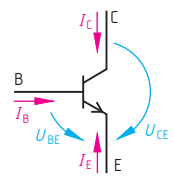
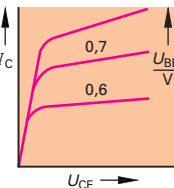
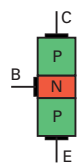
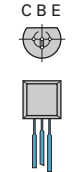
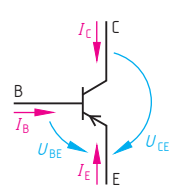
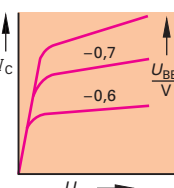
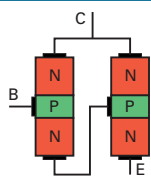
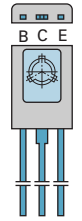
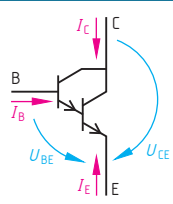
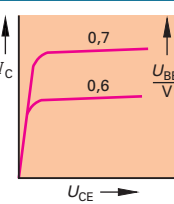
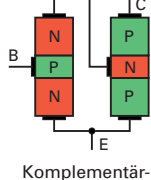
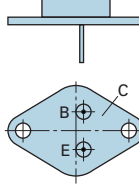
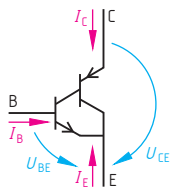
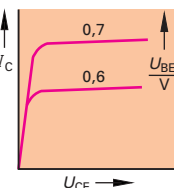
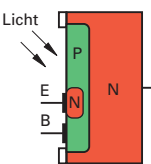
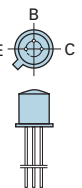
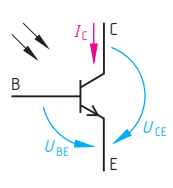
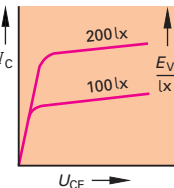
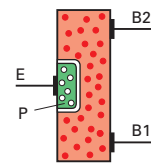
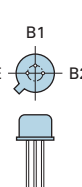
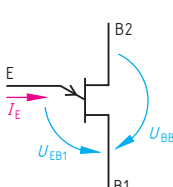
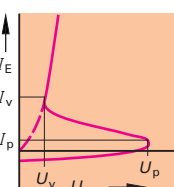
Feldeffekttransistoren, IGBT Field Effect Transistors, IGBT

G

Prinzip, Bezeichnung	Gehäuse (Beispiele)	Schaltzeichen, Bezugs Pfeile	Kennlinien	Anwendung, Spezialformen
 <p>J-FET mit N-Kanal</p>	 <p>auch SDG statt SGD</p>			Verstärkerschaltungen, Analogschalter, Vorverstärker Mikrofon, HF-Verstärker, Oszillatoren, Quarzoszillatoren, Mischstufen, Stellglieder bei Reglern.
 <p>J-FET als Strombegrenzer</p>		Ersatzschaltung 		Stabilisierung, Strombegrenzung
 <p>Selbstleitender IG-FET mit N-Kanal</p>				Verstärkerschaltungen, insbesondere für Eingangsstufen, HF-Verstärker, Regelglieder, Leistungsverstärker. Typische Grenzwerte für Leistungsverstärker: $U_{DS} = 50\text{ V}$ $U_{GS} = \pm 20\text{ V}$ $I_D = 25\text{ A}$
 <p>Selbstsperrender IG-FET mit P-Kanal</p>				maximale Verlustleistung $P_{tot} = 75\text{ W}$ In Operationsverstärkern, in integrierten Schaltungen.
 <p>Dual-Gate-IG-FET mit N-Kanal</p>				Verstärker und Mischstufen bis 300 MHz In integrierten Schaltungen
 <p>IGBT</p>	z. B. TO 220  etwa M 1:2			$U_F$ von 2 V bis 5 V, $U_R \leq 1600\text{ V}$ , $I_F \leq 1\text{ kA}$ , Frequenzen bis 20 kHz. In IGBT-Modulen sind oft Freilaufdioden (Rückstromdioden) enthalten. IGBT von Insulated Gate Bipolar Transistor.

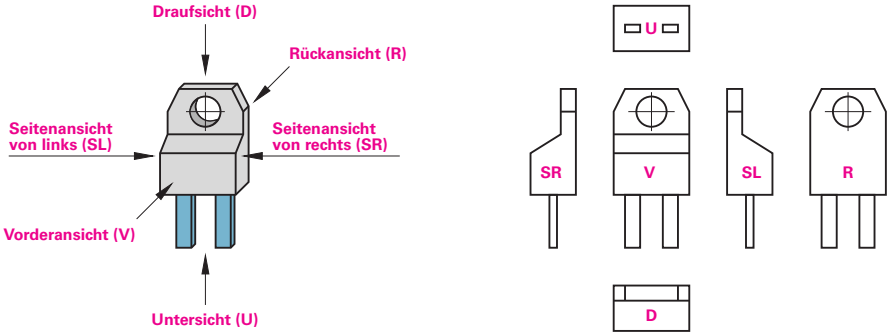
A Anode, D Drain, G Gate, Is Isolierung mit SiO<sub>2</sub>, K Katode, N N-dotiert, N<sup>+</sup> stark N-dotiert, P P-dotiert, P<sup>+</sup> stark P-dotiert, S Source, Su Substrat

G

Prinzip, Bezeichnung	Gehäuse (Beispiele)	Schaltzeichen, Bezugspfeile	Typische Kennlinie	Anwendungen, Bemerkungen
 <p>NPN-Transistor</p>				<p>Verstärkerschaltungen, Oszillatoren, Leistungsstufen in Netzteilen.</p> <p>Typische Daten:  <math>h_{21e} = 100</math> bis <math>500</math>  <math>B = 50</math> bis <math>700</math></p>
 <p>PNP-Transistor</p>				<p>NPN-Transistoren:  <math>I_C = 10</math> mA ... <math>30</math> A  <math>U_{BE} = 0,7</math> V</p> <p>PNP-Transistoren:  <math>I_C = -10</math> mA bis <math>-30</math> A  <math>U_{BE} = -0,7</math> V</p>
 <p>Darlington-Transistor</p>				<p>Leistungsverstärker für Relaissteuerungen.</p> <p>Darlingtonstufen bestehen aus zwei Transistoren in einem Gehäuse.</p>
 <p>Komplementär-Darlington-Transistor</p>				<p>Der Stromverstärkungsfaktor ist sehr groß.</p> <p>Typische Daten:  <math>\beta = 200</math> bis <math>1000</math>  <math>B = 100</math> bis <math>30000</math>  <math>I_C = 0,1</math> A bis <math>30</math> A</p>
 <p>Foto-Transistor</p>				<p>Optische Abtastung von Barcodes, Optokoppler.</p> <p>Fototransistoren gibt es mit und ohne Basisanschluss.</p>
 <p>Doppelbasis-Transistor (UJT)</p>				<p>Zum Zünden von Thyristoren</p> <p><math>I_V</math> Talstrom  <math>I_P</math> Höckerstrom  <math>U_V</math> Talspannung  <math>U_P</math> Höcker-spannung</p>

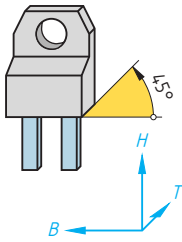
B Basis,  $B$  Gleichstromverhältnis, C Kollektor, E Emittor,  $E_V$  Beleuchtungsstärke,  $\beta$  Kurzschluss-Stromverstärkungsfaktor,  $I_C$  Kollektorstrom, UJT Unijunction Transistor

**Anordnung der Ansichten**



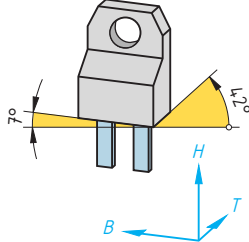
**Axonometrische Projektionen**

Rechtwinklige Parallelprojektion



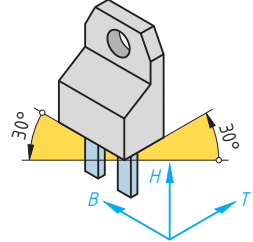
$B : H : T = 1 : 1 : 0,5$   
Anwendung für Skizzen.

Dimetrische Projektion



$B : H : T = 1 : 1 : 0,5$   
Zeigt in der Vorderansicht Wesentliches.

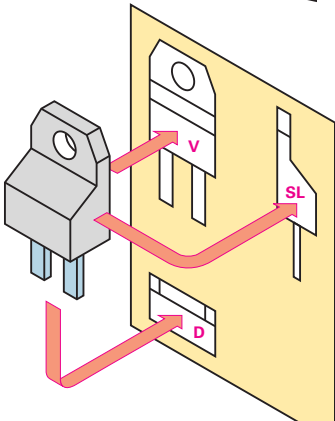
Isometrische Projektion



$B : H : T = 1 : 1 : 1$   
Zeigt drei Ansichten gleichrangig.

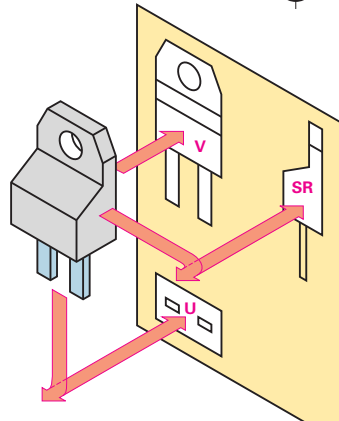
**Normalprojektionen**

Projektionsmethode 1: Kennzeichen:



Anwendung in europäischen Ländern.

Projektionsmethode 3: Kennzeichen:



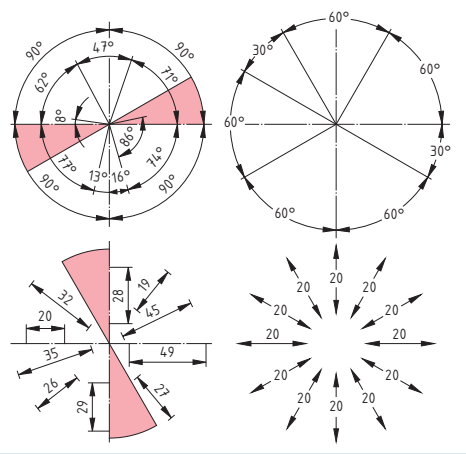
Anwendung in amerikanischen Ländern und in Datenbüchern.



**Maßlinienbegrenzung**

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

**Schreibrichtung**



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

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



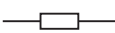






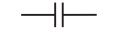
















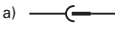
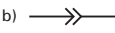




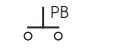
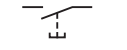


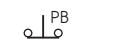




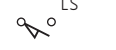



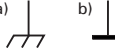






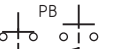
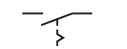










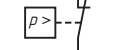



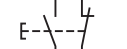

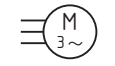
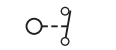

**Schnitte**

Darstellung	Merkregeln
	<p>(a) Schraffur: Dünne Volllinie unter <math>45^\circ</math> zur Achse oder zu den Hauptumrissen. Schnittflächen und Ausbrüche des gleichen Teiles in einer oder mehreren Ansichten werden in gleicher Art und Richtung schraffiert.</p>
	<p>(b) Aneinanderstoßende Werkstücke erhalten entgegengesetzt gerichtete oder verschieden weite Schraffur.</p>
	<p>(c) Der Schraffurlinienabstand ist umso größer, je größer die Schnittfläche ist.</p>
	<p>(d) Umlaufkanten, die durch den Schnitt sichtbar geworden sind, werden eingezeichnet.</p>
	<p>(e) Trennfugen sind als Kanten zu zeichnen.</p>
	<p>(f) Vollkörper einfacher Form werden in der Längsrichtung nicht geschnitten. Beispiele: Niete, Bolzen, Wellen, Stifte, Rippen, Schrauben.</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>

**Bruchlinien und besondere Darstellungen**

Darstellung	Merkregeln
	<p>(h) Ausbrüche werden durch dünne Freihandlinien begrenzt.</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>(i) der Bruch flacher Werkstücke,</p> <p>(k) der Abbruch von Rundkörpern,</p>
	<p>(l) der Abbruch von hohlen Rundkörpern, z.B. Rohre.</p>
	<p>(m) Spitzkörper sind in abgebrochener Darstellung zusammengeschoben zu zeichnen.</p>
	<p>(n) Der Bruch geschnittener, hohler Rundkörper wird durch eine Freihandlinie begrenzt.</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>

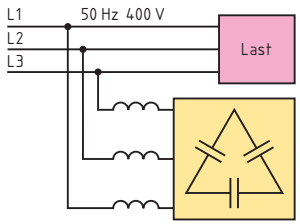
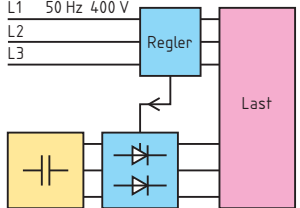
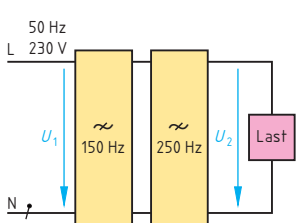
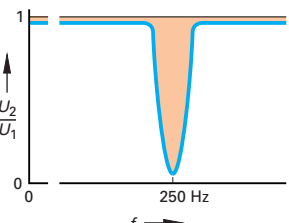
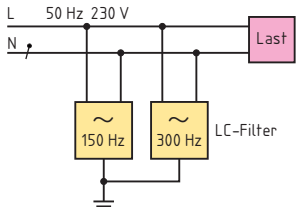
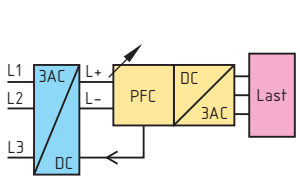
## Vergleich von Schaltzeichen 1 Comparison of Circuit Symbols 1

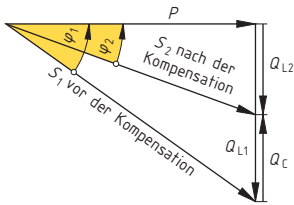
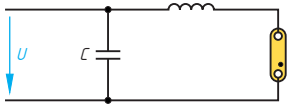
USA, z. B. ANSI, NEMA	Europa, praxisüblich, z. B. DIN EN	Benennung	USA, z. B. ANSI, NEMA	Europa, praxisüblich, z. B. DIN EN	Benennung
<b>allgemeine Betriebsmittel</b>			<b>Schaltglieder</b>		
a)  b) 		Widerstand, Wirkwiderstand (RES von Resistanz)	a)  b) 	a)  b) 	Schließer
a)  b) 		Kondensator	a)  b) 		Öffner
a)  b) 		Diode	a)  b) 		Wechsler
a)  b) 		Z-Diode		a)  b) 	Schließer mit Verzögerung beim Schließen
	a)  b) 	Stecker- verbindung	<b>Steuergeräte</b>		
a)  b)  c) 		Schmelz- sicherung			schließender Taster, druckbetätigt
		gepolte Suppressor- diode			öffnender Taster, druckbetätigt
a)  b) 		Leuchtmelder			Endschalter (Schließer)
a)  b) 	a)  b) 	Masse			Endschalter (Öffner)
a)  b) 		elektromechanischer Antrieb, z. B. für Schütz			Schalter mit Raste, druckbetätigt
a)  b) 		Antrieb mit Anzugsverzögerung			Näherungsschalter (Schließer)
a)  b) 		Antrieb mit Abfallverzögerung	a)  b) 		Druckwächter, öffnend (p von pressure)
		Rechteck- generator			Taster mit Schließer und Öffner
		Drehstrommotor (MTR Motor)			Schwimmerschalter, öffnend

ANSI American National Standard Institute, NEMA National Electrical Manufacturer Association, DIN EN Deutsches Institut für Normung Europa-Norm.

