



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für Mechatronik

# Tabellenbuch Mechatronik

Tabellen

Formeln

Normenanwendung

8. 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  
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

**Europa-Nr.: 45011**

#### Autoren des Tabellenbuchs Mechatronik:

Heinrich Dahlhoff	Dipl.-Physiker	Meppen
Hartmut Fritsche	Dipl.-Ing.	Massen
Gregor Häberle	Dr.-Ing., Abteilungsleiter	Tett nang
Heinz Häberle	Dipl.-Gewerbelehrer, VDE	Kressbronn
Roland Kilgus	Dipl.-Gwl., Oberstudiendirektor	Neckartenzlingen
Rudolf Krall	Dipl.-Päd. Ing., Berufsschuloberlehrer	Gartenau- St. Leonhard
Werner Röhrer	Dipl.-Ing., Dipl.-Gewerbelehrer	Balingen
Bernd Schiemann	Dipl.-Ing., Studiendirektor	Durbach
Siegfried Schmitt	staatl. gepr. Techniker, Techn. Oberlehrer	Bad Bergzabern
Matthias Schultheiß	Dipl.-Ing., Dipl.-Gewerbelehrer Oberstudienrat	Biberach a.d. Riss
Thomas Urian	Meister der Elektrotechnik	Vilshofen

#### Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

#### Leiter des Arbeitskreises:

Dr.-Ing. Gregor Häberle, Tett nang

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.

8. Auflage 2014

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 978-3-8085-4508-9**

Umschlaggestaltung: braun werbeagentur, 42477 Radevormwald,  
unter Verwendung von Siemens-Pressbildern

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

© 2014 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz und Druck: Tutte Druckerei & Verlagsservice GmbH, Salzweg

**MATHEMATIK, TECHNISCHE  
PHYSIK** 9 ... 70

**M**

**TECHNISCHE KOMMUNI-  
KATION** 71 ... 122

**K**

**CHEMIE, WERKSTOFFE,  
FERTIGUNG** 123 ... 192

**WF**

**BAUELEMENTE, MESSEN, STEUERN,  
REGELN** 193 ... 272

**BM**

**ELEKTRISCHE ANLAGEN UND ANTRIEBE,  
MECHATRONISCHE SYSTEME** 273 ... 368

**A**

**DIGITALTECHNIK, INFORMATION-  
TECHNIK** 369 ... 428

**D**

**VERBINDUNGSTECHNIK, UMWELT-  
TECHNIK** 429 ... 484

**V**

**BETRIEB und sein UMFELD,  
ANHANG** 485 ... 552

**B**

## Vorwort zur 8. Auflage

Das Buch ist konzipiert für die handlungsorientierte Berufsbildung des Berufes *Mechatroniker* bzw. *Mechatronikerin*. Die Mechatronik unterliegt als Schlüsseltechnologie aus Elektrotechnik, Metalltechnik und Informationstechnik einem stetigen Wandel. Dies führte zu neuen oder aktualisierten Seiten in den nachfolgend genannten Hauptabschnitten.

- **Teil M: Mathematik, Technische Physik**

Neu sind z. B. binäre Vorsätze der Digitaltechnik, Angabe von Permittivitätszahlen, Grundsaltungen von Kapazitäten und Induktivitäten, Reihenschaltung von  $R, L, C$ , Parallelschaltung von  $R, L, C$ .

- **Teil K: Technische Kommunikation**

Neu sind z. B. Arten von Diagrammen, Pneumatik-Grundsaltungen, Fließbilder, Beispiele von Fließbildern.

- **Teil WF: Chemie, Werkstoffe, Fertigung**

Neu sind z. B. Strahlenoptik, Leitungsverlegungen, Trennklassen der Kommunikationsverkabelung, Montage und Demontage, Planung der Montage.

- **Teil BM: Bauelemente, Messen, Steuern, Regeln**

Neu sind z. B. elektrische Analogmesswerke, spezielle optische Sensoren, grafische Symbole der Prozessleittechnik, Steuern und Regeln mit dem PC. Aktualisiert wurden analoge Regler, schaltende Regler, Regelstrecken, digitale Regelung.

- **Teil A: Elektrische Anlagen und Antriebe, mechatronische Systeme**

Neu sind z. B. Messen in elektrischen Anlagen, Drehstrommotoren für Stromrichterspeisung, Effizienz elektrischer Antriebe, Schutz gegen thermische Auswirkungen, Differenzstromschutzschalter RCD, Sicherheits-SPS.

- **Teil D: Digitaltechnik, Informationstechnik**

Neu sind z. B. ASCII-Code im Unicode, Anwendung von IO-Link, Sicherheits-Bussysteme. Aktualisiert wurden Identifikationssysteme, Programmaufbau bei CNC-Maschinen, CNC-Bearbeitungszyklen nach PAL.

- **Teil V: Verbindungstechnik, Umwelttechnik**

Neu ist z. B. Betriebssicherheitsverordnung. Aktualisiert wurden gefährliche Stoffe, Gefahrenhinweise durch H-Sätze, Sicherheitshinweise durch S-Sätze.

- **Teil B: Betrieb und sein Umfeld**

Neu sind z. B. die Abschnitte Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, EU-Maschinenrichtlinie. Erweitert wurde die Auflistung der wichtigen Normen durch Angabe der Seiten im Buch.

**Normänderungen** wurden übernommen, z. B. bei den Schutzmaßnahmen nach DIN VDE 0100-410. Allgemein ist zu beachten, dass oft die Normen verschiedene Formen zulassen, z. B. in DIN EN 61082 (Dokumente der Elektrotechnik, Regeln) Stromverzweigungen mit oder ohne „Punkt“ oder mit Richtungsangabe des abgezweigten Leiters. Alle Formen kommen in der beruflichen Praxis vor und werden im Buch deshalb auch angewendet.

**Didaktische Ergänzungen** wurden durch stichwortartige Formulierung prüfbarer Lerninhalte fortgesetzt.

Verlag und Autoren danken für die zahlreichen Benutzerhinweise, die zu einer weiteren Verbesserung des Buches führten, und nehmen auch künftig konstruktive Vorschläge dankbar entgegen. Diese können auch gerichtet sein an [lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de).

Sommer 2014

Autoren und Verlag

## Teil M: Mathematik, Technische Physik

Formelzeichen dieses Buches	10
Größen und Einheiten	13
Bruchrechnen, Vorzeichen, Klammern	15
Klammerrechnung, Potenzieren	16
Radizieren, Gleichungen	17
Zahlensysteme, Dualzahlen	18
Dualzahlen, Sedezimalzahlen, Binärcodes	19
Logarithmen, Zehnerpotenzen, Vorsätze, Prozentrechnung	20
Logarithmisches Maß Dezibel	21
Schlussrechnung, Mischungsrechnung	22
Rechtwinkliges Dreieck	23
Winkelfunktionen, Steigung	24
Längen	25
Flächen, Volumen	26
Volumen, Oberfläche, Masse	30
Kräfte	31
Kraftmoment, Hebel, Fliehkraft	32
Rollen, Keile, Winden	33
Bewegungslehre	34
Geschwindigkeiten an Maschinen	35
Wärmetechnik	36
Mechanische Arbeit, mechanische Leistung, Energie	38
Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand	39
Elektrische Leistung, elektrische Arbeit	40
Elektrisches Feld, Kondensator	41
Magnetisches Feld, Spule	42
Strom im Magnetfeld, Induktion	43
Schaltungen von Widerständen	44
Bezugspfeile, Kirchhoffsche Regeln, Spannungsteiler	45
Grundschaltungen Induktivitäten und Kapazitäten	46
Schalten von Kondensatoren und Spulen	47
Wechselgrößen, Oberschwingungen	48
Zeigerdiagramme von Wechselstromgrößen	49
Leistungen bei Sinuswechselstrom, Impuls	50
Reihenschaltung von $R, L, C$	51
Parallelschaltung von $R, L, C$	52
Berechnungsformeln für Transformatoren	53
Elektrischer Widerstand bei Temperaturänderung, Wärmewiderstand	54
Drehstrom, Blindleistungskompensation	55
Kompensation mit Filtern	56
Leitungsrechnung	57
Zahnradberechnungen	58
Übersetzungen	59
Druck in Flüssigkeiten und Gasen	60
Reibung, Auftrieb	61
Belastungsfälle, Beanspruchungsarten	62
Zug, Druck, Flächenpressung	63
Abscherung, Knickung	64

Biegung, Torsion	65
Momente der Festigkeitslehre	66
Pneumatikzylinder	68
Berechnungen zur Hydraulik und Pneumatik	69

## Teil K: Technische Kommunikation

Graphische Darstellung von Kennlinien	72
Allgemeines technisches Zeichnen	73
Arten von Diagrammen	74
Zeichnerische Darstellung von Körpern	75
Maßeintragung, Schraffur	76
Toleranzen in Zeichnungen	79
Gewinde, Schraubenverbindungen, Zentrierbohrungen	80
Getriebedarstellung	81
Darstellung von Wälzlagern	82
Darstellung von Dichtungen und Wälzlagern	83
Symbole für Schweißen und Löten	84
Weitere mechanische Verbindungen, Federn	85
Funktionsbezogene Schaltpläne	86
Ortsbezogene und verbindungsbezogenen Dokumente	88
Kennzeichnungen in Schaltplänen	89
Kennbuchstaben der Objekte (Betriebsmittel)	90
Kontaktkennzeichnung in Schaltplänen	91
Schaltzeichen	92
Transformatoren, Spulen, drehende elektrische Maschinen	94
Vergleich von Schaltzeichen	95
Zusatzschaltzeichen, Schalter in Energieanlagen	97
Messinstrumente und Messgeräte, Messkategorien	98
Halbleiterbauelemente	99
Analoge Informationsverarbeitung, Zähler	100
Binäre Elemente	101
Schaltzeichen für Installationsschaltpläne und Installationspläne	103
Schaltzeichen für Übersichtsschaltpläne	104
Einphasenwechselstrommotoren und Anlasser	105
Drehstrommotoren und Anlasser	106
Motoren für Stromrichterspeisungen	107
Ablaufsteuerungen GRAFCET	108
Grundformen von Ablaufsteuerungen	109
Elemente für Ablaufsteuerungen GRAFCET	110
Funktionsdiagramme	112
Symbole zur Dokumentation in der Computertechnik	113
Schaltzeichen der Pneumatik und Hydraulik	114

Pneumatik Grundschaltungen	116
Schaltpläne der Pneumatik und Hydraulik	117
Fließbilder	118
Symbole der Verfahrenstechnik	120
Erstellen einer Dokumentation über Geräte oder Anlagen	121
Aufbau und Inhalt einer Betriebsanleitung	122

### Teil WF: Chemie, Werkstoffe, Fertigung

Chemie	124
Stoffwerte	126
Magnetwerkstoffe	128
Bezeichnungssystem für Stähle	129
Stahl	132
Stahlprofile	135
Bezeichnungssystem für Gusseisenwerkstoffe	136
Gusseisen	137
Rohre	138
Nichteisenmetalle	139
Al-Profilen und -Bleche	142
Kunststoffe	143
Rohre aus Kunststoffen	148
Kabel und Leitungen	149
Isolierte Starkstromleitungen	150
Leitungen und Kabel für Melde- und Signalanlagen	153
Leitungen in Datennetzen	154
Optik	156
Glasfaserleitungen	157
Leitungsverlegung	158
Trennklassen der Kommunikationsverkabelung	159
Korrosion und Korrosionsschutz	160
Lote und Flussmittel	161
Druckflüssigkeiten	162
Werkstoffprüfung	163
Fertigungsverfahren	165
Rapid Prototyping	169
Montage und Demontage	170
Schneidstoffe	172
Drehzahlnomogramm	173
Kräfte und Leistungen beim Zerspanen	174
Bohren	176
Reiben und Gewindebohren	177
Drehen	178
Fräsen	180
Schleifen	182
Spanende Formung der Kunststoffe	183
Biegeumformen	184
Schweißen	185
Druckgasflaschen, Gasverbrauch	187
Gasschweißen	188
Schutzgasschweißen	189
Lichtbogenschweißen	191