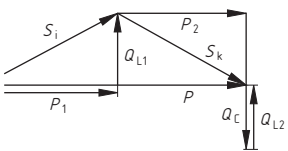
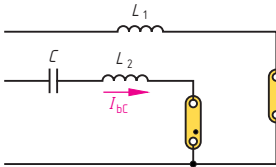
\* steht für Kennbuchstabe, z. B. Farbe oder Gerät. PB Pushbutton = Druckknopf, LS Limit switch = Grenzscharter

## Kompensation Compensation

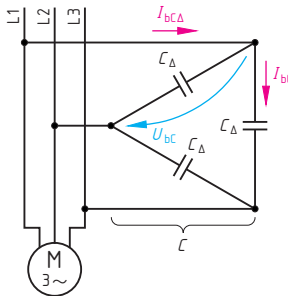
Schaltungsprinzip	Erklärung	Bemerkungen
 <p><b>Verdrorselte Kompensation</b></p>	<p>Schädliche Einflüsse auf die Stromversorgung, z.B. Blindleistung, periodische Spannungseinbrüche, Flicker (periodische Schwankungen der Spannung mit etwa 10 Hz), Spannungsänderungen durch Lastschwankung, Oberschwingungen (Harmonische) kann man durch Schaltungen kompensieren (aufheben).</p>	<p>Bei der <i>Blindleistungskompensation</i> wird die induktive Blindleistung von Motoren meist durch Kondensatoren kompensiert. Durch <i>Verdrorselung</i> der Kondensatoren werden die Oberschwingungen nicht kompensiert, die sonst ohne Drosseln oft verstärkt werden. Außerdem werden die Tonfrequenz-Signale der <i>Rundsteueranlagen</i> nicht geschwächt.</p>
 <p><b>Elektronisch gesteuerte Kompensation</b></p>	<p>Bei der <i>elektronisch gesteuerten Kompensation</i> wird der Spannungszustand der Lastspannung durch eine fortlaufende Messung im Regler ständig geprüft. Bei Bedarf wird über einen verzögerungsarmen elektronischen Schalter, z.B. mit Thyristoren, die erforderliche Kondensator-Kapazität zugeschaltet oder abgeschaltet.</p>	<p>Die zum Zuschalten vorgesehenen Kondensatoren sind ständig geladen, sodass beim Zuschalten im richtigen Zeitpunkt kein Stromstoß auftritt (<i>sanftes Schalten</i>). Die schwankende Blindleistung, z.B. durch Lastschwankungen von Motoren, wird innerhalb weniger Perioden der Netzspannung kompensiert. Auch <i>Flicker</i> werden oft dadurch beseitigt.</p>
 <p><b>Bandsperrenfilter</b></p>	<p>Die Kompensation von <i>Oberschwingungen (Harmonischen)</i> erfolgt durch elektrische Filter. Ein <i>passives Filter</i> besteht z.B. aus einer Schaltung von Induktivitäten und Kapazitäten. Beim <i>Bandsperrfilter</i> sorgt eine 150-Hz-Bandsperre für die Sperre der 3. Harmonischen von der Last und zur Last. Für jede zu sperrende Harmonische ist ein Filter erforderlich.</p>	 <p><b>Übertragungskurve einer Bandsperre von 250 Hz</b></p>
 <p><b>Saugkreisfilter</b></p>	<p>Das <i>Saugkreisfilter</i> ist ein passives Filter. Bei ihm ist ein Saugkreis (Reihenschaltung von <math>L</math> und <math>C</math>) oder ein Bandpass auf die abzusaugende Harmonische abgestimmt, z.B. auf 150 Hz. Für jede abzusaugende Harmonische ist ein eigenes Filter erforderlich. Der Anschluss erfolgt an die Leiter des Netzes und an Erde, z.B. an die Haupterdungsschiene.</p>	<p>Alle passiven Filter werden durch Alterung der Kondensatoren verstimmt, sodass <i>Überlastungen</i> der Komponenten und auch unerwünschte <i>Resonanzen</i> für die verschiedenen Harmonischen auftreten können. Deshalb sind ständige <i>Überwachung</i> und bei Bedarf <i>Wartung</i> der Filter erforderlich.</p>
 <p><b>Aktives Filter</b></p>	<p>Ein <i>aktives Filter</i> ist ein System der Leistungselektronik. Es besteht im Prinzip aus einem gesteuerten Gleichrichter, einer <i>PFC-Steuerung</i> (PFC von Power Factor Correction, Seite 238) und einem davon gesteuerten Wechselrichter. Der Laststrom wird ständig überwacht und an die Erfordernisse angepasst.</p>	<p>Die <i>Oberschwingungskompensation</i> kann für jede Harmonische getrennt eingestellt werden. Außerdem ermöglicht dasselbe aktive Filter die Blindleistungskompensation, die Beseitigung von Flickern und den Ausgleich von Unsymmetrien der Spannungen. Aktive Filter sind die modernste Technik zur Kompensation von schädlichen Einflüssen.</p>



**Parallelkompensation**



**Reihenkompensation**



**Einzelkompensation bei 3 AC**

- C berechnete Kapazität der Kompensationskondensatoren
- C<sub>Δ</sub> Kapazität eines der in Δ geschalteten Kondensatoren
- C<sub>Y</sub> Kapazität eines der in Y geschalteten Kondensatoren
- f Frequenz
- I<sub>bc</sub> Kondensatorstrom
- I<sub>bcΔ</sub> Leiterstrom zur Kondensatorbatterie in Δ-Schaltung
- I<sub>bcY</sub> Leiterstrom zur Kondensatorbatterie in Y-Schaltung

Bedeutung weiterer Formelzeichen aus den Bildern erkennbar.

$$S_1 = \frac{P}{\cos \varphi_1} \quad 1$$

$$Q_{L1} = S_1 \cdot \sin \varphi_1 \quad 3$$

$$Q_C = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad 5$$

sin φ = sin (arccos φ)  
Umrechnungen sin φ ⇒ cos φ ⇒ tan φ siehe auch Seite „Beziehungen zwischen den Winkelfunktionen“

$$S_2 = \frac{P}{\cos \varphi_2} \quad 2$$

$$Q_{L2} = S_2 \cdot \sin \varphi_2 \quad 4$$

$$Q_C = Q_{L1} - Q_{L2} \quad 6$$

tan φ = tan (arccos φ)

Parallelkompensation bei Einphasenwechselspannung:

$$C = \frac{Q_C}{\omega \cdot U_{bc}^2} \quad 8$$

$$C = \frac{3000 \mu F \cdot Hz}{f} \cdot \frac{(230 V)^2}{kvar} \cdot Q_C \quad 9$$

Bei 50 Hz/230 V sind zur Kompensation 60 μF/kvar erforderlich, bei 50 Hz/400 V nur 20 μF/kvar.

Reihenkompensation bei Einphasenwechselstrom:

$$C = \frac{I_{bc}^2}{\omega \cdot Q_C} \quad 10$$

$$\omega = 2 \pi \cdot f \quad 7$$

**Hinweis zur Reihenkompensation:**

Eine Reihenkompensation auf cos φ = 1 ist wegen der Spannungsüberhöhung an den Bauteilen nicht möglich. Deshalb wird z.B. bei der Duoschaltung von Leuchtstofflampen der Kondensator so gewählt, dass der kapazitive Phasenverschiebungswinkel φ<sub>k</sub> besitzt. φ<sub>k</sub> ist etwa gleich groß wie der induktive Phasenverschiebungswinkel φ<sub>i</sub> im induktiven Zweig, aber entgegengesetzt. φ<sub>k</sub> ≈ -φ<sub>i</sub>. Dadurch geht φ der gesamten Schaltung gegen Null.

Bei Kondensatoren in Y :

$$U_{bc} = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad 11$$

$$C_Y = \frac{1}{3} \cdot C \quad 13$$

$$I_{bcY} = I_{bc} \quad 15$$

Bei Kondensatoren in Δ :

$$U_{bc} = U \quad 12$$

$$C_{\Delta} = \frac{1}{3} \cdot C \quad 14$$

$$I_{bc\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{bc} \quad 16$$

Die Berechnung von Q<sub>C</sub> und C erfolgt wie bei Einphasenwechselstrom.

- L Induktivität
- P aufgenommene Wirkleistung
- Q<sub>C</sub> kapazitive Blindleistung
- Q<sub>L</sub> induktive Blindleistung
- S Scheinleistung
- S<sub>i</sub> Scheinleistung im induktiven Zweig
- S<sub>k</sub> Scheinleistung im kapazitiven Zweig
- U<sub>bc</sub> Spannung an den Kondensatoren zur Kompensation

- U Netzspannung (Leiterspannung) des Drehstromnetzes
- φ Phasenverschiebungswinkel
- φ<sub>i</sub> induktive Phasenverschiebung
- φ<sub>k</sub> kapazitive Phasenverschiebung
- Δ Dreieckschaltung
- Y Sternschaltung

Bedeutung der Indizes 1 und 2:

- 1 vor der Kompensation
- 2 nach der Kompensation

SE

# Kompensation der Blindleistung 2 Compensation of Reactive Power 2

## Ermittlung der Kondensatorleistung

Vor der Kompensation		Erwünschter $\cos \varphi_2$				
		0,80	0,85	0,90	0,95	0,98
$\cos \varphi_1$	$\tan \varphi_1$	Kompensationsfaktor $F_K = \tan \varphi_1 - \tan \varphi_2$				
0,48	1,83	1,08	1,21	1,34	1,50	1,63
0,50	1,73	0,98	1,11	1,25	1,40	1,53
0,52	1,64	0,89	1,03	1,16	1,31	1,44
0,54	1,56	0,81	0,94	1,08	1,23	1,36
0,56	1,48	0,73	0,86	1,00	1,15	1,28
0,58	1,41	0,66	0,78	0,92	1,08	1,21
0,60	1,33	0,58	0,71	0,85	1,01	1,13
0,62	1,27	0,52	0,65	0,78	0,94	1,07
0,64	1,20	0,45	0,58	0,72	0,87	0,99
0,66	1,14	0,39	0,52	0,66	0,81	0,94
0,68	1,08	0,33	0,46	0,59	0,75	0,88
0,70	1,02	0,20	0,40	0,54	0,69	0,82
0,72	0,96	0,21	0,34	0,48	0,64	0,76
0,74	0,91	0,16	0,29	0,43	0,58	0,71
0,76	0,86	0,11	0,23	0,37	0,53	0,66
0,78	0,80	0,05	0,18	0,32	0,47	0,59
0,80	0,75	-	0,13	0,27	0,42	0,55
0,82	0,70	-	0,08	0,21	0,37	0,49
0,84	0,65	-	0,02	0,16	0,32	0,45

**Beispiel:** Vor der Kompensation beträgt  $\cos \varphi_1 = 0,68$ ; gewünscht  $\cos \varphi_2 = 0,9$ . Aufgenommene Wirkleistung  $P_1 = 8 \text{ kW}$ .  
 Gesucht: Kondensatorleistung  $Q_C = ? \text{ kvar}$

**Lösung:** Aus Tabelle Faktor  $F_K = 0,59$   
 Kondensatorleistung  $Q_C = F_K \cdot P_1 = 0,59 \cdot 8 = 4,72 \text{ kvar}$

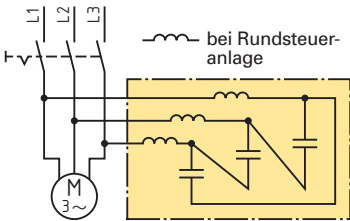
- $Q_C$  Kondensatorleistung
- $F_K$  Kompensationsfaktor aus Tabelle
- $P_1$  Aufnahmeleistung

$$Q_C = F_K \cdot P_1$$

SE

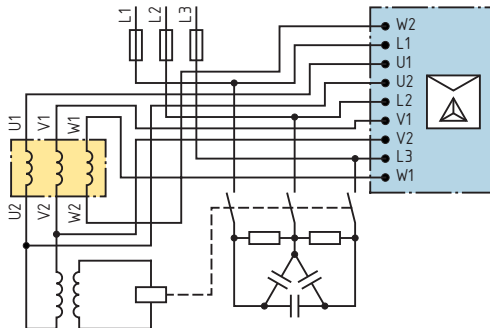
## Schaltungen

### Einzelkompensation bei Direkteinschaltung



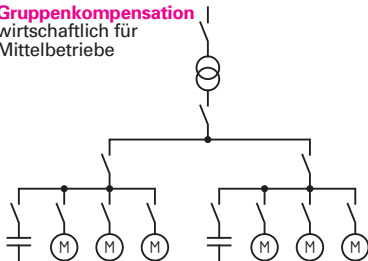
Kondensator-Betriebsspannung	
bei Sternschaltung 230V	bei Dreieckschaltung 400V

### Einzelkompensation bei Stern-Dreieckschaltung



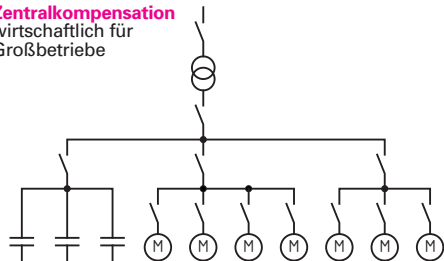
### Gruppenkompensation

wirtschaftlich für Mittelbetriebe



### Zentralkompensation

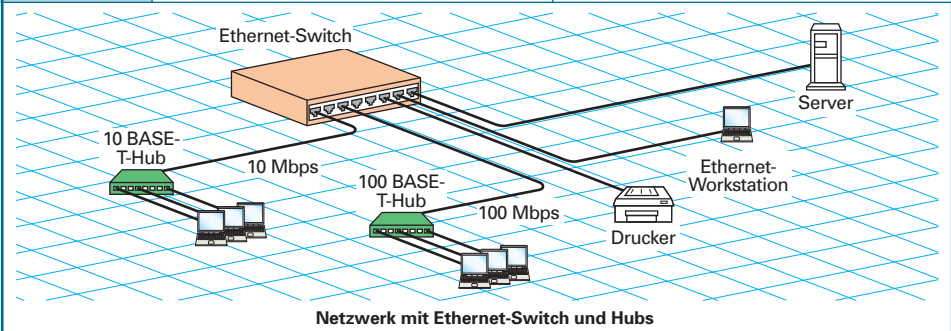
wirtschaftlich für Großbetriebe



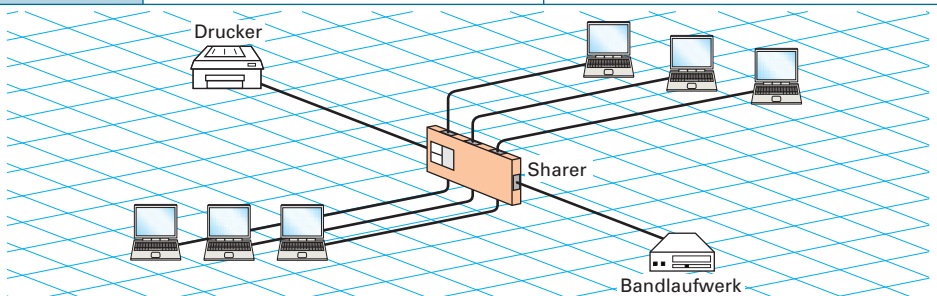
## Komponenten für Datennetze 1 Components for Data Networks 1

Bezeichnung	Erklärung	Bemerkungen, Anwendung, Daten
AUI-Anschluss	Von Access Unit Interface = Zugriff-Einheit-Schnittstelle.	Spezielle Steckverbindung von Datengeräten.
Balun (Mehrzahl Balune)	Von Balanced/unbalanced. Modul zur Impedanz-Anpassung	Ursprünglich Modul zum Übergang von Koax zu Twisted Pair.
Bridge	Von bridge = Brücke. Eine Bridge kann zwei LAN-Segmente miteinander verbinden oder ein LAN in zwei Segmente teilen.	Sobald die Bridge mit dem Netzwerk verbunden ist, lernt sie automatisch die Adressen. Bridges sind protokollunabhängig, sodass sie Daten übertragen, z.B. zwischen PCs.
Elektronischer Switch (elektronisch wirkender Mehrstellschalter)	Von switch = Schalter. Umschaltvorgänge laufen über Halbleiterbauteile, z.B. Transistoren. Umschalten kann über Computer, Modem oder Tastentelefon erfolgen.	Ein codegesteuerter Switch ermöglicht einem Gerät die Steuerung von bis 64 Geräten, z.B. wenn ein Modem acht Geräte steuern soll. Beim Matrix-Switch kann jeder Port mit jedem anderen Port verbunden werden. Ein Matrix-Switch ermöglicht mehr als einem Gerät die Steuerung anderer Geräte, z.B. wenn vier PC sich zwei Drucker und ein Modem teilen.
Ethernet-Switch	Der Ethernet-Switch übernimmt die Daten und verschickt sie paketweise zur Zieladresse. Sender und Empfänger werden entsprechend ihrer Adressen durchgeschaltet.	Jeder Port am Switch stellt einen Weg mit der vollen Bitrate dar, z.B. 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s oder 10 Gbit/s.
Frame-Relay (Rahmen-Relais)	Das Frame-Relay ist eine Übertragungstechnik. Es multiplext und sendet Daten in Form von Paketen.	Wird in Komponenten wie Bridges, Routers, Switches umgesetzt. Diese ermöglichen Verbindungen zu LANs und WANs.
HDSL-Modem	HDSL von High Bitrate Digital Subscriber Loop = digitale Übertragungs-Schleife mit hoher Bitrate. Ermöglicht Breitbanddienste über vorhandene Kupferleitungen ohne Repeater.	Verfügbar sind Versionen für 2 oder für 3 Adreppaare. Bei Drahtdurchmesser 0,4 mm Reichweite bei 2-Paar-Version z.B. 3,6 km, bei Drahtdurchmesser 1,2 mm und 3-Paar-Version 15,4 km.
Hub	Von hub = Mittelpunkt, Radnabe. Gerät, an das mehrere PC oder PC-Linien angeschlossen werden können. Die zu übertragenden Daten werden ungefiltert an alle angeschlossenen Teilnehmer gesendet.	Beim Repeater-Hub erfolgt zusätzlich eine Regenerierung der zum Hub eintreffenden Signale. Die Signale gehen an alle Teilnehmer.
Konverter	Von to convert = umsetzen. Sammelbezeichnung für Geräte, die Übergänge von einem System in ein anderes erlauben.	Medienkonverter für Übergang von z.B. Glasfaserleitung auf Twisted-Pair-Leitung oder umgekehrt.
Load Balancer	Ist ein Lastverteiler, der Antwortzeiten und Auslastung (Performance) von Netzwerk-Servern beurteilt und Anfragen aus dem Internet zum Server mit aktuell bester Performance weiterleitet.	Die öffentliche Internet-Domain einer Firma ist dem Load-Balancer-Computer zugewiesen. Die eigentlichen Firmen-Web-Server besitzen nach außen nicht bekannte Adressen.
Manueller Switch	Im Wesentlichen mechanisch wirksamer Schalter zum Umschalten ohne Stromversorgung.	Benutzer können sich ein Peripheriegerät teilen oder ein Benutzer kann zwischen zwei Peripheriegeräten wählen.

IK



Bezeichnung	Erklärung	Bemerkungen, Anwendung, Daten
Modem	Kunstwort aus Modulator und Demodulator.	Ermöglicht den Anschluss von Digitalgeräten, z.B. einem PC, an das analoge Telefonnetz.
Multiplexer, lokaler (Mux, lokaler)	In der Datentechnik Gerät, welches das Zeitmultiplexverfahren ermöglicht.	Lokale Muxe machen den Anschluss von z.B. 48 Kanälen über ein einziges Kabel möglich.
Netzwerkkarte (Ethernet-Karte)	Steckkarte für den Steckplatz (Slot = Schlitz) im PC, womit ein Ethernet-Netzwerk ermöglicht wird.	Außer der Netzwerkkarte müssen Software-Treiber installiert werden.
Parallel-Seriell-Konverter	Der Konverter macht einen parallelen Anschluss kompatibel zu einem seriellen Gerät.	Ermöglicht den Anschluss eines seriellen Druckers an einen parallelen Anschluss.
Patchfeld (Rangierfeld)	Ein Umsteckfeld, das dem Anschluss, dem Verteilen und Rangieren (Verändern) von Netzverbindungen dient.	Das Patchfeld erleichtert durch das Umstecken auch den Anschluss von Analysegeräten.
Puffer (Spooler, Cache)	Einrichtung zur zeitweisen Speicherung (Zwischenspeicher). Puffer enthalten RAMs zur Aufnahme und anschließender Ausgabe von Daten. Cache ist ein Zwischenspeicher für oft verwendete Daten.	Ein Puffer sorgt z.B. für den Ausgleich von Geschwindigkeitsunterschieden beim Datenfluss zwischen zwei Geräten. Puffer können serielle und parallele Ports haben.
Router	Von route = Weg. Gerät zur Verbindung verschiedener LANs. Untersuchen Pakete und stellen sie bei Fehlern wieder her, ohne Fehler weiterzugeben.	Multiprotokoll-Router unterstützen eine Vielzahl von LAN-Protokollen. Router müssen konfiguriert und installiert werden.
Repeater	Von to repeat = wiederholen. Gerät, welches Signale regeneriert und so umbildet, dass Netzsegmente miteinander kommunizieren können.	Infolge Signaldämpfung sind Netzsegmente ohne Repeater in der Länge begrenzt, z.B. auf 500 m.
Sharer (Drucker-Switch)	Der Sharer (to share = aufteilen) teilt einem Gerät bis z.B. sechs Geräte zu. Enthält meist einen Puffer.	Print-Sharer ermöglichen den Anschluss von mehreren PC an einen einzigen Drucker.
Terminaladapter	ISDN-Terminaladapter wandelt die digitalen ISDN-Signale in Signale des anzuschließenden Endgerätes um und umgekehrt. Häufigster Typ ist der Terminaladapter a/b.	Terminaladapter mit Bonding (to bond = bündeln) ermöglichen Datenverkehr mit 128 kbit/s durch Bündelung beider 64-kbit/s-Kanäle.
Terminaladapter a/b	Mit diesem Adapter können analoge Endgeräte an das ISDN-Netz angeschlossen werden, z.B. Fax oder Telefon.	Bei der Datenübermittlung im ISDN muss auch der Empfänger mit einem Terminaladapter a/b arbeiten.
Transceiver, Sende-Empfänger	Kunstwort von to transmit = übertragen und to receive = empfangen. Gerät, welches in den Datenweg geschaltet wird, um die Übertragung zu ermöglichen oder zu verbessern.	Z.B. setzen Fiberoptik-Transceiver die elektrischen Signale in Lichtsignale oder Infrarot-Signale zur Übertragung über LWL um und optische Signale der LWL in elektrische Signale.
Verstärker	Gerät, welches die Datenübertragung über längere Strecken als ohne Verstärker ermöglicht, und zwar oft auch bei größeren Bitraten als ohne Verstärker.	Anders als bei einem analogen Signalverstärker sind zusätzlich Signalregenerierer und Konverter enthalten.



Netzwerk mit Sharer und einem Drucker

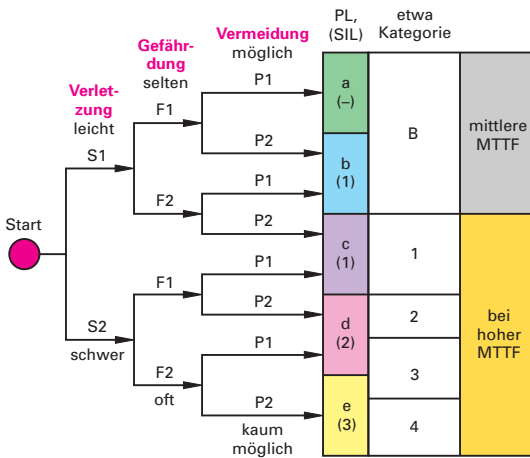
Begriff	Erklärung	Schaltungen, Bemerkungen
<p>Hilfsstromkreis</p> <p>Stromversorgung</p> <p>Transformator</p>	<p>Ein <i>Hilfsstromkreis</i> ist ein Stromkreis, der kein Hauptstromkreis ist. <i>Steuerstromkreise</i> und <i>Messstromkreise</i> sind Hilfsstromkreise.</p> <p><i>Stromversorgung</i> des Hilfsstromkreises erfolgt durch AC 50 Hz bis 230 V, AC 60 Hz bis 227 V oder DC bis 220 V. Meist erfolgt sie aus dem Hauptstromkreis, bei DC über einen Gleichrichter.</p> <p>Ein <i>Transformator</i> bewirkt die erwünschte <i>Trennung</i> vom Hauptstromkreis. Bei SELV oder PELV muss das ein Sicherheitstransformator sein.</p>	<p><b>Stromversorgungen für den Hilfsstromkreis</b></p>
<p>Trennung vom Hauptstromkreis</p> <p>Überstrom-Schutzeinrichtung</p>	<p>Die Transformatoren müssen beim Drehstromnetz eingangsseitig (primärseitig) an zwei Außenleiter angeschlossen sein. Hilfsstromkreise ohne Trennung vom Hauptstromkreis muss man an einen Außenleiter und den Neutralleiter anschließen.</p> <p>Ungeredete Hilfsstromkreise erfordern eine Isolationsüberwachungseinrichtung.</p> <p>Überstromschutz dient nur dem Kurzschlusschutz.</p>	<p><b>Anordnung der Überstrom-Schutzeinrichtungen</b></p>
<p>Messstromkreis</p> <p>Direktmessung</p> <p>Wandlermessung</p>	<p>Bei direktem Anschluss von Messstromkreisen an den Hauptstromkreis sind anzuwenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überstrom-Schutzeinrichtungen zum Kurzschlusschutz oder</li> <li>• kurzschluss- und erdschlussssichere Verlegung, z. B. Mantelleitung, Verlegung nicht in der Nähe von brennbaren Stoffen.</li> </ul> <p>Bei <i>Spannungswandlern</i> muss die Ausgangsseite (Sekundärseite) geerdet und gegen Kurzschluss gesichert sein. Bei <i>Stromwandlern</i> erfolgt nie eine Sicherung gegen Kurzschluss und bei Niederspannung auch keine Erdung.</p>	<p><b>Wandlermessungen</b></p>
<p>Einschalten Abschalten</p> <p>Wirkglieder, z. B. Schützspulen</p>	<p>Hilfsstromkreise müssen so ausgeführt sein, dass ein einzelner Leiterbruch, Körperschluss oder Erdschluss die Anlage in einem sicheren Zustand, z. B. AUS, erhält oder in einen solchen überführt. Deshalb erfolgt das Abschalten durch Öffner und das Einschalten durch Schließer.</p> <p><i>Wirkglieder</i>, z. B. Schützspulen, sind auf einer Seite direkt (ohne Schaltglieder) mit dem geerdeten Leiter zu verbinden. Beim IT-System dürfen Wirkglieder an zwei Außenleiter angeschlossen sein. Dann sind die Außenleiter durch zweipolige Schaltglieder zu schalten. Die Außenleiter sind gegen Kurzschluss zu sichern.</p>	<p><b>Anordnung der Taster</b></p>
<p>Doppelte Schlüsse (Körperschlüsse, Erdschlüsse)</p>	<p>Hilfsstromkreise müssen auch bei doppelten Schlüssen gegen Fehlschaltungen, z. B. Einschalten ohne Einschaltsignal, geschützt sein. Das wird bei geerdeten Hilfsstromkreisen durch Überstrom-Schutzeinrichtungen bewirkt, die beim 1. Körperschluss oder Erdschluss innerhalb von 5 s die Stromversorgung abschalten. Bei ungeredeten Hilfsstromkreisen muss eine Anzeige den Isolationsfehler optisch und/oder akustisch melden. Der Isolationswiderstand muss je V der Nennspannung mindestens 100 Ω betragen.</p>	<p><b>Verhinderung von Fehlschaltungen bei Erdschluss</b></p>



## Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen

### Safety Related Machine Controls

#### Beurteilung von Risiko und Steuerung



Risikograph nach EN ISO 13849-1

Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen müssen dort verwendet werden, wo bei Versagen der Steuerung eine Gefährdung eintritt. Man erhält den erforderlichen Performance Level PL durch eine Risikoabschätzung mittels Risikograph (Bild).