### Teil BM: Bauelemente, Messen, Steuern, Regeln

Widerstände und Kondensatoren	194
-------------------------------	-----

Batterien	197
Von physikalischen Größen abhängige Halbleiterbauelemente	198
Dioden	199
Feldeffekttransistoren, IGBTs	200
Bipolare Transistoren	201
Thyristoren und Triggerdiode	202
Fotoelektronische Bauelemente	203
Bauelemente für den Überspannungsschutz	204
Grundlagen des Operationsverstärkers	205
Schaltungen mit Operationsverstärker	206
Elektrische Analogmesswerke	207
Schaltungen für Leistungsmessgeräte	208
Schaltungen zur Widerstandsbestimmung	209
Messbereichserweiterung	210
Messen mit Multimeter	211
Wattstundenzähler	212
Sensoren	213
Kraftmessung und Druckmessung	214
Bewegungsmessung	215
Temperaturmessung	216
Näherungsschalter (Sensoren)	217
Spezielle optische Sensoren	219
Messumformer und Signalumsetzer für Fernwirkssysteme	220
Oszilloskop	221
Messwerterfassung mit dem PC	223
Elektromagnetische Schütze	225
Gebrauchskategorien und Antriebe von Schützen	226
Vakuumschütze, Halbleiterschütze	227
Schützsicherungen	228
Hilfsstromkreise	229
Schützsicherungen mit Motorschutzschalter	230
Polumschaltbare Motoren	231
Steuerungen durch Motorschalter	232
Ausschaltungen, Serienschaltung, Wechselschaltung	233
Stromstoßschalter	234
Lampenschaltungen mit Dimmern	235
Steuerung mittels Funk	236
Elektroinstallation mit Funksteuerung	237
Ausführung der Installationsschaltungen	238
Steuerungstechnik	239
Steuerungs- und Regelungstechnik	240
Graphische Symbole der Prozessleittechnik	241
Analoge Regler	242
Schaltende Regler, Regelstrecken	243
Digitale Regelung	244
Steuern und Regeln mit PC	245
Universalregler	246
Lageregelung bei Arbeitsmaschinen	247
Logikmodul LOGO!	248
Funktionen von LOGO	249
Binäre Verknüpfungen der Steuerungs- und Regelungstechnik	251
Speicherprogrammierbare Steuerungen	252
SPS	252
Programmierregeln für SPS	255
Zähler und Zeitglieder in SPS	256
SPS-Funktionsbausteine	257
Programmiersprachen Strukturierter Text	258
ST, Ablaufsprache AS	258
Anwenden von SPS-Bausteinen in ST	259

SPS-Programmierung nach DIN 61131-3	260
Phasen der SPS-Programmentwicklung	262
Regelung mittels SPS	263
Pneumatisch gesteuerte Hubeinrichtung mit SPS	268
Druckluftaufbereitung	269
Zylinder und Pumpen	270
Druckventile und Wegeventile	271
Funktionsdiagramm	272

## Teil A:

### Elektrische Anlagen und Antriebe, mechatronische Systeme

Grenzwerte der Anschlussleistung im öffentlichen Netz	274
Arbeiten in elektrischen Anlagen	275
Messungen in elektrischen Anlagen	276
Alphanumerische Kennzeichnung der Anschlüsse	279
Schutzarten elektrischer Betriebsmittel	280
Elektronische Steuerung von Verbrauchsmitteln	281
Stromrichter, Gleichrichter	282
Benennung von Stromrichterschaltungen	283
U-Umrichter, Gleichstromsteller	284
Stromrichter für Antriebe	286
Transformatoren für Drehstrom	287
Betriebsarten und Grenzübertemperaturen	288
Isolierstoffklassen, Bemessungsleistungen	289
Oberflächengekühlte Käfigläufermotoren (Normmotoren)	290
Bauformen von drehenden elektrischen Maschinen	291
Leistungsschilder von drehenden elektrischen Maschinen	292
Einphasen-Wechselstrommotoren	293
Drehstrommotoren, Gleichstrommotoren	294
Drehstrommotoren für Stromrichterspeisung	295
Servomotoren	296
Prüfung elektrischer Maschinen	298
Schrittmotoren	299
Kleinstmotoren	300
Getriebe von Kleinstantrieben	301
Getriebe	302
Linearantriebe	303
Linearmotoren	305
Antriebstechnik	306
Effizienz elektrischer Antriebe	307
Wahl des Antriebsmotors	308
Motorschutz	309
Anlassen von Kurzschlussläufermotoren	310
Netze der Energietechnik	311
Kurzzeichen an elektrischen Betriebsmitteln	312
Überlastschutz und Kurzschlusschutz von Leitungen	313
Mindest-Leiterquerschnitte, Leitungsschutzschalter	314
Schmelzsicherungen	315
Überstrom-Schutzeinrichtungen für Geräte	316
Strombelastbarkeit von flexiblen oder wärmefesten Leitungen	317

Schutz gegen thermische Auswirkungen	318
Verlegarten von Leitungen für feste Verlegung	319
Strombelastbarkeit bei 25 °C	320
Strombelastbarkeit bei 30 °C	321
Umrechnungsfaktoren für die Strombelastbarkeit	322
Stromgefährdung, Berührungsarten, Fehlerarten	323
Schutzmaßnahmen, Schutzklassen	324
Systeme und Fehlerschutz mit Schutzleiter	325
Basisschutz und Fehlerschutz	326
Differenzstromschutzschalter RCD	327
Differenzstromüberwachungsgerät RCM	328
Fehlerschutz	329
Erstprüfung der Schutzmaßnahmen	332
Wiederkehrende Prüfungen	333
Spezielle Niederspannungsanlagen	334
Elektroinstallation in Unterrichtsräumen	335
Stromversorgung elektronischer Geräte	336
Sicherheits-Stromversorgungsanlagen	337
Unterbrechungslose Stromversorgungssysteme USV	338
Akkumulatorenräume	339
Energieversorgung von Werkstätten	340
Schaltschrank-Klimatisierung	341
Instandsetzung, Änderung und Prüfung elektrischer Betriebsmittel	342
Elektrische Ausrüstung von Maschinen	343
Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen	345
Funktionale Sicherheit nach SIL	347
Sicherheits-SPS	348
Mechatronische Systeme	349
Mechatronisches System mit Logikmodul LOGO!	350
Ablaufsteuerung einer Biegevorrichtung	351
Ablaufsteuerung einer Vorschubeinheit	355
Ablaufsteuerung eines Rührwerks	356
Ablaufsteuerung eines Prägwerkzeugs	357
Ablaufsteuerung Paket-Hebeanlage	358
Automatisierte Schraubersysteme	361
Inbetriebnahme mechatronischer Systeme	362
Fehlerdiagnose in mechatronischen Systemen	364
Diagnose von Anlagen	366
Instandhaltung mechatronischer Systeme	367
Mittel zur vorausschauenden Instandhaltung	368

## Teil D:

### Digitaltechnik, Informationstechnik

Binäre Verknüpfungen	370
KV-Diagramme	371
Code-Umsetzer	372
ASCII-Code im Unicode	373
Identifikationssysteme	374
Flipflops	375
Digitale Zähler und Schieberegister	376
DA-Umsetzer und AD-Umsetzer	377
Komparator, S&H-Schaltung	378
Halbleiterspeicher	379

Bewegbare Datenspeicher	380
Optische Speicher CD	381
Optische Speicher DVD	382
Begriffe der Informationstechnik	383
Personalcomputer	385
Periphere Geräte	386
Arten von Computern	387
Betriebssysteme Windows	388
Arbeiten mit der Computermaus	389
Power Point	390
Arbeiten mit Excel	391
Datenbank Access	392
Gefahren der Computersabotage	393
Maßnahmen gegen Computerviren	394
Datensicherung, Kopierschutz	395
Industriespionage	396
Netze der Informationstechnik	397
Komponenten für Datennetze	398
AS-i-Bussystem	400
Linien und Bereiche beim KNX	401
Projektierung und Inbetriebnahme beim KNX	402
KNX mit FSK-Steuerung	403
Local Control Network LCN	404
Ethernet-Netzwerke	405
Berührungsbildschirme, Bediengeräte	407
PROFIBUS, PROFINET	408
Anbindung über IO-Link	409
CAN-Bus	410
Sicherheits-Bussysteme	411
Internet und seine Dienste	412
Suchen im Internet	413
IT-Ausstattung eines Service-Mitarbeiters	414
Elektronik-Werkzeuge	415
Bildzeichen für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen	416
Struktur der numerischen Steuerung	417
Koordinaten bei CNC-Maschinen	418
Programmaufbau bei CNC-Maschinen	419
CNC-Bearbeitungszyklen	422
Arbeitsbewegungen bei Senkrecht-Fräsmaschinen	423
Arbeitsbewegungen bei Drehmaschinen	424
Handhabungstechnik	425
Industrieroboter	426

## Teil V: Verbindungstechnik, Umwelttechnik

Kleben	430
Gewindearten, Übersicht	431
Ausländische Gewinde	432
Metrische Gewinde	433
Whitworthgewinde, Rohrgewinde	434
Schrauben	435
Schraubenübersicht	436
Sechskantschrauben	437
Passschrauben, Senkschrauben	438
Schrauben, Blechschrauben	439
Gewindestifte	440
Senkungen	441
Muttern	443
Scheiben	445
Sicherheit von Schraubensicherungen	447

Stifte und Bolzen	448
Passfedern, Scheibenfedern	450
Federn	451
Übersicht von Wälzlagern	452
Bezeichnung von Wälzlagern	453
Einbau und Ausbau von Wälzlagern	454
Kugellager, Nadellager	455
Gleitlager, Nutmuttern	456
Sicherungsringe, Sicherungsscheiben, Sicherungsbleche	457
Dichteelemente	458
ISO-System für Grenzmaße und Passungen	459
Passungen, System Einheitsbohrung	461
Passungen, System Einheitswelle	463
Passungsempfehlungen, Passungsauswahl	465
Allgemeintoleranzen	466
Steckverbinder	467
Steckverbinder RJ45 und RJ11	468
TAE-Anschlüsse, TAE-Anschluss-Stecker	469
Schnittstellenkopplungen	470
Schnittstellen USB, Firewire	471
Steckvorrichtungen der Energietechnik	472
Entsorgung	474
Gefährliche Stoffe	475
Schall und Lärm	476
Gefahrensymbole und Gefahrenkennzeichnungen	477
Gefahrenhinweise, H-Sätze	478
Sicherheitshinweise, P-Sätze	479
Umgang mit Elektroschrott	481
Elektromagnetische Verträglichkeit EMV	482
Elektromagnetische Störungen EMI	483
Schutz gegen Überspannungen von außen	484

## Teil B: Betrieb und sein Umfeld, Anhang

Erste Hilfe bei Unfällen	486
Zeichen und Farben zur Unfallverhütung	487
Betriebssicherheitsverordnung	489
Kennzahlen in der Produktion	490
Qualitätsmanagement	491
Statistische Auswertung	493
Statistische Prozesssteuerung SPC	494
Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit	496
EU Maschinenrichtlinie	497
CE-Kennzeichnung	498
Durchführung von Projekten	499
Lastenheft, Pflichtenheft	500
Präsentation eines Projektes	501
Durchführen von Kundens Schulungen	503
Kosten und Kennzahlen	504
Kalkulation der Kosten	505
Betriebsabrechnungsbogen BAB	506
Reglereinstellungen, Reglerauswahl	507
Normen	508
Wichtige Normen	509
Kurzformen von Fachbegriffen	512
Fachliches Englisch (Englisch-Deutsch)	520
Sachwortverzeichnis (Deutsch-Englisch)	527
Unterstützende Firmen und Dienststellen	547
Literaturverzeichnis	551
Wichtige VDE-Bestimmungen	552

Größe	Formelzeichen bisher	künftige Formelzeichen		Einheit, Einheitenzeichen
		Vorzugszeichen	Ausweichzeichen	
<b>Leistungen und verwandte Größen</b>				
Bemessungsleistung	$P_N$	$P_{rat}$ oder $P_r$	$P_N$	Watt, W
Bemessungsscheinleistung	$S_N$	$S_{rat}$ oder $S_r$	$S_N$	Voltampere, VA
Nennleistung	$P_n$	$P_n$ oder $P_{nom}$	entfällt	Watt, W
Eingangsleistung	$P_1$ oder $P_e$	$P_{in}$		
Ausgangsleistung	$P_2$ oder $P_a$	$P_{out}$		
mechanische Leistung	$P$	$P_{mec}$		
Verlustleistung	$P_v$	$P_t$		
Leistungsfaktor, siehe unten	$\cos \varphi$	$\lambda$ (Lamda)		
Wirkfaktor, siehe unten	-	$\cos \varphi$		
<b>Kraftmomente, Drehmomente</b>				
Drehmoment, Kraftmoment	$M$	$T$ (von Torsion)	$M$	Newtonmeter
Nennmoment	$M_n$	entfällt	entfällt	
Bemessungsmoment	$M_N$	$T_{rat}$ oder $T_r$	$M_{rat}$ oder $M_r$	
Kippdrehmoment	$M_K$	$T_b$	$M_b$	
Haltemoment	$M_H$	$T_H$	$M_H$	
Sattelmoment	$M_S$	$T_u$	$M_u$	
Anzugsmoment	$M_A$	$T_i$	$M_i$	
<b>Stromstärken und verwandte Größen</b>				
Bemessungsstrom	$I_N$	$I_{rat}$ oder $I_r$	$I_N$	Ampere, A
Nennstrom	$I_n$	$I_n$ oder $I_{nom}$	-	
Dauerkurzschlussstrom	$I_{kd}$	$I_k$	$I_{sc}$	
Stoßkurzschlussstrom	$I_s$	$I_k$	$I_s$	
Stoßkurzschlusswechselstrom	$i_s$	$I_{k0}$	$I_{sc0}$	
transienter Strom (kurzzeitiger Strom)	$i$	$I_k'$	$I_{sc}'$	
Subtransienter Strom (sehr kurzzeitiger Strom)	$i_s$	$I_k''$	$I_{sc}''$	
Strombelag	$I'$	$A$	entfällt	Ampere je Meter, A/m
<b>Spannungen und verwandte Größen</b>				
Bemessungsspannung	$U_N$	$U_{rat}$ oder $U_r$	$U_N$	Volt, V
Nennspannung	$U_n$	entfällt	entfällt	
Induzierte Spannung	$U_i$	$U_g$		
Leerlaufspannung	$U_o$	$U_o$		
nom von nominal = Nenn-, rat von rated = bewertet, $T$ von torque = Drehmoment. <b>Leistungsfaktor</b> = Verhältnis Wirkleistung $P$ zu Scheinleistung $S$ (mit Oberschwingungen), <b>Wirkfaktor</b> = Verhältnis $P$ zu $S$ (der Grundschiwingung, ohne Oberschwingungen)				

# Logarithmen, Zehnerpotenzen, Vorsätze, Prozentrechnung

## Logarithms, Powers of Ten, Unit Prefixes, Percentage Calculation

### Logarithmen

Regel	Zahlenbeispiel	Algebraisches Beispiel
Der Logarithmus eines Produktes ist gleich der Summe der Logarithmen aus den einzelnen Faktoren.	$\lg(4 \cdot 3) = \lg 3 + \lg 4$ $= 0,47712 + 0,60206$ $= 1,07918$	$\lg(a \cdot b) = \lg a + \lg b$
Der Logarithmus eines Bruches ist gleich dem Logarithmus des Zählers minus dem Logarithmus des Nenners.	$\lg \frac{20}{4} = \lg 20 - \lg 4$ $= 1,30103 - 0,60206$ $= 0,69897$	$\lg \frac{a}{b} = \lg a - \lg b$
Der Logarithmus einer Potenz ist das Produkt aus dem Exponenten und dem Logarithmus der Basis.	$\lg 4^3 = 3 \cdot \lg 4$ $= 3 \cdot 0,60206$ $= 1,80618$	$\lg a^n = n \cdot \lg a$

### Zehnerpotenzen

Zahlen größer 1 können übersichtlich als Vielfaches von Zehnerpotenzen mit **positiven** Exponenten dargestellt werden. Zahlen kleiner 1 können als Vielfaches von Zehnerpotenzen mit **negativen** Exponenten dargestellt werden.

Zahl	0,001	0,01	0,1	1	10	100	1000	10000	100000	1000000
Zehnerpotenz	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^0$	$10^1$	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$

**Beispiele:** Umwandlung von Zahlen in Produkte mit Zehnerpotenzen:  
 $4300 = 4,3 \cdot 1000 = 4,3 \cdot 10^3$ ;  $14638 = 1,4638 \cdot 10000 = 1,4638 \cdot 10^4$ ;  $0,07 = \frac{7}{100} = 7 \cdot 10^{-2}$

### International festgelegte dezimale Vorsätze

### Binäre Vorsätze

International festgelegte dezimale Vorsätze						Binäre Vorsätze		
Zeichen	Vorsatz	Wert	Zeichen	Vorsatz	Wert	Zeichen	Vorsatz	Wert
y	Yokto	$10^{-24}$	da	Deka	$10^1$	Ki (K)*	Kibi	$2^{10}$
z	Zepto	$10^{-21}$	h	Hekto	$10^2$	Mi (M)*	Mebi	$2^{20}$
a	Atto	$10^{-18}$	k	Kilo	$10^3$	Gi (G)*	Gibi	$2^{30}$
f	Femto	$10^{-15}$	M	Mega	$10^6$	Ti (T)*	Tebi	$2^{40}$
p	Piko	$10^{-12}$	G	Giga	$10^9$	Pi (P)*	Pebi	$2^{50}$
n	Nano	$10^{-9}$	T	Tera	$10^{12}$	Ei (E)*	Exbi	$2^{60}$
µ	Mikro	$10^{-6}$	P	Peta	$10^{15}$	Zi (Z)*	Zebi	$2^{70}$
m	Milli	$10^{-3}$	Y	Yotta	$10^{24}$	Yi (Y)*	Yobi	$2^{80}$
c	Zenti	$10^{-2}$	E	Exa	$10^{18}$	* <b>Beispiele:</b> 128 KiB = 128 · 2 <sup>10</sup> Byte		
d	Dezi	$10^{-1}$	Z	Zetta	$10^{21}$	2 GiB (Gibibyte) = 2 · 2 <sup>30</sup> Byte		
						2,147 · 10 <sup>9</sup> B = 2,147 GB		

\* **noch üblich** 1 KByte = 1 KB = 1024 B; 1024 KB = 2<sup>20</sup> B = 1 MB; 2<sup>30</sup> B = 1 GB; 2<sup>40</sup> B = 1 TB; 2<sup>50</sup> B = 1 PB

### Prozentrechnung, Zinsrechnung

Der **Prozentsatz** gibt den Teil des Grundwertes in Hundertstel an.  
 Der **Grundwert** ist der Wert, von dem die Prozente zu rechnen sind.  
 Der **Prozentwert** ist der Betrag, den die Prozente des Grundwertes ergeben.

$P_s$  Prozentsatz, Prozent     $P_w$  Prozentwert     $G_w$  Grundwert

**Beispiel:** Werkstückroheteil 250 kg (Grundwert); Abbrand 2% (Prozentsatz)  
 Abbrand in kg = ? (Prozentwert)

$$P_w = \frac{G_w \cdot P_s}{100\%} = \frac{250 \text{ kg} \cdot 2\%}{100\%} = 5 \text{ kg}$$

#### Prozentwert

$$P_w = \frac{G_w \cdot P_s}{100\%}$$

#### Prozentsatz

$$P_s = \frac{P_w}{G_w} \cdot 100\%$$

$K_0$  Anfangskapital     $Z$  Zinsen     $t$  Laufzeit in Tagen, Verzinsungszeit  
 $p$  Zinssatz pro Jahr

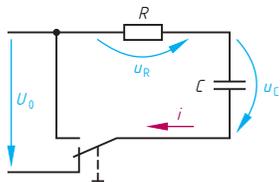
1 Zinsjahr (1a) = 360 Tage (360 d)  
 1 Zinsmonat = 30 Tage

#### Zins

$$Z = \frac{K_0 \cdot p \cdot t}{100\% \cdot 360}$$

**Beispiel:**  $K_0 = 2800,00 \text{ €}$ ;  $p = 6 \frac{\%}{a}$ ;  $t = \frac{1}{2} a$ ;  $Z = ?$      $Z = \frac{2800,00 \text{ €} \cdot 6 \frac{\%}{a} \cdot 0,5 a}{100\%} = 84,00 \text{ €}$