Der PL ist abhängig von der Architektur (logischer Aufbau) der Schaltung und von der mittleren Ausfallzeit MTTF der Komponenten. Die Architektur der Schaltung wird durch Kategorien Cat angegeben (folgende Seite). Bei MTTF genügt die Unterscheidung in niedrige, mittlere und hohe MTTF. Ergibt die Risikoabschätzung einen PL der Größe c, dann muss mindestens Cat 1 mit hoher MTTF angewendet werden.

Anstelle von PL wird bei fertigen Steuerungen, z.B. SPS, der Wert von SIL angegeben, z.B. SIL2. Damit liegt ein PL der Größe d vor. Bei SIL2 muss mindestens Cat 2 mit hohem MTTF vorliegen.

#### Abkürzungen und Begriffe

Begriff	Erklärung	Bemerkungen												
PL	Performance Level = Gütepegel. Man unterscheidet die PL a bis e zur Festlegung der Fähigkeit von sicherheitsbezogenen Teilen einer Steuerung hinsichtlich des Ausführens einer Sicherheitsfunktion. Der PL ist abhängig von der Kategorie und der MTTF. PL e ist der höchste Level (Pegel).	Eine Sicherheitsfunktion ist die Funktion einer Steuerung, z.B. Funktion zum Stillsetzen einer Maschine im Notfall. Der Ausfall solch einer Funktion erhöht die Sicherheitsrisiken unmittelbar.												
SIL	Safety Integrity Level = Sicherheits-Integritäts-Pegel. Es gibt vier Stufen (Levels) von SIL. SIL 3 ist die höchste, praktisch vorkommende Stufe. <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>PL</td> <td>a</td> <td>b</td> <td>c</td> <td>d</td> <td>e</td> </tr> <tr> <td>SIL</td> <td>-</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	PL	a	b	c	d	e	SIL	-	1	1	2	3	Nach SIL erfolgt meist das Zertifizieren einer Steuerung bzw. Maschine.
PL	a	b	c	d	e									
SIL	-	1	1	2	3									
Kategorie (Cat)	Cat von category = Kategorie. Ermöglicht die Beurteilung der Leistungsfähigkeit sicherheitsbezogener Teile einer Steuerung beim Auftreten von Fehlern, d.h. Einstufung bzgl. Widerstand gegen Fehler und Verhalten im Fehlerfall.	Kategorie B ist die Basiskategorie (Grundkategorie), bei den Kategorien 1 bis 4 nimmt die Sicherheit steigend zu, die Steuerungsstrukturen (Architekturen) werden komplexer.												
SRP/CS	Safety-Related Parts of Control Systems = sicherheitsbezogenes Teil einer Steuerung, das auf sicherheitsbezogene Eingangssignale reagiert und sicherheitsbezogene Ausgangssignale erzeugt.	Maschinensteuerungen, Auswerteeinheiten, Sicherheitsschalgeräte.												
MTTF	Mean Time To Failure = mittlere Zeit bis zum Ausfall eines Gerätes. Die Angabe erfolgt als Wahrscheinlichkeit, z.B. > 10 <sup>-5</sup> bis 10 <sup>-4</sup> je Stunde.	<table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>MTTF</td> <td>Zeit</td> </tr> <tr> <td>niedrig</td> <td>3 Jahre bis 10 Jahre</td> </tr> <tr> <td>mittel</td> <td>10 Jahre bis 30 Jahre</td> </tr> <tr> <td>hoch</td> <td>30 Jahre bis 100 Jahre</td> </tr> </table>	MTTF	Zeit	niedrig	3 Jahre bis 10 Jahre	mittel	10 Jahre bis 30 Jahre	hoch	30 Jahre bis 100 Jahre				
MTTF	Zeit													
niedrig	3 Jahre bis 10 Jahre													
mittel	10 Jahre bis 30 Jahre													
hoch	30 Jahre bis 100 Jahre													
FMEA	Failure Mode Effect Analysis = Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse. Analytische Methode zur systematischen und vollständigen Erfassung potenzieller Fehler und Ausfallzuständen von Komponenten eines Systems sowie deren Auswirkungen.	Eine FMEA ist während der Konzeptionsphase einer Steuerung durchzuführen.												
Diversität	Zum Erfüllen der Sicherheitsaufgabe mit hoher Zuverlässigkeit sind die Betriebsmittel derart redundant auszulegen, dass die Umsetzung mit ungleichartigen Mitteln erfolgt.	Eine Drehzahlüberwachung wird z.B. durch einen elektrischen Tachogenerator und einen mechanischen Fliehkraftschalter verwirklicht.												

## Digitale Regelung Automatic Digital Control

Merkmal	Erklärung	Darstellungen, Bemerkungen
<p><b>Computer-gestützte Regelung</b></p>	<p>Bei der computergestützten Regelung ist ein Computer, z. B. ein PC, die Regeleinrichtung. Der Computer muss mit entsprechenden Boards (Steckkarten) für die Signaleingabe und Signalausgabe ausgestattet sein. Das Regelungsprogramm ist im Computer mittels CD-Eingabe oder über entsprechende Speicherchips installiert.</p> <p>In den Computer sind der Sollwert der Regelgröße sowie, über einen Sensor erfasst, der Istwert der Regelgröße (Prozessgröße), z. B. ein Temperaturwert, einzugeben.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Regelkreis mit PC</b></p>
<p><b>Digitalisierung</b></p>	<p>Die meist analogen Prozessgrößen werden von einem Analog-Digital-Umsetzer (ADU) der Datenerfassungskarte des PC digitalisiert. Die Digitalsignale werden dann vom PC mittels des installierten Regelungsprogrammes bearbeitet.</p> <p>Die Ergebniswerte des Regelungsprogrammes stellen das digitale Ausgangssignal des Computers dar. Dieses ist bei Bedarf vor seiner Weitergabe an eine entsprechende Stelleinrichtung mit einem Digital-Analog-Umsetzer (DAU) in ein analoges Signal umzuwandeln.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Abtastung und Quantisierung</b></p>
<p><b>Digitale Regelungsfunktionen</b></p>	<p>Digitale Regler besitzen meist mehrere Funktionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Handregelung, automatische Regelung,</li> <li>• Festwertregelung, Folgeregelung,</li> <li>• Zweipunktregelung, Dreipunktregelung,</li> <li>• P-Regelung, PI-Regelung, PD-Regelung, PID-Regelung.</li> </ul> <p>Neben Regelungsaufgaben können auch Steuerungsaufgaben bewältigt werden.</p>	<p>Mit einem digitalen Regler können meist mehrere Regelkreise unabhängig voneinander betrieben werden.</p> <p>Die Regelparameter für eine optimale Regelung der Anlage sind meist nicht bekannt. Die Werkseinstellungen der Regelparameter sorgen für einen stabilen Regelkreis. Die Optimierung der Regelparameter erfolgt durch empirisches Vorgehen (vorhergehende Seite).</p>
<p><b>Universalregler SIPART</b></p>	<p>SIPART besteht aus einem Grundgerät mit Bedienfeld, analogen und binären Eingängen und Ausgängen, in welches rückseitig Steckkarten für DAU, ADU, weitere Eingänge und Ausgänge (analog, digital), Schnittstellen für RS232 oder Profibus gesteckt werden können. Die Bedienung erfolgt über eine Folientastatur mit Schutzart IP64. 1 Anzeige Regelgröße, 2 Anzeige Regelgrößen-Sollwert, 3 Taster für Sollwertänderung, 4 Anzeige Stellgröße, 5 Taster intern/extern, 6 Taster Hand/Automatik, 7 Taster für Stellgröße.</p> <p><a href="http://www.siemens.com">www.siemens.com</a></p>	<p style="text-align: center;"><b>Bedienfeld des Universalreglers SIPART</b></p>
<p><b>Einstellung</b></p>	<p>Mit drei Bedienebenen erfolgt das Einstellen des Reglers. In der Auswahlebene wird eine Parameterliste ausgewählt, deren Parameter in der Konfigurierebene geändert und aktiviert werden können.</p> <p>Es gibt Listen für Parameter des Online-Betriebs, des Offline-Betriebs, von Zeitprogramm-Reglern sowie der Strukturschalter. Mit Strukturschaltern (menügeführter Dialog) werden die Funktion und Struktur des Reglers, z. B. Festwertregler, Folgeregler, Zweipunktregler, P-Regler und Ansprechschwellen, einschließlich der Art der Eingangssignale und Ausgangssignale, festgelegt. In der Liste für die Parameter des Online-Betriebs sind z. B. enthalten die Reglerparameter für den Proportional-Beiwert <math>K_p</math>, die Nachstellzeit <math>T_i</math>, die Vorhaltezeit <math>T_d</math> und die Vorhalteverstärkung <math>V_d</math>.</p> <p>In der Konfigurierebene werden den jeweiligen Parametern der ausgewählten Liste ihre Werte manuell zugewiesen.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Bedienebenen des digitalen Reglers SIPART</b></p>

AS

## Reglerwerte und Einstellkennwerte für Regelstrecken höherer Ordnung

Reglertyp	Einstellbereich	Einstellkennwerte für Regelstrecken
P-Regler	Proportionalbereich $X_{p\%} = 1\% \text{ bis } 30\%$ $K_p = \frac{100\%}{X_{p\%}} = 100 \text{ bis } 3,3$	$K_p \approx 0,3 \frac{T}{T_t \cdot K_s} \text{ bis } 0,7 \frac{T}{T_t \cdot K_s}$
PI-Regler	Proportionalbereich $X_{p\%} = 2\% \text{ bis } 40\%$ $K_p = 50 \text{ bis } 2,5$ Nachstellzeit $T_i = 2 \text{ s bis } 150 \text{ s}$ oder $0,5 \text{ min bis } 30 \text{ min}$	$K_p \approx 0,3 \frac{T}{T_t \cdot K_s} \text{ bis } 0,7 \frac{T}{T_t \cdot K_s}$ $T_i \approx 1 T \text{ bis } 4 T$ $T = T_t + T_i$
PID-Regler	Proportionalbereich $X_{p\%} = 2\% \text{ bis } 40\%$ $K_p = 50 \text{ bis } 2,5$ Nachstellzeit $T_i = 2 \text{ s bis } 150 \text{ s}$ oder $0,5 \text{ min bis } 30 \text{ min}$ Vorhaltezeit $T_d = 0,5 \text{ s bis } 30 \text{ s}$ oder $0,1 \text{ min bis } 5 \text{ min}$	$K_p \approx 0,6 \frac{T}{T_t \cdot K_s} \text{ bis } 1,2 \frac{T}{T_t \cdot K_s}$ $T_i \approx 1 T \text{ bis } 2 T$ $T_d \approx 0,4 T_t \text{ bis } 0,5 T_t$

## Einstellende Parameter für die wichtigsten verfahrenstechnischen Regelgrößen

Reglertyp	Regelgröße	$K_p$	$X_{p\%}$	$T_i$	$T_d$
PID	Temperatur	10 bis 2	10% bis 50%	1 min bis 20 min	0,2 min bis 3 min
PI	Druck	10 bis 3	10% bis 30%	10 s bis 60 s	–
PI	Durchfluss	1 bis 0,5	100% bis 200%	10 s bis 30 s	–
PID	Analyse	0,5 bis 0,2	200% bis 500%	10 min bis 20 min	2 min bis 5 min
P	Niveau	20 bis 1	5% bis 100%	–	–
PI	Niveau	20 bis 2	5% bis 50%	1 min bis 20 min	–

## Kennwerte von Regelstrecken

Regelgröße	Regelstrecke (Beispiele)	$T_t$ bzw. $T_e$	$T_s$ bzw. $T_b$	$K_{is} \cdot \gamma_h$
Temperatur	Kleiner, elektrisch beheizter Ofen	0,5 min bis 1 min	5 min bis 15 min	1 K/s
	Großer, elektrisch beheizter Ofen	1 min bis 5 min	10 min bis 60 min	0,3 K/s
	Destillationskolonne	1 min bis 7 min	40 min bis 60 min	0,1 bis 0,5 K/s
	Dampfüberhitzer	30 s bis 2,5 min	1 min bis 4 min	2 K/s
	Raumheizung	1 min bis 5 min	10 min bis 60 min	1 K/min
	Großer, gasbeheizter Glühofen	0,2 min bis 5 min	3 min bis 60 min	–
	Autoklav (2,5 m <sup>3</sup> )	0,5 min bis 0,7 min	10 min bis 20 min	–
Druck	Hochdruckautoklav (1000 °C, 40 bar)	12 min bis 15 min	200 min bis 230 min	–
	Gasrohrleitung	0	0,1 s	–
Drehzahl	Trommelkessel mit Ölfeuerung	0	150 s	–
	Kleiner elektrischer Antrieb	0	0,2 s bis 10 s	–
Elektrische Spannung	Großer elektrischer Antrieb	0	5 s bis 40 s	–
	Kleine Generatoren	0	1 s bis 5 s	–
Niveau	Große Generatoren	0	5 s bis 10 s	–
	Trommelkessel	0,6 s bis 1 s	–	0,1 cm/s bis 0,3 cm/s
Durchfluss	Rohrleitung (Gas)	0 s bis 5 s	0,2 s bis 10 s	–
	Rohrleitung (Flüssigkeit)	0	0	–

$K_p$	Proportionalbeiwert des Reglers	$Q$	Ausgleichswert der Strecke	$T$	Verzögerungszeit der Strecke, Regelbereich des P-Reglers
$k_{pkrit}$ ( $K_{ps}$ )	Kritischer Proportionalbeiwert, bei dem die Regelgröße ungedämpft schwingt	$T_i$	Nachstellzeit des I-Reglers	$X_{pkrit}$ ( $X_{ps}$ )	Regelbereich des P-Reglers, bei dem der Regelkreis gerade instabil wird
$K_s$	Übertragungsbeiwert einer Regelstrecke mit Ausgleich	$T_d$	Vorhaltezeit des D-Reglers	$X_{p\%}$	prozentualer Regelbereich (Skalenbereich)
$K_{is}$	Übertragungsbeiwert einer Regelstrecke ohne Ausgleich	$T_b$	Ausgleichszeit der Strecke	$X_R$	Reglereingangsgröße
		$T_s$	Zeitkonstante der Strecke	$\gamma_h$	größter Stellbereich der Stellgröße
		$T_t$	Totzeit der Strecke		
		$T_e$	Verzugszeit der Strecke		
		$T_{krit}$	Schwingungszeit des instabilen Regelkreises		

## Einstellung von Regelkreisen 2 Setting of Control Loops 2

### Einstellregeln (nach Ziegler und Nichols) und Einstelldaten aus der Sprungantwort

Reglertyp	Einstellregeln	Einstelldaten aus der Sprungantwort
P	$K_p = \frac{T_s}{K_s \cdot T_t}$	$X_p = 1 \text{ bis } 1,5 \cdot X_R$
PI	$K_p = 0,9 \cdot \frac{T_s}{K_s \cdot T_t}, T_i = 3,3 \cdot T_t$	$X_p = 1,1 \cdot X_R, T_i = 2,5 \text{ bis } 3,5 (T_t + T_e)$
PID	$K_p = 1,2 \cdot \frac{T_s}{K_s \cdot T_t}, T_i = 2 \cdot T_t, T_d = 0,5 \cdot T_t$	$X_p = 0,8 \cdot X_R, T_i = 2 \cdot (T_t + T_e), T_d = 0,5 (T_t + T_e)$

### Reglereinstellung nach der Stabilitätsgrenze (Verfahren nach Ziegler und Nichols)

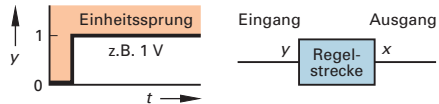
Reglertyp	kritische Einstellwerte	kritische Reglerbereiche
P	$K_p = 0,5 \cdot K_{pkrit}$	$X_{p\%} \approx 2 \cdot X_{pkrit\%}$
PI	$K_p = 0,45 \cdot K_{pkrit}, T_i = 0,83 \cdot T_{krit}$	$X_{p\%} \approx 2,2 \cdot X_{pkrit\%}, T_i = 0,85 \cdot T_{krit}$
PID	$K_p = 0,6 \cdot K_{pkrit}, T_i = 0,5 \cdot T_{krit}, T_d = 0,125 \cdot T_{krit}$	$X_{p\%} \approx 1,7 \cdot X_{pkrit\%}, T_i = 0,5 \cdot T_{krit}, T_d = 0,12 \cdot T_{krit}$

Liegen die Daten der Strecke nicht vor, so lässt sich die optimale Reglereinstellung auf folgendem Weg finden: Man betreibt den Regler als reinen P-Regler ( $T_i \rightarrow \infty, T_d = 0$ ) und wählt den Übertragungsbeiwert  $K_p$  so klein, dass der Regelkreis stabil ist. Anschließend wird  $K_p$  so lange vergrößert, bis im Regelkreis Dauerschwingungen einsetzen und der Regelkreis instabil, d.h. kritisch wird. Die kritischen Daten werden zur Einstellung verwendet.

### Zeitverhalten von Regelstrecken

#### Sprungantwort-Verfahren

Beim Sprungantwort-Verfahren wird die Übergangsfunktion experimentell ermittelt.



Bezeichnung Kenngrößen	Stell-Sprungantwort	Beispiel	Übergangsverhalten
Regelstrecke ohne Verzögerung $P_0$ -Strecke $K_{ps} = \frac{x}{y}$			x folgt proportional unverzögert der Eingangsgröße y.
Regelstrecke 1. Ordnung $PT_1$ -Strecke $K_{ps} = \frac{x_\infty}{y}$		RC-Glied 	x folgt proportional der Eingangsgröße, aber bei Änderungen verzögert nach einer e-Funktion.
Regelstrecke mit Totzeit $PT_1$ -Strecke $K_{ps} = \frac{x}{y}$		Mischung zweier Flüssigkeiten 	x folgt proportional der Eingangsgröße y, jedoch um die Zeit $T_t$ verzögert.

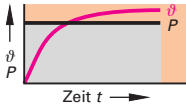
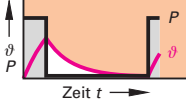
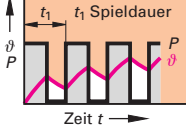
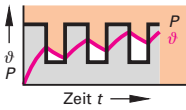
Für Regelstrecken ohne Ausgleich sind statt  $K_s$  der Ausdruck  $K_{is}$  und statt  $\frac{T_e}{K_g}$  der Ausdruck  $T_e$  einzusetzen.

$l$  Länge,  $v$  Strömungsgeschwindigkeit,  $I_B$  Basisstrom,  $U_e$  Eingangsspannung,  $U_a$  Ausgangsspannung,  $x_\infty$  Reglerausgangsgröße nach Einschwingvorgang, sonstige Erklärung der Formelzeichen siehe vorhergehende Seite.

## Betriebsarten und Grenzübertemperaturen

### Operating Modes and Temperature Rise Limits

#### Betriebsarten S1 bis S9

Betriebsart	Leistung, Temperatur	Betriebsbedingungen, Bemerkungen, Anwendungen
Dauerbetrieb <b>S1</b>		Unter Bemessungslast wird eine gleichbleibende Temperatur erreicht, die auch bei längerem Betrieb nicht mehr ansteigt. Das Betriebsmittel kann pausenlos unter Bemessungslast arbeiten, ohne dass die zulässige Temperatur überschritten wird. Beispiel: Antriebsmotor für Wasserwerkspumpe.
Kurzzeitbetrieb <b>S2</b>		Die Betriebsdauer unter Bemessungslast ist kurz im Vergleich zur Pause. Genormte Betriebsdauern 10 min, 30 min, 90 min. Diese Zeit kann das Betriebsmittel unter Bemessungslast arbeiten, ohne dass die zulässige Temperatur überschritten wird. Beispiel: Antriebsmotor für Garagentor.
Aussetzbetriebe <sup>1</sup> <b>S3, S4, S5</b>		Betriebsdauer unter Bemessungslast und die folgende Pause sind kurz. Das Betriebsmittel kann unter Bemessungslast nur während der angegebenen ED (Einschaltdauer) in % der Spieldauer arbeiten. Genormte ED: 15%, 25%, 40%, 60%. Die Spieldauer beträgt 10 min, wenn nicht anders angegeben. Beispiele: Hebezeugmotor (S3), Antriebsmotor für Schalttisch (S4), Antriebsmotor für Positionierung (S5).
Ununterbrochener periodischer Betrieb mit Aussetzbelastung <b>S6</b>		Diese Betriebsart entspricht S3, jedoch bleibt in den Belastungspausen das Betriebsmittel eingeschaltet, arbeitet also im Leerlauf. Einschaltdauer und Spieldauer werden wie bei S3 angegeben. Beispiel: Bohrmaschine (sofern leer durchlaufend).
Ununterbrochener periodischer Betrieb mit elektrischer Bremsung <b>S7</b>		Die Maschine läuft an, wird belastet und danach elektrisch gebremst, z. B. durch Einspeisen von Gleichstrom. Anschließend läuft sie sofort wieder hoch. Die Maschine kann in dieser Weise pausenlos arbeiten, wenn die angegebenen Trägheitsmomente $J_M$ des Motors und $J_{ext}$ der Last sowie die Spieldauer nicht überschritten werden. Wenn keine Spieldauer angegeben ist, so beträgt sie 10 min. Beispiel: Antriebsmotor für Fertigungseinrichtung.
Ununterbrochener periodischer Betrieb mit Drehzahländerung <b>S8</b>		Die Maschine läuft dauernd unter wechselnder Last und mit häufig wechselnder Drehzahl. Die Maschine kann in dieser Weise pausenlos arbeiten, wenn für jede Drehzahl die angegebenen Werte nicht überschritten werden (Trägheitsmomente $J_M$ und $J_{ext}$ , Spieldauer, wenn von 10 min abweichend, Bemessungsleistungen und Einschaltdauer. Beim Trägheitsmoment von $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ liegt ein Verhalten gegen Beschleunigung wie bei einer Masse von $1 \text{ kg}$ im Abstand von $1 \text{ m}$ von der Drehachse vor). Beispiel: Aufzugsmotor.
Ununterbrochener Betrieb mit nicht-periodischer Last- und Drehzahländerung <b>S9</b>		Ein Betrieb, bei dem sich Last und Drehzahl innerhalb des Betriebsbereiches nicht-periodisch ändern. Dabei treten Lastspitzen auf, die weit über der Bemessungsleistung liegen können. Beispiel: Motor für Presse.

<sup>1</sup> Bei S3 ist der Anlaufstrom für die Erwärmung unerheblich. Bei S4 ist der Anlaufstrom für die Erwärmung erheblich. Bei S5 erwärmt zusätzlich der Bremsstrom die Maschine. Bei S4 und S5 sind zusätzlich zur Einschaltdauer ED das Trägheitsmoment  $J_M$  des Motors und das externe (äußere) Trägheitsmoment  $J_{ext}$  der Last angegeben.

#### Grenzübertemperaturen in K (Kelvin)

Thermische Klasse/Isolierstoffklasse	105/A	120/E	130/B	155/F	180/H
1. Einlagige Feldwicklungen	65	80	90	110	135
2. Sonstige Wicklungen	60	75	80	105	125
3. Stromwender, Schleifringe	60	70	80	90	100
4. Sonstige Teile in Berührung mit Wicklungen	60	75	80	100	125

Übersteigt die Eintrittstemperatur des gasförmigen Kühlmittels, z. B. Luft,  $40^\circ\text{C}$  oder von Wasser  $25^\circ\text{C}$ , so ist die höchstzulässige Übertemperatur im gleichen Umfang zu verringern.

Bei Betrieb in 1000 m bis 4000 m über Meeresspiegel sind die zulässigen Übertemperaturen kleiner.

**Bei Maschinen:** Um 1% je 100 m Höhenzunahme über 1000 m.

**Bei Transformatoren** mit Selbstkühlung (S): Öltransformatoren um 2%, Trockentransformatoren um 2,5%/100 m, mit Fremdlüftung (F): Öltransformatoren um 3%, Trockentransformatoren um 5% je 500 m Höhenzunahme über 1000 m.

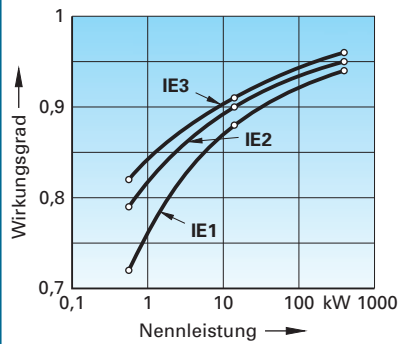
# Effizienz von elektrischen Antrieben Efficiency of Electrical Drives

Daten	Erklärung	Bemerkungen
-------	-----------	-------------

## Standards für effiziente Antriebe

IEC-Bezeichnung	US-Bezeichnung	alte EU-Bezeichnung	Elektromotoren benötigen etwa die Hälfte des erzeugten Stromes. Bei elektrischen Antrieben besteht ein großes Potenzial zum Energiesparen. Deshalb werden elektrische Antriebe nach ihrer Effizienz unterschieden.	Eine Möglichkeit zur Erhöhung der Effizienz ist der Einsatz von Cu anstelle von Al für den Läuferkäfig und von besserem Magnetmaterial (Elektroblech) mit kleineren Verlusten bei Käfigläufermotoren.
IE1	Standard Efficiency	EFF3		
IE2	High Efficiency	EFF2		
IE3	Premium Efficiency	EFF1		
IE4	Super Premium Efficiency	-		

## Wirkungsgrade nach IEC 60034 bei vierpoligen Motoren (gerundete Werte)



Mindestwirkungsgrade von vierpoligen Elektromotoren bei voller Last für Nennleistungen von 0,75 kW bis 370 kW für 50 Hz

Der Wirkungsgrad großer Motoren ist höher als bei kleinen Motoren, weil durch die kompakte Bauart weniger verloren geht vom Magnetfeld und von der magnetischen Wirkung des Stromes. Der Wirkungsgrad von vierpoligen Motoren ist meist am größten, weil für diese häufige Bauart die Abmessung der Maschine günstiger als bei anderen Motoren gewählt wird. Bei sechspoligen Motoren ist dagegen der Wirkungsgrad kleiner, weil bei gleicher Leistung das Kraftmoment größer sein muss. Der Wirkungsgrad von Motoren für 60 Hz ist größer als der von 50 Hz, weil bei 60 Hz die Drehzahl größer ist als bei 50 Hz.