# Schalten von Kondensatoren und Spulen Switching of Capacitors and Coils



**Zeitkonstante**

$$\tau = R \cdot C$$

Beim Laden:

$$i = \frac{U_0}{R} \cdot \exp(-t/\tau)$$

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

$$[R] = \Omega$$

$$[C] = \frac{As}{V} = \frac{C}{V} = F$$

$$[i] = A$$

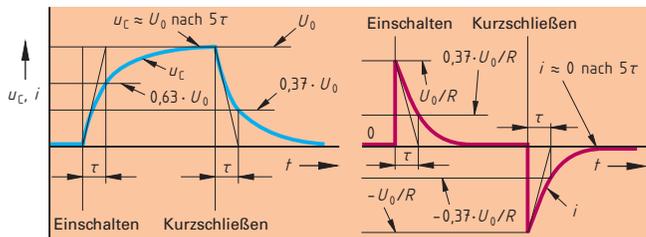
$$[U_0] = [u_C] = [u_R] = V$$

$$u_C = U_0 [1 - \exp(-t/\tau)]$$

Beim Entladen (Kurzschließen)

$$i = -\frac{U_0}{R} \cdot \exp(-t/\tau)$$

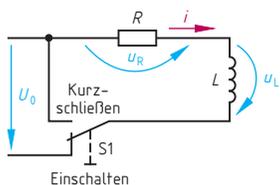
$$u_C = U_0 \cdot \exp(-t/\tau)$$



Beim Laden und Entladen:

$$u_R = i \cdot R$$

## Kondensatorspannung und Kondensatorstrom der RC-Reihenschaltung



**Zeitkonstante**

$$\tau = \frac{L}{R}$$

Beim Einschalten:

$$i = \frac{U_0}{R} [1 - \exp(-t/\tau)]$$

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

$$[L] = \frac{Vs}{A} = H$$

$$[R] = \Omega$$

$$[i] = A$$

$$[t] = s$$

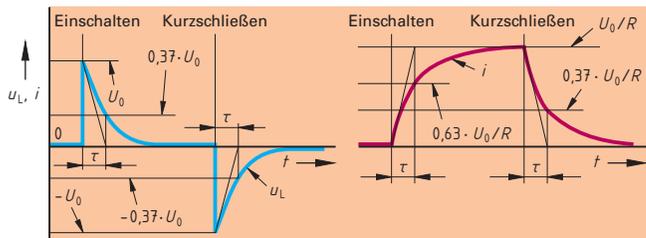
$$[U_0] = [u_R] = [u_L] = V$$

$$u_L = U_0 \cdot \exp(-t/\tau)$$

Beim Kurzschließen:

$$i = \frac{U_0}{R} \cdot \exp(-t/\tau)$$

$$u_L = -U_0 \cdot \exp(-t/\tau)$$



Beim Einschalten und beim Kurzschließen:

$$u_R = i \cdot R$$

## Spulenspannung und Spulenstrom der RL-Reihenschaltung

C Kapazität

i Stromstärke (Augenblickswert)

L Induktivität

R Wirkwiderstand

t Zeit

u Spannung (Augenblickswert)

U<sub>0</sub> speisende Gleichspannung

τ Zeitkonstante (Tau)

u<sub>C</sub> Kondensatorspannung

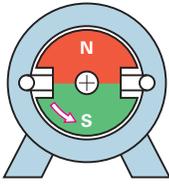
u<sub>L</sub> Spulenspannung

u<sub>R</sub> Spannung an R

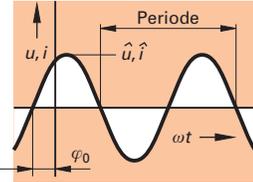
$\exp(-t/\tau)$  ist die genormte Schreibweise von  $e^{-t/\tau}$ . Beim Taschenrechner muss man bei der Berechnung die Taste  $e^x$  verwenden und nicht die Taste  $\exp$ .

Die Zeitkonstante gibt die Zeit an, nach der ein nach  $e^x$  verlaufender Vorgang beendet wäre, wenn der Vorgang mit der Anfangsgeschwindigkeit weiter verlaufen würde. Das ist aus den Tangenten der Bilder erkennbar. Endwerte von  $u$  und  $i$  sind erreicht nach  $t \approx 5\tau$ .

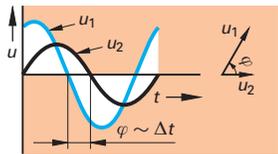
Wechselgrößen



Innenpolmaschine mit einem Polpaar



Sinusspannung mit Nullphasenwinkel



Liniendiagramm Zeigerdiagramm

Phasenverschiebung

Frequenz

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

1

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

$$f = p \cdot n$$

2

$$[n] = 1/s$$

Kreisfrequenz

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

3

$$[\omega] = 1/s$$

Scheitelfaktor, Crestfaktor

$$F_C = \frac{\hat{u}}{U_{\text{RMS}}} = \frac{\hat{i}}{I_{\text{RMS}}}$$

4

RMS für Leistungsmittelwert, quadratischer Mittelwert

R Root = Wurzel  
M Mean = Mittelwert  
S Square = Quadrat

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

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

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

Effektivwert bei Sinusform

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

5

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

6

Effektivwert allgemein

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

7

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

8

Augenblickswert

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

9

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

10

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

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

13

Spitze-Tal-Wert

$$\hat{u} = 2 \cdot U$$

11

$$\hat{i} = 2 \cdot I$$

12

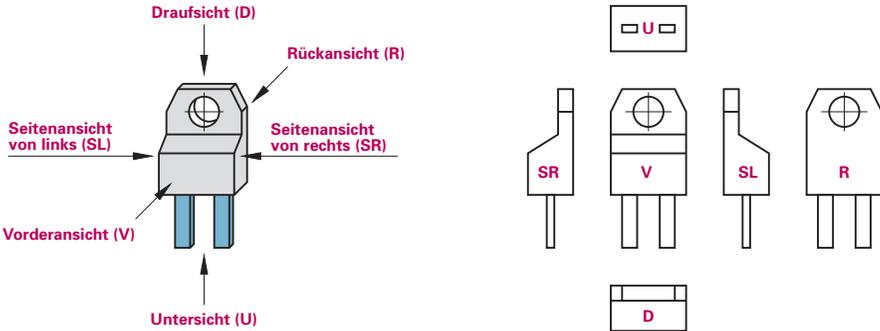
Oberschwingungen

Begriffe	Erklärung	Bemerkungen, Formeln
Grundschwingung	Generatoren sind so konstruiert, dass ihre Spannung wie eine Sinuslinie schwingt, z.B. mit 50 Hz. Diese Spannung nennt man <i>Grundschwingung</i> oder <i>1. Teilschwingung</i> . Einfache Generatoren, z.B. Fahrraddynamos, erzeugen periodische Wechselspannungen, aber keine Sinusspannungen. Fourier fand heraus, dass man alle Wechselspannungen aus Grundschwingung und Oberschwingungen zusammensetzen kann. <i>Harmonische</i> sind die Oberschwingungen mit dem ganzzahligen Vielfachen der Grundschwingung. Oberschwingungen führen zu kleinerem Leistungsfaktor und damit zu größerem Strom und größeren Leistungsverlusten. In Drehstrommotoren treten zusätzliche Drehfelder durch die Oberschwingungen auf.	Oberschwingungen sind Vielfache der Grundschwingung. <b>Ordnungszahlen <math>\nu</math> (nüh)</b> bei AC bei 3AC ohne N
franz. Physiker Fourier, 1768 bis 1830		
Ordnungszahl		$\nu = k + 1$ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">14</span> $\nu = \pm 3k + 1$ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">15</span>
Harmonische		mit $k = 0, 2, 4, 6$
Folgen von Oberschwingungen		Bei Gleichspannungsanteil kommen zusätzlich geradzahlige Harmonische dazu. Bei 3AC tritt auch im N stärkerer Strom auf. Negatives $\nu$ in Formel 2 führt in Motoren zu einem Drehfeld gegen das Grunddrehfeld.

$f$ Frequenz	$p$ Polpaarzahl der Maschine	$U$ Effektivwert der Spannung
$F_C$ Scheitelfaktor, Crestfaktor	$t$ Zeit	$\varphi$ Phasenverschiebungswinkel
$i$ Augenblickswert des Stromes	$t_i$ Impulszeit	$\varphi_0$ Nullphasenwinkel
$\hat{i}$ Scheitelwert des Stromes	$T$ Periodendauer	$\omega$ Kreisfrequenz, Winkelgeschwindigkeit
$\hat{u}$ Spitze-Tal-Wert des Stromes	$u$ Augenblickswert der Spannung	
$I$ Effektivwert des Stromes	$\hat{u}$ Scheitelwert der Spannung	
$n$ Drehfelddrehzahl	$\hat{i}$ Spitze-Tal-Wert der Spannung	

Anordnung der Ansichten

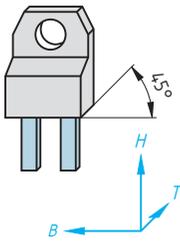
vgl. DIN ISO 128-30 u. 5456-2



K

Axonometrische Projektionen

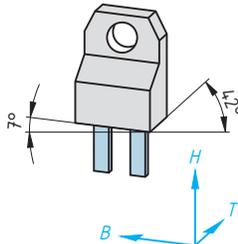
Rechtwinklige Parallelprojektion



$B : H : T = 1 : 1 : 0,5$

Anwendung für Skizzen.

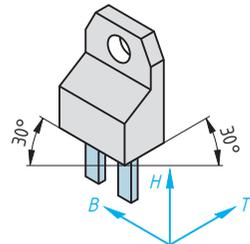
Dimetrische Projektion



$B : H : T = 1 : 1 : 0,5$

Zeigt in der Vorderansicht Wesentliches.

Isometrische Projektion

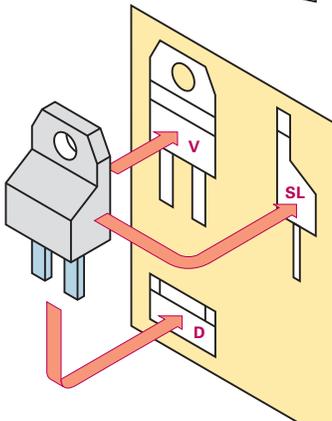


$B : H : T = 1 : 1 : 1$

Zeigt drei Ansichten gleichartig.

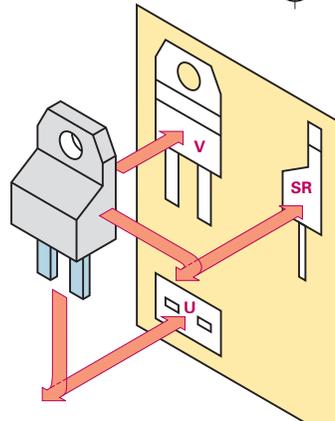
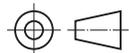
Normalprojektionen

Projektionsmethode 1: Kennzeichen:



Anwendung in den meisten europäischen Ländern.

Projektionsmethode 3: Kennzeichen:



Anwendung in englischsprachigen Ländern und in Datenblättern.

Ein Fließbild ist die grafische Darstellung eines Prozesses mittels genormter und alphanumerisch beschrifteter Symbole. Die PCE-Aufgabe (PCE von Process Control Engineering) wird durch ein langlochförmiges Oval dargestellt, die PCE-Leitfunktion durch ein rechteckig verlängertes Sechseck.

### Symbole für PCE-Aufgaben und PCE-Leitfunktion

PCE-Aufgabe	Bei Bedarf Angabe:	Prozess- linie	Signallinie ZH ----->
PCE von Process Control Engineering	Unterlieferant Typenkennzeichnung Geräteinformationen		▲ sicherheitswichtig ● Richtlinie zu Qualität ■ qualitätswichtig SL ----->
PCE-Leitfunktion	Bei Bedarf:		
	Unterlieferant Typenkennzeichnung Geräteinformationen		
Bedienoberfläche	lokal	manuell betätigt (Schaltpult)	Fernabfrage (Leitstand)

### Beschriftung im Fließbild

Die Beschriftung der Fließbilder besteht aus einem Erstbuchstaben für die PCE-Kategorie und einem oder mehreren Folgebuchstaben für die Verarbeitungsfunktion, z.B. PI analoge Druckanzeige.

Buchstabe	Bedeutung des Erstbuchstabens für PCE-Kategorie	Bedeutung der Folgebuchstaben für PCE-Verarbeitungsfunktionen
A	Analyse	Alarm, Meldung,
B	Flammenüberwachung	Beschränkung, Eingrenzung
C	Anwender definiert und dokumentiert	Regelung
D	Dichte	Differenz
E	elektrische Spannung	N.A.
F	Durchfluss	Verhältnis
G	Abstand, Länge, Stellung	N.A.
H	Handeingabe, Handeingriff	oberer Grenzwert, an (on), offen
I	elektrischer Strom	Analoganzeige
J	elektrische Leistung	N.A.
K	zeitbasierte Funktion	N.A.
L	Füllstand	unterer Grenzwert, aus (off), geschlossen
M	Feuchte	N.A.
N	Motor	N.A.
O	Anwender definiert und dokumentiert	Statusanzeige von Binärsignalen
P	Druck	N.A.
Q	Menge oder Anzahl	Summe, Integral
R	Strahlungsgrößen	aufgezeichneter Wert
S	Geschwindigkeit, Drehzahl, Frequenz	Schaltfunktion, nicht sicherheitswichtig
T	Temperatur	N.A.
U	Steuerfunktion, Anwender dokumentiert	N.A..
V	Schwingung	N.A.
W	Masse, Gewicht, Kraft	N.A.
X	Anwender definiert und dokumentiert	Anwender definiert und dokumentiert
Y	Stellventil	Rechenfunktion
Z	Anwender definiert und dokumentiert	Schaltfunktion, sicherheitswichtig

N.A. in der Norm nicht angegebene Buchstaben, die in einem Fließbild ausnahmsweise angegeben werden können, wenn sie der Anwender definiert und dokumentiert hat.

**Trennung der Kabel zur Erhöhung der Dämpfung von induktiven Störspannungen**

zwischen IT-Kabeln	<p>IT-Kabel in flachem metallischen Kanal</p>	<p>Trennung von IT-Kabel und Kabel der Stromversorgung</p>
zwischen IT-Kabeln, Kabeln der Stromversorgung sowie sonstigen Kabeln	<p>IT-Kabel in hohem metallischen Kanal</p>	<p>Trennung von IT-Kabeln und sonstigen Kabeln</p>

WF

**Erforderliche Dämpfung und Mindesttrennabstände**

Trennkategorie (etwa Kategorie Cat)	Dämpfung von informationstechnischen Kabeln bei 30 MHz bis 100 MHz		Mindesttrennabstände <i>d</i> von IT- oder Stromversorgungskabeln bei 0 MHz bis 100 MHz		
	Kopplungs- und Schirmdämpfung, Kabel geschirmt	Dämpfung TCL, Kabel ungeschirmt	ohne elektromagnetische Barriere	offener Metall-Kabelkanal	Lochblech-Kabelkanal
a	< 40 dB	< 50 dB – 10 · lgf	300 mm	225 mm	150 mm
b (Cat 5)	≥ 40 dB	≥ 50 dB – 10 · lgf	100 mm	75 mm	50 mm
c (Cat 6)	≥ 55 dB	≥ 60 dB – 10 · lgf	50 mm	38 mm	25 mm
d (Cat 7)	≥ 80 dB	≥ 70 dB – 10 · lgf	10 mm	8 mm	5 mm

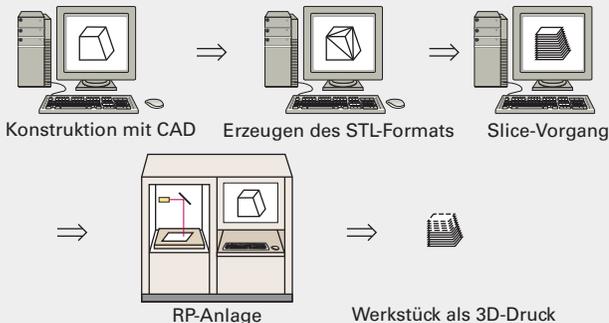
Bei metallenen massiven Kabelkanälen ohne offene Stellen ist der Trennabstand 0 mm

**Allgemeine Anforderungen**

Begriff	Erklärung	Bemerkungen, Daten
Verkabelung	Verlegen von Kabeln. In der IT-Technik werden unter Kabeln Erdkabel und alle geschützten Leitungen verstanden.	Es kann sich um Kabel mit Kupferleitern oder sonstigen Metallleitern, aber auch mit optischen Faserleitern (Lichtwellenleiter) handeln.
Sicherheit	Die Sicherheit der Anlage muss gewährleistet sein bezüglich Gefahren und Fluchtwegen.	Metallene IT-Verkabelungen und Kabel der Stromversorgung müssen getrennt sein.
Zugänglichkeit	Die Verlegung soll auf Kabelwegen so erfolgen, dass die Kabel bei Störungen zugänglich sind.	Bei umfangreichen Verkabelungen Kabelwege bei Bedarf unter dem Fußboden anordnen.
Schirmung	IT-Kabel müssen gegen EMIs geschützt sein. Schutz gegen Eindringen von Signalen aus benachbarten Leitungen (Nebensprechen) muss durch eine Kopplungsdämpfung erfolgen, bei metallenen Leitungen durch Schirmung.	Ein Schirm muss lückenlos geschlossen und an beiden Enden geerdet sein. Manche Kabel sind geschirmt gefertigt. Außerdem kann der Kabelweg von mehreren Kabeln durch einen metallenen Kabelkanal geschirmt sein.
Dämpfung	Von einem Kabel zu benachbarten Kabeln findet Spannungsinduktion statt. Dämpfung (Begrenzung) durch geeignete Maßnahmen.	Je nach Aufgabe der IT-Kabel sind Mindestwerte der Dämpfung erforderlich. Dämpfung ist im logarithmischen Maß dB angegeben.
Trennung	Die Dämpfung wird durch Auswahl der Kabel nach Kabelkategorie und durch räumliche Trennung der Kabel erreicht.	Die räumliche Trennung kann durch metallene Schirmung und durch Abstand erreicht werden.
Dokumentation	Ist bei Errichtung und Änderung dem Anlagenbetreiber auszuhändigen.	Die Dokumentation besteht aus Schaltplänen und Wartungsplänen.

dB Dezibel    lg Zehnerlogarithmus    EMI Electromagnetic Interference    TCL Quersprechdämpfung (Transverse Conversion Loss)  
 f Frequenz    d Mindesttrennabstand

## Rapid Prototyping RP



Rapid Prototyping (schneller Prototypenbau) ist ein Verfahren zur schnellen Herstellung von Musterbauteilen, ausgehend von Konstruktionsdaten. RP-Verfahren sind somit Fertigungsverfahren, die das Ziel haben, aus vorhandenen CAD-Daten ohne manuelle Umwege oder Formen direkt und schnell Werkstücke zu erzeugen. Dabei erfolgt die Werkstückherstellung durch Aneinanderfügen sehr vieler dünner Schichten (Slicen) oder sehr vieler kleiner Volumenelemente, z. B. aus Kunststoff.

Rapid Prototyping ist ein additives Fertigungsverfahren.

Prinzip der Rapid-Prototyping-Verfahren

### Wichtige Verfahren des Rapid Prototyping

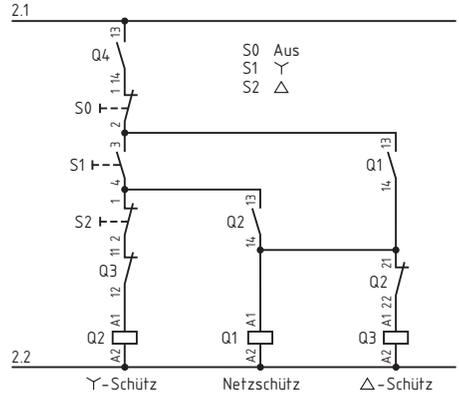
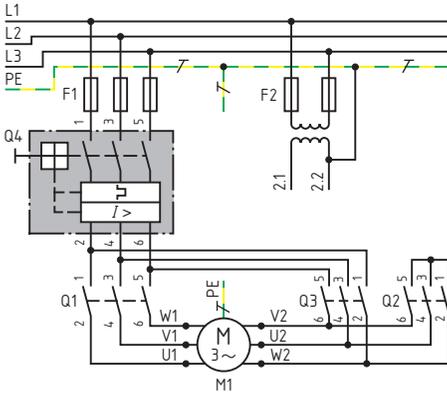
Verfahren	Beschreibung	Vorteile/Nachteile
<p><b>Laminated Objekt Manufacturing LOM</b></p>	<p>Als Ausgangsmaterial beim <b>LOM</b> werden Papier oder papierähnliche Folien auf Rollen verwendet. Das Endlospapier wird über Rollen über die Trägerplattform geführt und mit der darunterliegenden Schicht verklebt. Eine beheizte Rolle aktiviert die Binderschicht. Ein CO<sub>2</sub>-Laser schneidet die Werkstückinnenkontur und Werkstückaußenkontur aus.</p>	<p><b>Vorteile:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• für große massive Bauteile geeignet.</li> </ul> <p><b>Nachteile:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohlräume nur begrenzt herstellbar,</li> <li>• langer Produktionsprozess.</li> </ul> <p>Schichtdicke ~0,2mm Lasergeschwindigkeit ~ 0,5 m/s Werkstückgenauigkeit ~ 0,2 mm</p> <p><b>Anwendungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• große, massive Geometrie- und Funktionsmodelle fertigen,</li> <li>• Modelle, die große Sprünge in den Wandstärken aufweisen.</li> </ul>
<p><b>Stereo-Lithography STL</b></p>	<p>Ein Laserstrahl bewegt sich beim <b>STL</b> mit Hilfe numerisch schwenkbarer Spiegel über eine Wanne, die mit flüssigem Kunststoff gefüllt ist. Durch den Energieeintrag wandelt sich der flüssige Kunststoff (Monomer) in ein festes Polymer um. In dem Maße wie das Werkstück wächst, wird die Plattform abgesenkt und neues Monomer zugeführt.</p>	<p><b>Vorteile:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• restlicher Kunststoff muss nur abfließen,</li> <li>• einfache Herstellung von Hohlräumen.</li> </ul> <p><b>Nachteile:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• schlechte Werkstoffkennwerte.</li> </ul> <p>Schichtdicke ~ 0,01 mm Lasergeschwindigkeit ~ 5 m/s Werkstückgenauigkeit ~ 0,02 mm</p> <p><b>Anwendungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konzept-, Geometrie-, Anschauungs-, Funktionsmodelle im Maschinenbau, im Automobilbau und in der Medizin</li> <li>• Architekturmodelle.</li> </ul>
<p><b>Fused Deposition Modelling FDM</b></p>	<p>Beim <b>FDM</b> wird ein drahtförmiges Material in einer beheizten Düse verflüssigt und schichtweise aufgetragen. Der Düsenkopf wird dabei wie bei einem Plotter in der horizontalen Ebene bewegt. Nachdem eine Lage fertiggestellt ist, wird das Bauteil um die Schichthöhe abgesenkt und die nächste Lage aufgebracht. Es sind Wachs und Thermoplaste verarbeitbar.</p>	<p><b>Vorteile:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• relativ einfache Technik,</li> <li>• kein Laser notwendig,</li> <li>• kein Materialverlust.</li> </ul> <p><b>Nachteile:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• dünne Wandstärken nicht darstellbar,</li> <li>• nur für kleinere Teile geeignet.</li> </ul> <p>Schichtdicke ~ 0,1 mm Geschwindigkeit ~ 0,25 m/s</p> <p><b>Anwendungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• dickwandige, voluminöse Bauteile mit geringeren Ansprüchen an die Oberfläche und</li> <li>• Funktionsprototypen fertigen.</li> </ul>