Die angegebenen Wirkungsgrade gelten nur für den Betrieb bei Nennlast. Bei herabgesetzter Belastung sinkt der Wirkungsgrad stark ab, weil dann der Leistungsfaktor der Maschine sinkt. Deshalb wird bei von Umrichtern gespeisten Antrieben bei Teillast die Spannung oft herabgesetzt. Dadurch verhält sich der Motor wie ein Motor mit kleinerer Nennlast. Für niedrige Drehzahlen sind Motoren mit großer Polzahl weniger geeignet als Getriebemotoren mit hoher Drehzahl.

## Mindestwirkungsgrade von Motoren verschiedenen Effizienzklassen und Polzahlen vgl. IEC 60034-30

Nennleistung kW	IE1			IE2			IE3		
	2 Pole	4 Pole	6 Pole	2 Pole	4 Pole	6 Pole	2 Pole	4 Pole	6 Pole

### Motoren für 50 Hz

0,75	0,72	0,72	0,7	0,77	0,79	0,76	0,81	0,82	0,79
1,5	0,77	0,77	0,75	0,81	0,83	0,80	0,84	0,85	0,82
3,0	0,82	0,82	0,80	0,85	0,86	0,83	0,87	0,88	0,86
5,5	0,85	0,85	0,83	0,87	0,88	0,86	0,89	0,90	0,88
7,5	0,86	0,86	0,85	0,88	0,89	0,87	0,90	0,90	0,89
11	0,88	0,88	0,86	0,89	0,90	0,89	0,91	0,91	0,90
15	0,89	0,89	0,88	0,90	0,91	0,90	0,92	0,92	0,91
375	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,958	0,96	0,958

Bei 50 Hz entsprechen 2 Pole der synchronen Drehzahl (Drehfeldfrequenz) von 3000/min, 4 Pole der synchronen Drehzahl (Drehfeldfrequenz) von 1500/min und 6 Pole der synchronen Drehzahl (Drehfeldfrequenz) von 1000/min.

### Motoren für 60 Hz

0,75	0,77	0,78	0,73	0,76	0,83	0,80	0,77	0,86	0,83
1,5	0,81	0,82	0,77	0,84	0,84	0,87	0,86	0,87	0,89
5,5	0,86	0,87	0,85	0,89	0,90	0,90	0,90	0,92	0,91
15	0,89	0,90	0,90	0,90	0,91	0,90	0,91	0,93	0,92
375	0,94	0,95	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96

Bei 60 Hz entsprechen 2 Pole der synchronen Drehzahl (Drehfeldfrequenz) von 3600/min, 4 Pole der synchronen Drehzahl (Drehfeldfrequenz) von 1800/min und 6 Pole der synchronen Drehzahl (Drehfeldfrequenz) von 1200/min.

AS

## Betriebsdaten von Käfigläufermotoren Operating Data of Squirrel Cage Motors

Größe	$P_N$ in kW	$n_N$ in 1/min	$I_N$ in A	$M_N$ in Nm	$\eta$ in %	$\cos \varphi$	$\frac{I_A}{I_N}$	$\frac{M_A}{M_N}$	$\frac{M_K}{M_N}$	$m$ in kg
<b>Drehstrommotoren bei 50 Hz / 400 V, nicht polumschaltbar</b>										
<b>Drehfeldzahl <math>n_s = 3000/\text{min}</math></b>										
56	0,12	2760	0,4	0,42	55	0,80	4,5	2,0	2,0	3,5
63	0,25	2765	0,7	0,86	65	0,81	4,5	2,3	2,2	4,0
71	0,55	2800	1,3	1,88	70	0,85	4,9	2,3	2,2	6,5
80	1,1	2850	2,4	3,69	77	0,85	5,2	2,4	2,3	8,1
90S	1,5	2860	3,2	5,0	82	0,82	6,2	2,5	2,4	12,9
90L	2,2	2860	4,6	7,3	82	0,85	6,8	2,8	2,6	14,8
100L	3	2895	6,1	9,9	83	0,85	7,2	2,4	2,6	21
112M	4	2895	7,8	13	84	0,88	7,6	2,4	2,8	25
132S	5,5	2925	10,6	18	85	0,88	7,0	2,2	2,6	43
132M	7,5	2925	14,3	24	86	0,88	7,5	2,4	2,6	50
160M	15	2935	29	49	90	0,84	7,1	2,1	3,0	82
160L	18,5	2940	34	60	91	0,86	7,5	2,3	3,1	92
<b>Drehfeldzahl <math>n_s = 1500/\text{min}</math></b>										
56	0,09	1300	0,3	0,66	52	0,75	2,7	1,7	2,0	3,3
63	0,18	1325	0,6	1,30	60	0,77	2,7	1,7	2,0	3,8
71	0,37	1375	1,1	2,6	62	0,78	3,2	1,7	2,0	4,5
80	0,75	1400	1,8	5,1	74	0,80	5,0	2,3	2,1	8,0
90S	1,1	1405	2,6	7,5	75	0,81	5,0	2,1	2,2	12,3
90L	1,5	1410	3,5	10	75	0,82	5,2	2,2	2,2	14,5
100L	3	1415	6,5	20	81	0,82	6,2	2,7	2,5	24
112M	4	1435	8,4	27	83	0,83	7,0	2,9	2,6	29
132S	5,5	1450	11	36	84	0,85	7,0	2,2	2,3	39
132M	7,5	1450	15	49	86	0,85	7,6	2,4	2,7	53
180S	18,5	1460	35	121	91	0,85	6,2	2,6	2,8	165
180M	22	1460	41	144	91	0,85	6,4	2,6	2,8	180
<b>Polumschaltbare Drehstrommotoren in Dahlanderschaltung <math>n_s = 1500/\text{min}</math> bzw. <math>3000/\text{min}</math></b>										
71	0,37 0,55	1370 2760	1,2 1,7	2,6 1,9	62 65	0,72 0,74	3,2 3,3	1,6 1,7	2,0 2,0	5,0
80	0,55 0,75	1400 2850	1,6 2,0	3,8 2,6	65 70	0,75 0,77	4,3 4,5	1,7 1,8	1,9 2,0	8,0
90S	1,0 1,2	1430 2890	2,7 3,0	6,7 4,0	69 75	0,77 0,78	5,3 5,4	1,8 1,9	2,0 2,0	13
100L	2,0 2,6	1450 2900	5,0 5,8	13 8,36	72 76	0,80 0,85	5,9 6,6	2,1 2,2	2,1 2,1	21
<b>Einphasenwechselstrommotoren mit Betriebskondensator bei 50 Hz/230 V</b>										
Größe	$P_N$ in kW	$n_N$ in 1/min	$I_N$ in A	$\cos \varphi$	$\frac{I_A}{I_N}$	$\frac{M_A}{M_N}$	$C_B$ in $\mu\text{F}$	$U_C$ in V	$\frac{M_K}{M_N}$	$m$ in kg
63	0,12	2800	1,2	0,94	3,0	0,6	4	400	2,0	5
71	0,5	2760	2,4	0,95	3,0	0,45	10	400	2,0	8
80	0,9	2800	6,2	0,97	4,0	0,35	20	400	2,0	11
90S	1,1	2820	7,4	0,97	3,4	0,38	30	400	2,6	14
90L	1,7	2800	11	0,97	3,5	0,35	40	400	2,8	17
63	0,12	1390	1,2	0,94	2	0,54	5	400	3,0	5
71	0,3	1380	1,6	0,95	2,6	0,52	12	400	3,0	8
80	0,6	1380	4,1	0,94	3,3	0,64	16	400	2,9	11

$C_B$  Kapazität des Betriebskondensators,  $\cos \varphi$  Leistungsfaktor,  $I_A$  Anzugsstrom,  $I_N$  Bemessungsstrom,  $m$  Masse,  $M_A$  Anzugsmoment,  $M_K$  Kippmoment,  $M_N$  Bemessungsmoment,  $n_N$  Bemessungsdrehzahl,  $n_s$  Drehfeldzahl,  $P_N$  Bemessungsleistung,  $U_C$  Kondensatorspannung,  $\eta$  (Eta) Wirkungsgrad,  $\varphi$  (Phi) Phasenverschiebungswinkel. S von short = kurz, L von long = lang, M von medium = mittel

**Die Werte der Tabelle wurden Firmenkatalogen entnommen und entsprechen nicht immer den Normen.**

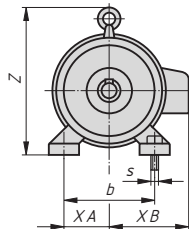
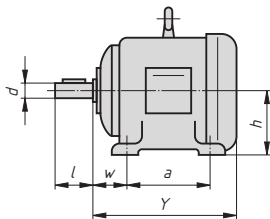
## Oberflächengekühlte Käfigläufermotoren (Normmotoren) Surface-cooled Squirrel Cage Motors (Standard Motors)

### Wellenenden bei IM B3, IM B6, IM B7, IM B8, IM V5, IM V6 und Bemessungsleistungen

Größe (h in mm) (siehe Bild)	d x l in mm		Bemessungsleistung in kW			
	3000/min	1500/min	3000/min	1500/min	1000/min	750/min
56	9 x 20		0,09/0,12	0,06/0,09	–	–
63	11 x 23		0,18/0,25	0,12/0,18	–	–
71	14 x 30		0,37/0,55	0,25/0,37	–	–
80	19 x 40		0,75/1,1	0,55/0,75	0,37/0,55	–
90 S	24 x 50		1,5	1,1	0,75	–
90 L	24 x 50		2,2	1,5	1,1	–
100 L	28 x 60		3	2,2/3	1,5	0,75/1,1
112 M	28 x 60		4	4	2,2	1,5
132 S	38 x 80		5,5/7,5	5,5	3	2,2
132 M	38 x 80		–	7,5	4/5,5	3
160 M	42 x 110		11/15	11	7,5	4/5,5
160 L	42 x 110		18,5	15	11	7,5
180 M	48 x 110		22	18,5	–	–
180 L	48 x 110		–	22	15	11
200 L	55 x 110		30/37	30	18,5/22	15
225 S	55 x 110		–	37	–	18,5
225 M	55 x 110	60 x 140		45		30
250 M	60 x 140	65 x 140	55		37	30
280 S	65 x 140	75 x 140	75		45	37

### Abmessungen bei IM B3, IM B6, IM B7, IM B8, IM V5, IM V6

Baugröße h in mm	a in mm	b in mm	w in mm	Schraube s	XA in mm	XB in mm	Y in mm	Z in mm
56	71	90	36	M 5	62	104	174	166
63	80	100	40	M 6	73	110	210	181
71	90	112	45	M 6	78	130	224	196
80	100	125	50	M 8	96	154	256	214
90 S	100	140	56	M 8	104	176	286	244
90 L	125	140	56	M 8	104	176	298	244
100 L	140	160	63	M 10	122	194	342	266
112 M	140	190	70		134	218	372	300
132 S	140	216	89	M 10	158	232	406	356
132 M	178	216	89	M 10	158	232	440	356
160 M	210	254	108	M 12	186	274	545	480
160 L	254	254	108		186	274	562	480
180 M	241	279	121	M 12	208	312	602	554
180 L	279	279	121	M 12	208	312	632	554
200 L	305	318	133	M 16	240	382	680	600
225 S	286	356	149	M 16	270	428	764	675
225 M	311	356	149		270	428	764	675
250 M	349	406	168	M 20	300	462	874	730
280 S	368	457	190	M 20	332	522	984	792
280 M	419	457	190		332	522	1036	792



Bauformen IM siehe folgende Seite.

Bei Größenangabe bedeuten L lange Form, S (von short) kurze Form, M mittelkurze Form.






























Die Motoren brauchen der nebenstehenden Zeichnung nicht zu entsprechen.

Die angegebenen Maße sind jedoch einzuhalten.