## Schützsaltungen mit Motorschutzschalter Circuits for Contactors with Motor Protection Switch

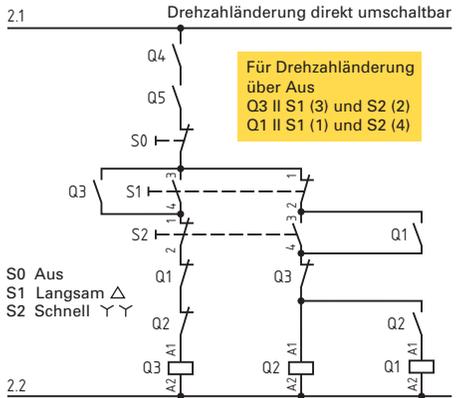
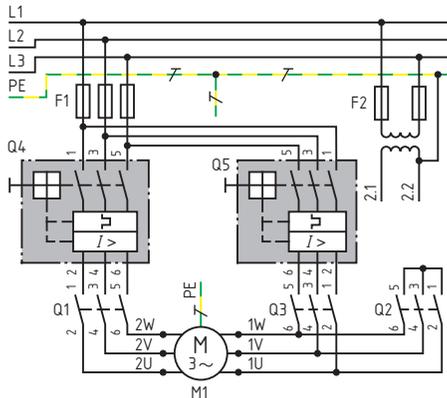
Hauptstromkreise

Steuerstromkreise

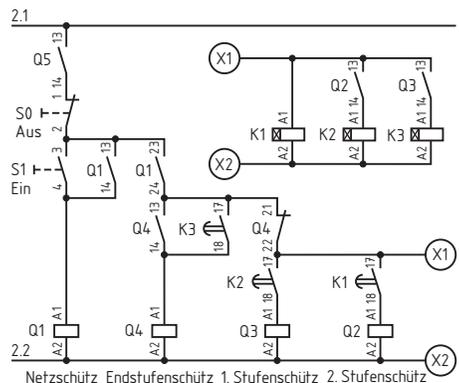
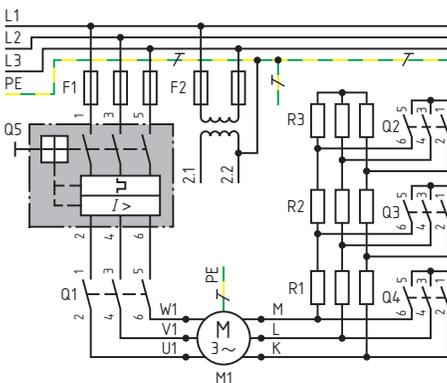
### Manuelle Stern-Dreieck-Anlassschaltung mit Motorschutzschalter



### Dahlanderschaltung mit Motorschutzschalter



### Schleifringläufer-Selbstanlasserschaltung mit Motorschutzschalter

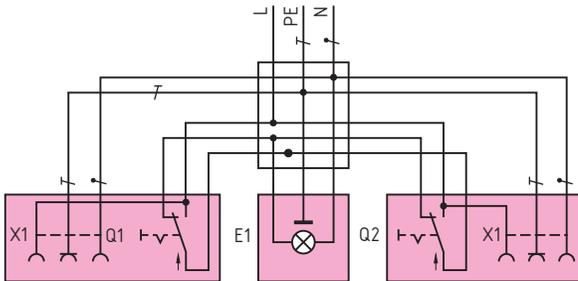


BM

## Ausführung von Installationsschaltungen Execution of Installation Circuits

Anlass, Begriff	Erklärung	Beispiel
<p>Grundschaltungen</p> <p>Fehlerschutz</p> <p>Forderungen von VDE 0100-410</p> <p>Leiter für den Fehlerschutz</p>	<p>Bei Installationsschaltungen wird in Prospekten und Schaltungsbüchern meist nur der für den Betriebsstrom wichtige Stromweg angegeben, also z. B. vom Außenleiter L über Schalter und Last zum Neutralleiter N. Die für den Fehlerschutz erforderlichen Leitungen sind oft nicht oder nur teilweise angegeben.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• „In jedem Stromkreis muss ein Schutzleiter vorhanden sein“.</li> <li>• Bei Schutzklasse II: „Ein Schutzleiter muss in der gesamten Leitungsanlage mitgeführt werden“.</li> </ul> <p>Der PE wird deshalb oft bei der Grundschaltung zu jeder Last und jeder Steckdose angegeben.</p>	<p style="text-align: right;">zusätzliche Ader</p> <p style="text-align: center;"><b>Dreidriger Schalteranschluss</b></p> <p>Ein nicht benötigter PE ist am Schalter an einer festen oder in die Schalterdose eingelegten Klemme zu befestigen und an der Abzweigdose an der PE-Klemme.</p>
<p>Mehradrerleitung, Aderleitung</p>	<p>Die 2. Forderung legt nahe, den PE bei Schalterleitungen mitzuführen. Das ist bei Mehraderleitungen zu empfehlen, während bei Aderleitungen bei Bedarf der PE auch später als weitere Ader einge-zogen werden kann.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Ausschaltung mit fünfadri-ger Schalterleitung und Steckdose</b></p>
<p>Lagerhaltung des Materials</p> <p>grüngelbe Ader, blaue Ader</p>	<p>Die Anzahl der vorzuhaltenden Leitungen sollte wegen der Kosten möglichst niedrig bleiben. So wird in vielen Betrieben die Aderzahl von vorrätigen Mehraderleitungen auf 3 und 5 beschränkt. Dabei ist eine Ader grüngelb, also nur als PE, PB oder Erde verwendbar. Die blaue Ader kann als N verwendet werden oder anderweitig, nicht aber als PE oder PEN.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Serienschaltung mit fünfadri-ger Schalterleitung und Steckdose</b></p>
<p>dreidrige Leitung anstelle einer zweidrigen</p>	<p>Für die Leitung zu einem Ausschalter oder Taster kann eine dreidrige Leitung verwendet werden, wobei die grüngelbe Ader am Ausschalter bzw. Taster nicht zur Stromleitung angeschlossen werden darf.</p>	
<p>PE erleichtert die Überwachung</p>	<p>Ein PE in der Schalterleitung dient der Überwachung der Leitungsanlage. Der PE ermöglicht z. B. die Messung des Isolationswiderstandes.</p>	
<p>RCD verhindert Missbrauch</p>	<p>Die missbräuchliche Verwendung des PE als PEN-Leiter wird verhindert, wenn der Fehlerschutz durch Abschaltung mittels RCD erfolgt.</p>	
<p>fünfadrige Leitung anstelle von dreidriger</p>	<p>Ermöglicht bei der Ausschaltung eine Steckdose und außerdem die Verwendung des Ausschalters als Kontrollschalter.</p>	

BM



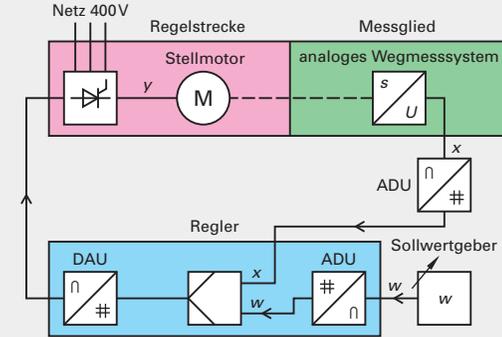
**Sparwechselschaltung mit Steckdosen an beiden Schaltern**

Bei der *üblichen Wechselschaltung* ermöglichen fünfadrige Schalterleitungen eine Steckdose nur unter dem Schalter, der an L angeschlossen ist. Als Kontrollschalter ist nur der Schalter möglich, an den der Schalterdraht angeschlossen ist. Dasselbe gilt für die Wechselschalter einer *Kreuzschaltung*. Die *Sparwechselschaltung* erlaubt bei fünfadrigen Schalterleitungen unter jedem Schalter eine Steckdose. Dabei geht der Außenleiter bei beiden Schaltern zu einem Anschluss für Korrespondierende (Schalter verbindende Leiter).

Beispiel

Erläuterung

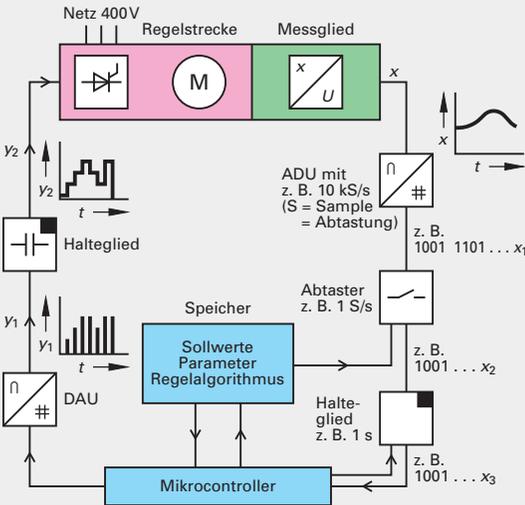
Digitale Hardware-Regler



Bei digitalen Hardware-Reglern sind die Eingangssignale und Ausgangssignale digital. Die Regelparameter und der Regelalgorithmus können nicht verändert werden.

Beispiel: Die vom analogen Messwertgeber erzeugte Regelgröße „Weg“ wird im Analog-Digital-Umsetzer ADU in ein digitales Signal umgewandelt. Im Vergleich wird in digitaler Form die Differenz zwischen diesem Eingangssignal und dem Sollwertsignal gebildet. Diese Regelabweichung  $e = w - x$  wird dann durch den Regelalgorithmus bearbeitet. Der Digital-Analog-Umsetzer DAU wandelt diesen Digitalwert in ein analoges Ausgangssignal um.

Digitale Regelung durch Computer (Software-Regler)



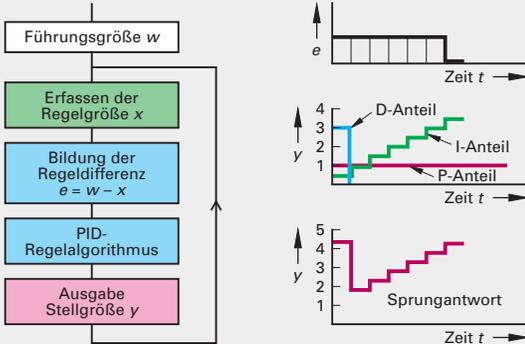
Bei der Regelung durch Computer sind die Regelparameter, die Sollwerte und der Regelalgorithmus als Programm im Computer abgelegt.

Beispiel: Das analoge Prozesssignal  $x$  wird über den Analog-Digital-Umsetzer in ein digitales Signal  $x_1$  umgewandelt. Ein Impulsgeber tastet in bestimmten Zeitabständen diese Digitalwerte ab  $x_2$ . Der Signalspeicher hält diesen Wert bis zur nächsten Abtastperiode aufrecht ( $x_3$ ). Entsprechend dem Regelalgorithmus werden die Stellgrößen errechnet, danach im DA-Umsetzer digital-analog umgewandelt und nach dem analogen Signalspeicher der Regelstrecke zugeführt.

Man unterscheidet zwischen:

DDC-Betrieb (Direct Digital Control), bei dem der Computer unmittelbar auf die Stellglieder einwirkt und dem SPC-Betrieb (Set Point Control), bei dem der Computer nur die Führungsgrößen gespeichert hat.

PID-Regelalgorithmus im Computer



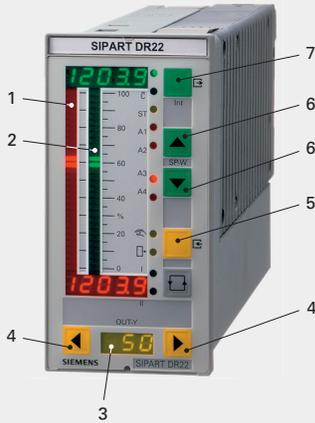
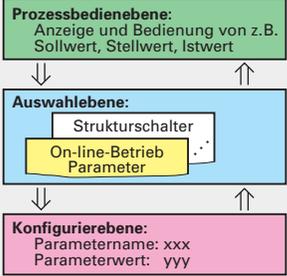
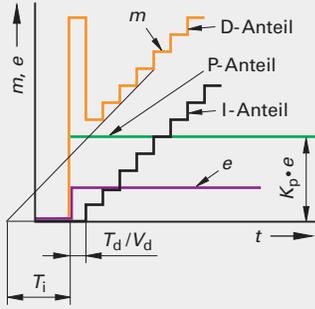
Das Computerprogramm hat folgende Aufgaben:

- Bildung der Regeldifferenz  $e$ ,
- Berechnung der Stellgrößen  $y$  auf Grund der programmierten Regelalgorithmen.

Bei der Sprungantwort werden alle P-, D- und I-Anteile aufsummiert.

Die Abtastung der analogen Signale und deren Umwandlung in digitale Werte sowie der interne Programmablauf bewirken eine zeitliche Verzögerung bei der Berechnung der Stellgröße  $Y$ .

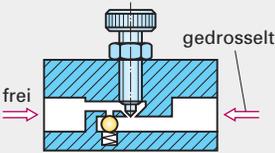
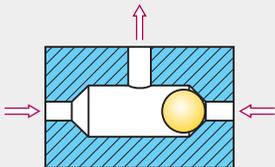
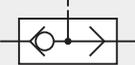
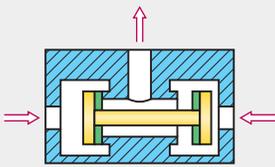
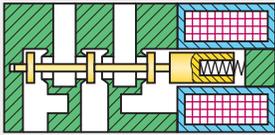
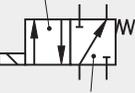
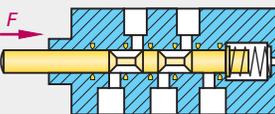
## Universalregler SIPART Universal Closed Loop Controller SIPART

Merkmal	Erklärung	Darstellungen, Bemerkungen
<b>Aufbau</b>	<p>Der digitale Universalregler SIPART besteht aus einem Grundgerät mit Bedienfeld, analogen und binären Eingängen und Ausgängen, in welches rückseitig Steckkarten für DAU (Digital-Analog-Umsetzer), ADU (Analog-Digital-Umsetzer), weitere Eingänge und Ausgänge (analog, digital), Schnittstellen für RS232 oder für PROFIBUS gesteckt werden können. Verschiedene Messwertaufnehmer sind anschließbar.</p> <p>1 Anzeige Regelgröße, 2 Anzeige Sollwert, 3 Anzeige Stellgröße, 4 Taster für Stellgröße, 5 Taster Hand/Automatik, 6 Taster für Sollwert, 7 Taster intern/extern.</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>Mit einem digitalen Regler können meist mehrere Regelkreise unabhängig voneinander betrieben werden.</p>
<b>Funktionen</b>	<p>SIPART besitzt folgende Reglerfunktionen: Handregelung, automatische Regelung, Festwertregelung, Folgeregelung, Zweipunktregelung, Dreipunktregelung, Regelungen P, PI, PD und PID.</p> <p>SIPART enthält eine Bibliothek von Grundfunktionen, z.B. Absolutwertbildung, Addition, Subtraktion, Division, Multiplikation, Wurzelberechnung, Logarithmusberechnung, e-Funktion, UND, ODER, NICHT. Auch Zählerfunktionen, Zeitfunktionen und Filterfunktionen sind vorhanden.</p> <p>SIPART kann über spezielle Baugruppen an den PROFIBUS-DP oder an Geräte mit einer Schnittstelle RS 232 oder RS 485 angeschlossen werden.</p>	 <p style="text-align: center;"><b>Bedienebenen des digitalen Reglers SIPART</b></p>
<b>Bedienung</b>	<p>Mit drei Bedienebenen erfolgt das Einstellen des Reglers. In der Auswahlebene wird eine Parameterliste ausgewählt, deren Parameter in der Konfiguriererebene geändert und aktiviert werden können.</p> <p>Es gibt Listen für Parameter des On-line-Betriebs, des Off-line-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 On-line-Betriebs sind z.B. enthalten die Reglerparameter <math>K_p</math>, <math>T_i</math>, <math>T_d</math>, <math>V_d</math>.</p> <p>In der Konfiguriererebene werden den jeweiligen Parametern der ausgewählten Liste ihre Werte manuell zugewiesen.</p>	 <p style="text-align: center;"><b>Sprungantwort des PID-Reglers</b></p>
<b>Einstellung eines PID-Reglers</b>	<p>Zu Beginn des Einstellvorganges wird der Sollwert der Regelgröße eingestellt und die Regeldifferenz im Handbetrieb automatisch ausgeregelt. Der werkseingestellte <math>K_p</math> (0,1) wird dann im Automatikbetrieb vergrößert, bis der Regelkreis zum Schwingen neigt.</p> <p>Dann <math>T_d</math> auf 1 s stellen (werkseitige Einstellung off=aus). <math>T_d</math> langsam vergrößern bis die Schwingungen beseitigt sind. <math>K_p</math> langsam vergrößern bis wieder Schwingungen einsetzen. Diese beiden Vorgänge so oft wiederholen, bis die Schwingungen nicht wieder beseitigt werden können.</p> <p><math>T_d</math> und <math>K_p</math> dann verkleinern, bis die Schwingungen aufhören. <math>T_i</math> verringern, bis der Regelkreis wieder zum Schwingen neigt. <math>T_i</math> geringfügig vergrößern, bis die Schwingungsneigung beseitigt ist.</p>	<p><math>K_p</math> Proportional-Beiwert (Verstärkungsfaktor) <math>T_i</math> Nachstellzeit, <math>T_d</math> Vorhaltezeit, <math>V_d</math> Vorhalteverstärkung</p>

BM



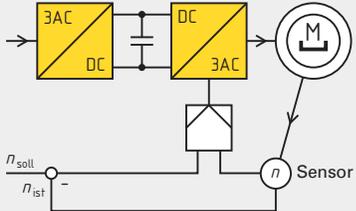
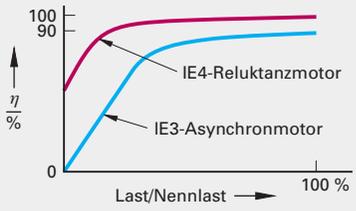
## Druckventile und Wegeventile Pressure and Direction Control Valves

Bauteil	Schaltzeichen	Erklärung
 <p><b>Drosselrückschlagventil</b></p>		<p>Das Drosselrückschlagventil kombiniert ein Drosselventil und ein Rückschlagventil. In einer Strömungsrichtung hat die Druckluft ungestört Durchgang, während in der Gegenrichtung eine stufenlose Einstellung des Durchflusses möglich ist.</p> <p>Drosselrückschlagventile werden zur Geschwindigkeitssteuerung in die Arbeitsleitungen von Zylindern in Zylindernähe eingebaut, z.B. Eilvorlauf, Eilrücklauf oder Arbeitsgeschwindigkeit.</p> <p><a href="http://www.festo.com">www.festo.com</a></p>
 <p><b>Wechselventil</b></p>		<p>Das Wechselventil erfüllt in einer pneumatischen Steuerung die Funktion eines ODER-Gliedes. Dazu besitzen Wechselventile zwei Steueranschlüsse und einen Arbeitsanschluss. Druckluft strömt zum Arbeitsanschluss, wenn eine der beiden Eingangsleitungen oder beide gleichzeitig unter Druck stehen. Dabei verhindert das Wechselventil, dass die mit Druck beaufschlagte Steuerleitung über den parallel geschalteten Steueranschluß entlüftet wird.</p>
 <p><b>Zweidruckventil</b></p>		<p>Das Zweidruckventil erfüllt in einer pneumatischen Steuerung die Funktion eines UND-Gliedes. Dazu besitzen Zweidruckventile zwei Steueranschlüsse und einen Arbeitsanschluss. Druckluft strömt nur dann zum Arbeitsanschluss, wenn beide Eingangsleitungen gleichzeitig unter Druck stehen. Bei unterschiedlich großen Steuerdrücken schließt der größere das Ventil und der kleinere Steuerdruck gelangt zum Ausgang.</p> <p><a href="http://www.hawe.de">www.hawe.de</a></p>
 <p><b>4/2-Wegeventil mit Federrückstellung und elektromagnetischer Betätigung</b></p>	<p>Verbindung nicht angesteuert</p>  <p>angesteuert</p>	<p>Sitzventile zeichnen sich durch einen dicht schließenden Ventilkörper aus, wobei sie oft nur unter großem Kraftaufwand zu schalten sind, da der Systemdruck den Ventilkörper belastet. Bei der elektromagnetischen Ansteuerung wird in spannungslosem Zustand der Kolben durch eine Feder auf den Ventil Sitz gedrückt. Nach Betätigung wird der Kolben durch die Magnetkraft angezogen und gibt eine andere Verbindung frei.</p>
 <p><b>5/2-Wegeventil mit Federrückstellung und mechanischer Betätigung durch Stößel</b></p>	<p>Verbindung angesteuert</p>  <p>nicht angesteuert</p>	<p>Da Kolbenschieberventile druckentlastet sind, lassen sie sich mit einer vom Betriebsdruck nahezu unabhängigen Betätigungskraft schalten. Wegen des Bewegungsspiels des Kolbenschiebers kann es zu Abdichtproblemen kommen.</p> <p><a href="http://www.esska.de">www.esska.de</a></p>

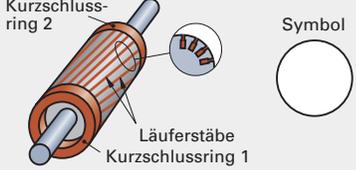
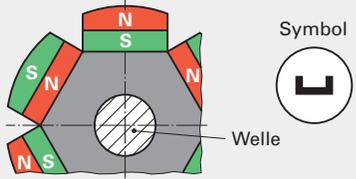
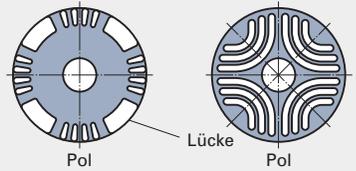
## Drehstrommotoren für Stromrichterspeisung Threephasemotors for converter feed

Benennung	Aufgabe, Ausführung	Darstellung, Symbol, Daten, M(n)-Kennlinien
-----------	---------------------	---