## Bauformen von drehenden elektrischen Maschinen

### Types of Construction of Rotating Electrical Machines

Bild	Erklärung IEC-Code I IEC-Code II	Bild	Erklärung IEC-Code I IEC-Code II	Bild	Erklärung IEC-Code I IEC-Code II
<b>Maschinen ohne Lager</b>					
	Ohne Welle, Füße hochgezogen A2 IM 5510		Wie IM B35, aber ohne Füße IM B10 IM 4001		2 Schildlager, Flansch unten, mit Füßen zur Wandbefestigung IM V15 IM 7201
	Wie IM 5510, aber mit Fußplatte – IM 5710		Wie IM B34, aber ohne Füße IM B14 IM 3601		Wie IM V 1, aber Wellenende oben  IM V2 IM 3231
<b>Maschinen mit Schildlagern für waagerechte Anordnung</b>					
	2 Schildlager, 1 freies Wellenende IM B3 IM 1001		Wie IM B3, aber ohne Lager auf Antriebsseite IM B15 IM 1201		Wie IM V2, aber mit Flansch oben  IM V3 IM 3031
	Flanschmotor mit Füßen IM B35 IM 2001		Ohne Füße, ohne Flansch (Einbau in Rohr) IM B30 IM 9201		Wie IM V3, aber Wellenende unten  IM V4 IM 3211
<b>Maschinen mit Schildlagern und Stehlagern</b>					
	Wie IM B35, aber kein Zugang von der Gehäuseseite IM B34 IM 2101		2 Schildlager, 1 Stehlager, Grundplatte C2 IM 6010		Wie IM V15, aber ohne Flansch  IM V5 IM 1011
	Wie IM B35, aber ohne Füße (Flanschanbau) IM B5 IM 3001		Wie IM 6010, ohne Grundplatte – IM 6100		Wie IM V5, aber Wellenende oben  IM V6 IM 1031
<b>Maschinen mit Stehlagern</b>					
	Wie IM B3, aber für Wand- befestigung; Füße links IM B6 IM 5051		Ohne Schildlager, 1 Stehlager, mit Füßen – IM 7001		1 Schildlager, ohne Wälzlager am Wellenende IM V8 IM 9111
	Wie IM B3, aber für Wand- befestigung; Füße rechts IM B7 IM 1061		2 Stehlager, mit Füßen D9 IM 7201		Wie IM V1, aber Flansch in Gehäusenähe IM V10 IM 4011
	Wie IM B3, aber für Decken- befestigung IM B8 IM 1071	<b>Maschinen für senkrechte Anordnung</b>			Ohne Füße, ohne Flansch, zum Einbau in Rohr IM V31 IM 9231
	Wie IM B5, aber ohne Lagerschild IM B9 IM 9101		Mit 2 Führungs- lagern, Flansch und Wellenende unten, Flansch in Lagernähe IM V 1 IM 3011		Querlager oben, Kupplungsflansch unten W1 IM 8015

# Berechnungsformeln für drehende elektrische Maschinen

## Calculation Formulas for Rotating Electrical Machines

### Synchronmotor, Synchrongenerator

$n$  Drehzahl, Umdrehungsfrequenz  
 $n_s$  Drehfelddrehzahl  
 $f$  Netzfrequenz  
 $p$  Polpaarzahl (halbe Polzahl)

$$n = n_s \quad 1$$

$$n_s = \frac{f}{p} \quad 2$$

### Asynchronmotor, Asynchrongenerator

Formelzeichenbedeutung wie oben. Zusätzlich:

$f_L$  Frequenz im Läufer  
 $s$  Schlupf (in %)  
 $M$  Kraftmoment, Moment  
 $M_A$  Anzugsmoment  
 $M_K$  Kippmoment  
 $M_N$  Bemessungsmoment  
 $M_S$  Sattelmoment  
 $s_K$  Kippschlupf (Schlupf beim Kippmoment)

$$n_s = \frac{f}{p} \quad 3$$

$$f_L = \frac{f \cdot s}{100\%} \quad 4$$

$$s = \frac{(n_s - n) \cdot 100\%}{n_s} \quad 5$$

$$f_L = f - \frac{f \cdot n}{n_s} \quad 6$$

$$\frac{M}{M_K} = \frac{2}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}} \quad 7$$

$$n = \frac{f}{p} \left(1 - \frac{s}{100}\right) \quad 8$$

$$M = C_M \cdot U_{Str}^2 \quad 9$$

Bei Einphasenmotoren:

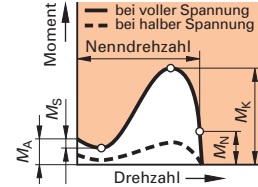
$$I = \frac{P}{\eta \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad 10$$

Bei Drehstrommotoren:

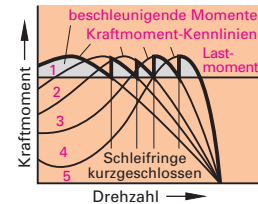
$$I = \frac{P}{\eta \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad 11$$

$C_M$  Kraftmoment-Koeffizient der Maschine  
 $U_{Str}$  Strangspannung  
 $I$  Stromstärke (Leiterstrom)  
 $P$  Leistungsabgabe (mechanisch)  
 $\eta$  Wirkungsgrad  
 $U$  Netzspannung, bei Drehstrom Dreiecksspannung  
 $\cos \varphi$  Leistungsfaktor

Berechnung des Läuferstromes von Schleifringläufermotoren siehe Anlasser für Elektromotoren.



### M(n)-Kennlinie für Kurzschlussläufer



### M(n)-Kennlinien für Schleifringläufer

### Fremderregter Motor (Nebenschlussmotor)

Formelzeichenbedeutung wie oben. Zusätzlich:

$s$  Abnahme in % gegenüber Leerlauf  
 $I_a$  Ankerstrom  
 $M_{St}$  Kraftmoment im Stillstand  
 $I_{St}$  Ankerstrom im Stillstand  
 $U_i$  induzierte Spannung  
 $C_U$  Spannungskoeffizient der Maschine  
 $\Phi_e$  Erregerfluss  
 $P_a$  mechanische Ankerleistung  
 $U_a$  Ankerspannung (Netzspannung des Ankerkreises)  
 $R_a$  Ankerwiderstand  
 $R_v$  Vorwiderstand  
 $I_e$  Erregerstrom  
 $U_e$  Erregerspannung  
 $R_e$  Widerstand der Erregerwicklung

$$s = \frac{M \cdot 100\%}{M_{St}} \quad 12$$

$$s = \frac{I_a \cdot 100\%}{I_{St}} \quad 13$$

$$s = \frac{(n_s - n) \cdot 100\%}{n_s} \quad 14$$

$$U_i = C_U \cdot \Phi_e \cdot n \quad 15$$

$$U_i \approx \frac{P_a}{I_a} \quad 16$$

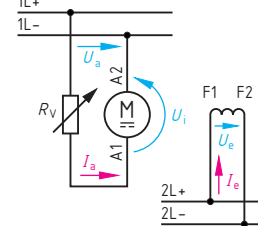
$$U_a = U_i + (R_a + R_v) \cdot I_a \quad 17$$

$$I_{St} = \frac{U_a}{R_a + R_v} \quad 18$$

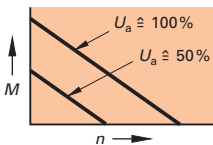
$$M = C_M \cdot \Phi_e \cdot I_a \quad 19$$

$$I_a = \frac{P_a}{\eta \cdot U_a} \quad 20$$

$$I_e = \frac{U_e}{R_e} \quad 21$$



### Schaltung



### Belastungskennlinie

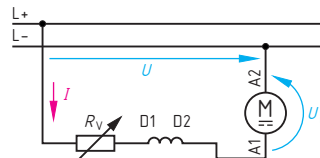
### Reihenschlussmotor

Formelzeichenbedeutung wie oben.

$$I_{St} = \frac{U}{R_e + R_v + R_a} \quad 22$$

$$I = I_a \quad 23$$

$$M = \frac{C_M}{n^2} \quad 24$$

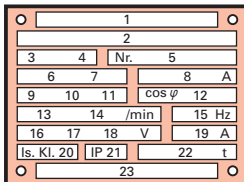


# Leistungsschilder von drehenden elektrischen Maschinen

## Nameplates of Rotating Electrical Machines

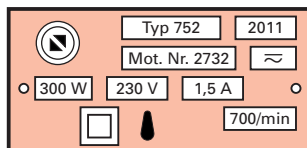
### Motoren, Generatoren, Umformer

Feld	Erklärung	Feld	Erklärung			
1	Firmenzeichen	12	Bemessungsleistungsfaktor $\lambda$ bzw. $\cos \varphi$ . Bei Synchronmaschinen ist das Zeichen u (untererregt) anzufügen, wenn Blindleistung aufgenommen werden soll.			
2	Typenbezeichnung der Maschine					
3	Stromart					
4	Arbeitsweise (z. B. Motor, Generator)					
5	Maschinennummer der Fertigung					
6	Schaltart der Ständerwicklung bei Synchron- und Induktionsmaschinen, und zwar	14	Bemessungsdrehzahl. Außerdem wird angegeben: Bei Motoren mit Reihenschlussverhalten die Höchstdrehzahl $n_{max}$ ; bei Generatoren, die von Wasserturbinen angetrieben werden, die Durchgangsdrehzahl $n_d$ der Turbine; bei Getriebemotoren die Enddrehzahl $n_z$ des Getriebes.			
				Phasenzahl	Schaltung	Zeichen
				1 ~	offen mit Hilfsstrang	 ⊥
	3 ~ verkettet in Schaltung	3 ~ unverkettet				
		Stern Dreieck		Y Δ		
	6 ~ verkettet in Schaltung	Stern mit herausgeführten Mittelpunkt		Y		
		Doppeldreieck		☆		
		Sechseck		⬡		
	2 ~	Stern		*		
		unverkettet		<sup>2</sup>		
n ~	verkettet, allgemein, z. B. in L-Schaltung	L				
	unverkettet	<sup>n</sup>				
7	Bemessungsspannung, Nennspannung	15	Bemessungsfrequenz, Nennfrequenz			
8	Bemessungsstrom, Nennstrom	16	bei Schleifringläufer			
9	Bemessungsleistung (Abgabe). Bei Synchron- generatoren in kVA oder VA, sonst in kW oder W.		bei Gleichstrom- maschine und Synchronmaschine			
10	Einheiten kW, W, kVA, VA	17	„Läufer“ bzw. „Lfr“			
11	Betriebsart (entfällt bei S1 = Dauerbetrieb) und Bemessungsbetriebszeit bzw. relative Ein- schaltdauer. Beispiel: S2 30 min, S3 40% ED	18	„Erreger“ bzw. „Err“			
		19	Schaltart, wenn keine 3 AC-Schaltung			
		18	Läuferstillstands- spannung in V			
		19	Bemessungserreger- spannung in V			
20	Einheiten kW, W, kVA, VA	20	Läuferstillstands- spannung in V			
21	Betriebsart (entfällt bei S1 = Dauerbetrieb) und Bemessungsbetriebszeit bzw. relative Ein- schaltdauer. Beispiel: S2 30 min, S3 40% ED	21	Läuferstrom in Bemessungsbetrieb. Angabe entfällt, falls Ströme kleiner als 10 A.			
22	Betriebsart (entfällt bei S1 = Dauerbetrieb) und Bemessungsbetriebszeit bzw. relative Ein- schaltdauer. Beispiel: S2 30 min, S3 40% ED	22	Erregerstrom			
23	Betriebsart (entfällt bei S1 = Dauerbetrieb) und Bemessungsbetriebszeit bzw. relative Ein- schaltdauer. Beispiel: S2 30 min, S3 40% ED	23	Isolierstoffklasse (Y, A, E, B, F, H, C). Gehören Ständer und Läufer zu verschiedenen Klassen, wird zuerst die Klasse des Ständers, dann die Klasse des Läufers angegeben (z. B. E/F).			
24	Betriebsart (entfällt bei S1 = Dauerbetrieb) und Bemessungsbetriebszeit bzw. relative Ein- schaltdauer. Beispiel: S2 30 min, S3 40% ED	24	Schutzart, z. B. IP 23			
25	Betriebsart (entfällt bei S1 = Dauerbetrieb) und Bemessungsbetriebszeit bzw. relative Ein- schaltdauer. Beispiel: S2 30 min, S3 40% ED	25	Angenähertes Gewicht in Tonnen (t). Angabe entfällt, wenn leichter als 1 t.			
26	Betriebsart (entfällt bei S1 = Dauerbetrieb) und Bemessungsbetriebszeit bzw. relative Ein- schaltdauer. Beispiel: S2 30 min, S3 40% ED	26	Zusätzliche Vermerke, z. B. VDE 0530/..., Kühlmittelmenge bei Fremdbelüftung und bei Wasserkühlung.			



Wird die Wicklung einer Maschine neu gewickelt oder umgeschaltet, so muss zusätzlich ein weiteres Schild mit Firmenbezeichnung, Jahreszahl und gegebenenfalls neuen Angaben angebracht werden.  
(Leistungsschilder von Transformatoren siehe Seite 217).

### Geräte mit elektrischen Maschinen



**Leistungsschild einer Handbohrmaschine**

Außerdem sind anzugeben:  
Bemessungsaufnahme in W;  
bei Schutzklasse II Symbol □;  
ein Symbol für die Feuchtigkeits-  
Schutzart, z. B. □.

Bei Kleingeräten, wie tragbaren Elektrowerkzeugen, Staubsaugern, Küchenmaschinen, Tonbandgeräten, wird kein genormtes Leistungsschild verwendet. Die Inhalte folgender Felder sind aber meist auf dem Leistungsschild angegeben: Felder 1, 2, 3, 6, 7, 11, 14, 15 (teilweise).

AS

## Drehstrommotoren Three-phase Motors

Motorart	Synchronmotor	Schleifringläufermotor	Käfigläufermotor
Schaltzeichen und Anschluss für Rechtslauf			
Kraftmoment-kennlinien			
Drehrichtungs-umkehr	Durch Vertauschen zweier Außenleiter		
Schaltung an den Anschluss-klemmen	<p>Der Ständer ist wie beim Käfigläufermotor anzuschließen.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Läuferanschluss</p> <p>Entfällt bei Dauermagnet-erregung</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Läufer in Y oder Δ</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Läufer in V (zweiphasig)</p> </div> </div>		<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>bei Stern-schaltung</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>bei Dreieck-schaltung</p> </div> </div>
Häufigstes Anlassen	bei Anlaufkäfig: direktes Einschalten ohne Erregung	Anlasswiderstände im Läuferkreis	direktes Einschalten (falls möglich bei Einstellung für niedrige Drehzahl)
$M_A / M_N$	0,5 bis 1 mit Anlaufkäfig	kleine Motoren bis 4, große Motoren bis 2	0,4 bis 2
$I_A / I_N$	3 bis 7	$\approx 1$ bei Anlauf mit $M_N$	3 bis 7
Kurzzeitige Überlastbarkeit	1,5- bis 4-fach	1,6- bis 2,5-fach	1,6- bis 3-fach
Steuern der Drehzahl	Steuern der Frequenz durch FU (Frequenzumrichter)	Läuferzusatzwiderstände	Polumschaltung, Frequenzsteuerung
Drehzahl-stellbereich	bis 1: $\infty$ bei Servomotoren bis 1: 10 bei Schiffsantrieben	bei Läuferzusatzwiderständen bis 1:3	bei Polumschaltung mit 4 Stufen bis 1:8
	bei Frequenzsteuerung mit Umrichter bis 1:100, mit Drehzahlregler bis 1: $\infty$		
Elektrisches Bremsen ohne zusätzliche Bremse	Nutzbremmung durch Betrieb als Generator. Mit Anlaufkäfig auch Gegenstrombremsung.	Nutzbremmung durch Betrieb als Generator, insbesondere bei Polumschaltung. Verlustbremsung durch Gegenstrombremsung sowie durch Speisen des Ständers mit Gleichstrom oder Einphasenwechselstrom.	
Anwendungs-beispiele	Servomotoren, Kolbenverdichter, Umformer, Propellerantriebe auf Schiffen	Hebezeuge, Förderanlagen, Verdichter, Steinbrecher, Verschiebebahnen	Werkzeugmaschinen, Verarbeitungsmaschinen, Landwirtschaftsmaschinen, Hebezeuge

AS

$I_A$  Anzugsstrom,  $I_N$  Bemessungsstrom,  $M$  Moment, Kraftmoment,  $M_A$  Anzugsmoment,  $M_N$  Bemessungsmoment,  $n$  Drehzahl,  $n_s$  Drehfeldzahl (synchrone Drehzahl),  $R_V$  Anlasswiderstand,  $\infty$  unendlich.

## Kleinstmotoren Micromotors

Begriffe	Erklärung, typische Daten	Ansichten
<p>Leistungsarten Umgebungs-temperatur</p> <p>Leistungs-bereich</p> <p>Kurzzeit-betrieb Anwen-dungen</p>	<p><i>Typenleistung</i> ist die im empfohlenen Leistungs-bereich maximale Abgabeleistung. <i>Dauerbetriebsbereich</i> ist der Bereich für dauernde Belastung bei einer Umgebungs-temperatur von 25 °C. <i>Empfohlener Leistungs-bereich</i> ist kleiner als der Dauerbetriebsbereich.</p> <p>Motor darf <i>kurzzeitig</i> und wiederholt über-lastet werden. Roboter, Positionierungsantriebe, zahnärzt-liche Geräte, Dialysegeräte, Lüfter, Kfz-Mechatronik, Nivelliergeräte, Beamer, Fahr-tenschreiber, Lesegeräte.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Betriebsbereiche eines Kleinstmotors 0,5 W</b></p>
<p><b>DC-Motor mit Edelmetallbürsten</b></p> <p>Permanentmagnete</p> <p>eisenloser Außenläufer</p> <p>Spezial-wicklung</p>	<p>Der Läufer ist eisenlos mit einer Spezial-wicklung aus Cu-Drähten und läuft als Außenläufer um den innen liegenden Dau-ermagnet-Ständer. Die Welle besteht oft aus Keramik.</p> <p><math>P_{typ} = 0,5 \text{ W bis } 8 \text{ W}</math>,</p> <p>z. B. bei <math>P_{typ} = 0,5 \text{ W}</math>:  <math>n \leq 16000/\text{min}</math>, <math>T \leq 0,6 \text{ mNm}</math>  <math>\eta = 0,6</math>, <math>U_N = 12 \text{ V}</math>, <math>I_a \leq 130 \text{ mA}</math></p> <p>1 Flansch, 2 Permanentmagnet, 3 Gehä- use (magnetischer Rückschluss), 4 Welle, 5 Wicklung, 6 Kollektor-Wicklung-Platte, 7 Kollektor, 8 Gleitlager, 9 Bürsten, 10 De- ckel, 11 Anschluss</p>	<p><b>DC-Motor mit Edelmetallbürsten</b> www.maxonmotor.com</p>
<p><b>DC-Motor mit Graphitbürsten</b></p>	<p><math>P_{typ} = 1,5 \text{ W bis } 250 \text{ W}</math>, z. B. bei <math>P_{typ} = 60 \text{ W}</math>:  <math>n \leq 7800/\text{min}</math>, <math>T \leq 47 \text{ mNm}</math>  <math>\eta = 0,79</math>, <math>U_N = 12 \text{ V}</math>, <math>I_a \leq 60 \text{ A}</math></p>	<p>Aufbau entsprechend wie bei DC-Motor mit Edel-metallbürsten, jedoch hier mit Graphitbürsten, Kupferkollektor und Kugellagern. Geeignet für größere Leistungen.</p>
<p><b>EC-Motor</b></p> <p>elektroni-sche Kom-mutierung</p> <p>Ständer mit Spezial-wicklung</p> <p>Innen- oder Außenläufer mit Permanent-magneten</p> <p>Ansteuerung der drei Stränge</p>	<p>Im Prinzip liegt ein dreiphasiger Synchron-motor vor, der über die Elektronik mit Gleichspannungen angesteuert wird. Die drei Stränge sind in Stern oder in Dreieck geschaltet.</p> <p><math>P_{typ} = 1,5 \text{ W bis } 400 \text{ W}</math>, z. B. bei <math>P_{typ} = 15 \text{ W}</math>:  <math>\eta \leq 50000/\text{min}</math>, <math>T \leq 44 \text{ mNm}</math> bei 10000/min,  <math>\eta = 0,68</math>, <math>U_N = 24 \text{ V}</math></p> <p>Je nach Elektronik der Steuerschaltung wird jeder Strang mit <i>blockförmiger</i> oder <i>sinus-förmiger</i> Spannung angesteuert. Dadurch entsteht ein magnetisches Drehfeld.</p>	<p><b>EC-Motor mit Innenläufer</b> 1 Flansch, 2 Gehäuse, 3 Ständerpaket, 4 Wicklung, 5 Permanentmagnet (Läufer), 6 Welle, 7 Leiterplatte mit Hall-Sensoren, 8 Kugellager www.maxonmotor.com</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Ansteuerung der Stränge</b></p>	
<p><math>I_a</math> maximaler Anlaufstrom</p> <p><math>T</math> maximales Dauerdrehmoment</p>	<p><math>n</math> Grenzdrehzahl</p> <p><math>U_n</math> Bemessungsspannung</p>	<p><math>P_{typ}</math> Typenleistung</p> <p><math>\eta</math> Wirkungsgrad</p>

AS

## Daten von Kleinantrieben, Getriebe von Kleinmotoren

### Data of Microdrives, Gearboxes of Mini Drives

Typ	∅ in mm	Länge in mm	Kommu- tierung	Typen- leistung in W	Masse in g	maximaler Wirkungs- grad in %	Schaltung zur Stromversorgung
<b>DC-Motoren mit eisenlosem Läufer (Beispiele)</b>							www.maxonmotor.com
RE8	8	16	EB	0,5	4,1	68	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">4-Q-Servo- verstärker</div> </div>
RE13	13	19,2/21,6	EB	1,2	12/15	68/70	
RE13	13	31,4/33,8	EB	2,5	12-15	78/80	
RE15	15	22,3	EB CLL	1,6	20	71 bis 74	
RE35	35	70,9	GB	90	340	66 bis 86	
RE40	40	71	GB	150	480	83 bis 92	
RE75	75	201,5	GB	250	2800	77 bis 84	

<b>DC Servomotor, umrichtergespeist (Beispiele)</b>							www.maxonmotor.com
EC6	6	21	BL	1,2	2,8	41 bis 50	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">4-Q-EC-Servo- verstärker</div> </div>
EC16	16	40,2	BL	15	34	67 bis 68	
EC22	22	bis 67,7	BL	bis 50	85 bis 130	73 bis 86	
EC6 flach	6	2,2	BL	0,03	0,32	-	
EC14 flach	13,6	11,7	BL	1,5	8,5	39,4	
EC20 flach	20	9,5	BL	3	15	62,5	
EC90 flach	90	27,1	BL	90	648	86	

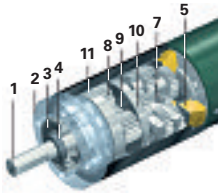
### Getriebe von Kleinmotoren



Stirnradgetriebe

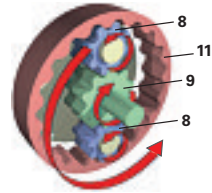
Oft sollen Kleinmotoren ein größeres Kraftmoment abgeben als ihrer Baugröße entspricht. Mechanische Getriebe setzen die Drehzahl herunter, das Kraftmoment aber fast im umgekehrten Verhältnis herauf. Wird z.B. die Drehzahl auf 1/10 herabgesetzt, steigt das Kraftmoment auf das 10-Fache. Besonders große Untersetzungsverhältnisse bis 6000:1 werden mit Planetengetrieben möglich. Diese besitzen mehrere Planeten-zahnräder, die um ein Sonnenzahnrad kreisen.

Stirnradgetriebe bestehen meist aus mehreren Stufen. Jede Stufe besteht aus der Paarung eines kleinen Zahnra- des mit einem großen. Das erste Zahnrad ist direkt auf die Motorwelle gesetzt. Je nach Stufenzahl sind Untersetzungen bis etwa 5000:1 möglich.



Planetengetriebe

1 Abgangswelle, 2 Flansch, 3 Lager Abgangswelle, 4 axiale Sicherung, 5 Zwischenplatte, 6 Zahnrad, 7 Motorritzel, 8 Planetenräder, 9 Sonnenrad, 10 Planetenträger, 11 Hohlrund



Prinzip des Planetengetriebes

### Getriebedaten

Typ	∅ in mm	Länge in mm	Ge- triebe- art	Moment (je nach Länge in Nm)	Masse (je nach Länge) in g	Unter- setzung (je nach Länge)	
GP6	6	7 bis 17,3	PG	0,002 bis 0,03	1,8 bis 3,4	3,9:1 bis 854:1	
GS 16 K	16	11,8 bis 20,8	SG	0,01 bis 0,03	9 bis 11,7	12,1 bis 5752:1	
GP 81	81	84 bis 127	PG	20 bis 120	2300 bis 3700	3,7:1 bis 308:1	

A Metallausführung,  
BL bürstenlos,  
CLL Capacitor Long Life,  
DC Gleichstrom,

EB Edelmetallbürsten,  
EC elektronisch kommutiert,  
GB Graphitbürsten,

K Kunststoffausführung,  
PG Planetengetriebe,  
SG Stirnradgetriebe,  
Q Quadrant

## Linearantriebe Linear Drives

Begriff, Name	Erklärung, Prinzip	Bemerkungen, Ansichten, Daten
<b>Arten der Linearantriebe LA</b>		
Linearmotoren	Elektromagnetischer, nicht drehender Motor, beruhend auf der Kraftwirkung von Strom im Magnetfeld.	AC-Linearmotoren (Seite 328) und DC-Linearmotoren.
Hydraulische LA	Lineare Verstellung eines Kolbens durch eine Flüssigkeit unter Wirkung einer Pumpe.	Ähnliche Wirkung durch Pneumatik möglich. (Siehe Seite 100)
LA mit drehendem Motor	Die Drehbewegung des drehenden Motors wird durch mechanische Mittel in eine Linearbewegung (Längsbewegung) umgesetzt.	Typische Größen: Geschwindigkeiten 0,2 mm/s bis 150 mm/s, Positioniergenauigkeit 0,04 mm.
Sonstige LA	Wirkung von Piezoeffekt und Ultraschall oder Wirkung von Joule-Effekt (Magnetostriktion).	Beim Piezo-LA erreichbare Genauigkeit bis 0,02 µm.

### Linearantriebe mit drehenden Elektromotoren

<p><b>Zahnriementrieb</b> Zahnriemen, Antriebswelle, Schlitten</p> <p><b>Zahnstangentrieb</b></p>	<p>Die motorisch angetriebene Antriebswelle greift mit ihren Zähnen in einen Zahnriemen ein und bewegt ihn. Am Zahnriemen ist ein Schlitten befestigt. Dieser bewegt sich mit dem Zahnriemen in einer Führung und trägt das Arbeitsgerät, z. B. eine Transportwanne oder auch ein Werkzeug.</p> <p>Beim Zahnstangentrieb greift ein Zahnrad als Antrieb in eine Zahnstange ein, sodass ein Schlitten bewegt wird. Die Genauigkeit ist wegen des Spiels bei beiden Antrieben gering.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Zahnriementrieb</b></p>		
<p><b>Spindelantriebe</b></p> <p>Spindelarten</p> <p>Spindelmutter</p> <p>metrische Spindel</p> <p>Trapezspindel</p> <p>Kugelumlaufspindel (Kugelspindel)</p> <p>Antriebsmotor</p> <p>Anwendung</p>	<p>Bei Spindelantrieben wird eine <i>Mutter</i> durch die Spindelrotation axial zur Spindel bewegt. Die Mutter ist dabei verbunden mit dem zu bewegenden Teil, z. B. einem Werkzeugträger.</p> <p>Die <i>Spindelmutter</i> hat ein entsprechendes Gewinde.</p> <p>● metrische Spindel mit metrischem Gewinde, ● Trapezspindel mit Trapezgewinde, ● Kugelumlaufspindel (Kugelspindel) mit Rundgewinde.</p> <p>● Preiswert, einfache Herstellung, ● selbsthemmend, ● niedriger Wirkungsgrad, nicht spielfrei, geringe Genauigkeit, ● wie metrische Spindel aber ● stärker belastbar.</p> <p>In der Kugelspindel wälzen sich Kugeln durch die geschliffenen Laufrienen der Spindel und der Mutter und gelangen anschließend über einen Rückführkanal in der Mutter zurück.</p> <p>Synchronmotor mit Dauermagneterregung oder Asynchronmotor, meist über Elektronik (Zwischenkreisumrichter) vom Netz gespeist. Oft mit Untersetzungsgetriebe, z. B. Planetengetriebe. Motordrehzahl bis <math>n_{\text{mot}} = 8\,000/\text{min}</math>.</p> <p>Antriebe an Maschinen für die Zustellung von Werkzeugen oder Bearbeitungsmodulen in beliebigen Richtungen mit Verschiebelängen von 0,10 m bis etwa 2 m.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Teile des Spindeltriebs</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Metrische Spindel mit Spindelmotor</b> <a href="http://www.maxonmotor.de">www.maxonmotor.de</a></p>		
<b>Daten von Spindelantrieben</b>				
Spindel	$i_{\text{mot}}$	$F \leq$	$v$ mm/s	$\eta$
M6 x 1	1:1 bis 850:1	350 N	0,2 bis 5,6	0,2 bis 0,35
Kugeluml.sp. 6 x 2		500 N	0,3 bis 150	0,47 bis 0,81
$F$ Vorschubkraft, $i_{\text{mot}}$ Untersetzung, $v$ Vorschubgeschwindigkeit, $\eta$ Wirkungsgrad				