### Geignete Motoren, Effizienz und Wirtschaftlichkeit

<p><b>Käfigläufermotor</b></p>	<p>Häufigster Drehstrommotor. Effizienzklassen bis IE 3 sind erreichbar.</p>	<p>Anlaufmoment, Sattelmoment, Nennmoment, Kippmoment Seite 306.</p>
<p><b>Permanent-erregter Synchronmotor</b></p>	<p>Der Motor, der mit entsprechender Elektronik den höchsten Wirkungsgrad erzielt. Effizienzklassen bis IE4 sind möglich. Erforderlich ist ein Stromrichter zur Frequenzregelung. Zum Anlauf wird, gesteuert von einem Sensor, die Frequenz von 0 Hz an hochgefahren bis zur Frequenz der erforderlichen Arbeitsdrehzahl des Motors. Nachteilig sind aufwendige und anfällige Elektronik sowie Bedarf an teuren Permanentmagneten mit Elementen der seltenen Erden.</p>	
<p><b>Reluktanzmotor</b></p>	<p>Die hohen Beschaffungskosten der permanent-erregten Synchronmotoren führten zur Wiederentdeckung der Reluktanzmotoren. Wegen der kleinen Läuferverluste sind Effizienzklassen bis IE4 möglich. Der Motor ist über Frequenzumrichter in seiner Drehzahl steuerbar und dabei ohne Sensor und Computerprogramm selbstanpassend. Es liegt ein synchronisierter Asynchronmotor mit synchroner Drehzahl vor.</p>	

### Bestandteile der geeigneten Motoren

<p><b>Ständer (Stator)</b></p>	<p>Erzeugung des magnetischen Ständerdrehfeldes. Enthält die dreiphasige Wicklung mit den Strängen U1U2, V1V2, W1W2. Diese können je nach Spannung in Stern Y oder in Dreieck <math>\Delta</math> geschaltet sein (Seite 55).</p>	
<p><b>Läufer (Rotor) als Käfigläufer (Induktionsmotor, Asynchronmotor)</b></p>	<p>Das magnetische Ständerdrehfeld induziert in den Stäben des Käfigs eine Spannung, wenn das Drehfeld des Ständers sich schneller dreht als der Läufer. Dadurch entsteht ein magnetisches Läuferdrehfeld mit derselben Polzahl wie das Ständerfeld. Ständerdrehfeld und Läuferdrehfeld bewirken zusammen das Kraftmoment auf den Läufer.</p>	
<p><b>Läufer (Rotor) beim permanent-erregten Synchronmotor</b></p>	<p>Der Läufer enthält so viele Pole aus Permanentmagneten, wie das Ständerdrehfeld Pole hat, z. B. 4 Pole (2 Polpaare). Der sich drehende Läufer dreht sich auch unter Belastung durch eine Arbeitsmaschine synchron (mit derselben Drehzahl) zum Ständerdrehfeld. Allerdings ist eine Anlaufhilfe erforderlich, da im Stillstand des Läufers die Kraftmomente in schneller Folge die Richtung ändern.</p>	
<p><b>Läufer beim Reluktanzmotor</b>  (Reluktanz = magnetischer Widerstand)</p>	<p>Beim Reluktanzmotor ist der magnetische Widerstand quer zur Läuferachse verschieden, sodass Polpaare wie beim Synchronmotor entstehen. Anlasshilfen sind Läuferstäbe wie beim Käfigläufer oder ein spezieller Ständer-Stromrichter. Der Motor läuft asynchron an, geht dann bei einer Drehzahl nahe der Drehfelddrehzahl in den Synchronismus.</p>	

A

## Effizienz von elektrischen Antrieben Efficiency of Electrical Drive

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

### Standards für effiziente Antriebe

IEC-Bezeichnung	US-Bezeichnung	alte EU-Bezeichnung	Erklärung	Bemerkungen
IE1	Standard Efficiency	EFF3	Elektromotoren benötigen weltweit etwa die Hälfte des erzeugten Stromes. Bei Antrieben besteht ein großes Potenzial zum Energiesparen. Deshalb werden elektrische Antriebe nach ihrer Effizienz unterschieden. Bei Bedarf Neuanlagen ist seit 2011 mindestens IE2 erforderlich.	Eine Möglichkeit zur Erhöhung der Effizienz ist der Einsatz von Cu anstelle von Al für den Läuferkäfig und von besserem Magnetmaterial (Elektrotblech) mit kleineren Verlusten bei Käfigläufermotoren.
IE2	High Efficiency	EFF2		
IE3	Premium Efficiency	EFF1		
IE4	Super Premium Efficiency	-		

### Mindestwirkungsgrade $\eta$ von Motoren verschiedener Klassen, Polzahlen und Frequenzen

vgl. EN DIN 60034-30

Klasse	IE1			IE2			IE3			IE4		
	Anzahl der Pole (doppelte Polpaarzahl)											
$P_N$ in kW	2	4	6	2	4	6	2	4	6	2	4	6

#### Motoren für 50 Hz

0,12	53,6	53,6	53,2	64,0	69,7	63,2	68,5	73,7	67,1	76,1	77,1	72,7
0,75	72,1	72,1	70,0	77,4	79,6	75,9	80,7	82,5	78,9	85,0	85,7	82,8
1,5	77,2	77,2	75,2	81,3	82,8	79,8	84,2	85,3	82,5	87,6	88,2	85,9
4	83,1	83,1	81,4	85,8	86,6	84,6	88,1	88,6	86,8	90,6	91,2	89,5
7,5	86,0	86,0	84,7	88,1	88,7	87,2	90,1	90,4	89,1	92,1	92,7	91,4
30	90,7	90,7	90,2	92,0	92,3	91,7	93,3	93,6	92,9	94,6	95,1	94,3
160	93,8	93,8	93,8	94,8	94,9	94,8	95,6	95,8	95,6	96,2	96,5	96,0
800	94,8	94,8	94,4	95,8	95,7	95,4	96,5	96,5	96,3	96,7	96,8	96,6

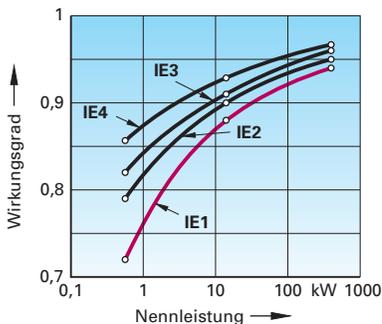
Bei 50 Hz entsprechen 2 Pole der synchronen Drehzahl (Drehfelddrehzahl) von 3000/min,  
 4 Pole der synchronen Drehzahl (Drehfelddrehzahl) von 1500/min und  
 6 Pole der synchronen Drehzahl (Drehfelddrehzahl) von 1000/min.

#### Motoren für 60 Hz

0,75	77,0	78,0	73,0	75,5	82,5	80,0	77,0	85,5	82,5	85,0	85,7	82,8
1,5	81,0	81,5	77,0	84,0	84,0	86,5	85,5	86,5	88,5	87,6	88,2	85,9
7,5	87,5	87,5	86,0	89,5	89,5	89,5	90,2	91,7	91,0	91,7	92,8	92,5
30	90,2	91,7	91,7	91,7	93,0	93,0	92,4	94,1	94,1	94,6	95,1	94,3
800	94,1	94,5	94,1	95,4	95,8	95,0	95,8	96,2	95,8	96,7	96,8	96,7

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

### 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.

A

**Prinzip**

Ursache	Bedingung	Folgerung						
<p><b>Stromverlauf</b></p>	<p><b>Anschluss an das öffentliche Niederspannungsnetz nach TAB</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Motorenart</th> <th>Bedingung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Einphasen-Wechselstrommotoren</td> <td>Bemessungsleistung nicht über 1,7 kVA.</td> </tr> <tr> <td>Drehstrommotoren</td> <td>Anzugsstrom nicht über 60 A oder Bemessungsleistung bis 5,2 kVA bei gelegentlichem Schalten (bei 400 V Bemessungsstrom 7,5 A).</td> </tr> </tbody> </table>	Motorenart	Bedingung	Einphasen-Wechselstrommotoren	Bemessungsleistung nicht über 1,7 kVA.	Drehstrommotoren	Anzugsstrom nicht über 60 A oder Bemessungsleistung bis 5,2 kVA bei gelegentlichem Schalten (bei 400 V Bemessungsstrom 7,5 A).	<p>Bei Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren mit einer Bemessungsleistung von mehr als 4 kW muss beim Einschalten die Spannung heruntergesetzt sein, damit der Einschaltstrom, der bis zum 10-Fachen des Bemessungsstromes betragen kann, begrenzt bleibt. Der Einschaltstrom sinkt im selben Verhältnis, wie die Spannung herabgesetzt wird. Dagegen nimmt das Kraftmoment etwa quadratisch ab, bei halber Spannung also auf ein Viertel.</p>
	Motorenart	Bedingung						
	Einphasen-Wechselstrommotoren	Bemessungsleistung nicht über 1,7 kVA.						
Drehstrommotoren	Anzugsstrom nicht über 60 A oder Bemessungsleistung bis 5,2 kVA bei gelegentlichem Schalten (bei 400 V Bemessungsstrom 7,5 A).							

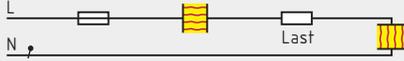
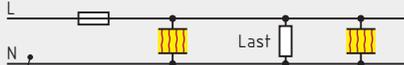
**Anlaufschaltungen**

Schaltung	Erklärung	Bemerkungen
<p><b>Direktes Einschalten</b></p>	<p>Einschalten z.B. mit Motorschalter oder Schützschtaltung.</p>	<p>Am öffentlichen Netz bei Drehstrommotoren bis 4 kW möglich.</p>
<p><b>Einschalten mit Stern-Dreieck-Schalter</b></p>	<p>In der Sternschaltung beträgt der Einschaltstrom nur ein Drittel des Einschaltstroms wie in der Dreieckschaltung.</p>	<p>Am öffentlichen Netz für Bemessungsleistung bis 11 kW. (Anzugsstrom <math>\leq 60</math> A)</p>
<p><b>Elektronischer Motorstarter</b></p>	<p>Der <i>Steuerteil</i> enthält einen Mikrocomputer und eine Steuereinheit zur Erzeugung der Zündimpulse für die IGBTs oder Thyristoren. Elektronische Motorstarter erhöhen während der Anlaufzeit die Spannung an den Motorklemmen von etwa 40% auf 100% der Bemessungsspannung <math>U_N</math> des Motors; meist mit Abschnittsteuerung. Elektronische Motorstarter sind zweiphasig (Bild) ausgeführt (zwei Antiparallelschaltungen von IGBTs oder Thyristoren) oder einphasig oder dreiphasig. Immer muss ein Schalter mit Trennvermögen vorgeschaltet sein.</p>	<p><b>Spannungsverlauf beim elektronischen Motorstarter</b></p> <p>Am öffentlichen Netz für Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren bis zu einer Bemessungsleistung von 11 kW.</p>
<p><b>Schaltung mit Sternpunktanlasser</b></p>	<p>Herabsetzung der Spannung durch drei Drosselspulen, drei Wirkwiderstände oder einen Flüssigkeitsanlasser mit Elektrolyt. Bei Drehstrommotoren mit der Angabe Y 400 V kann am 400-V-Netz ein Sternpunktanlasser verwendet werden. Für Motoren bis 2 kW kann die Kusa-Schaltung (Kusa von Kurzschlussläufer-Sanftanlauf) mit nur einem Widerstand verwendet werden.</p>	<p><b>Kusa-Schaltung</b></p>
<p><b>Schaltung mit Anlauftransformator</b></p>	<p>Herabsetzung der Spannung durch einen stellbaren Drehstromtransformator, meist in Sternschaltung. Der Einschaltstrom aus dem Netz wird dabei herabgesetzt durch die kleinere Spannung und durch die Stromübersetzung des Transformators. Nimmt der Motor bei halber Netzspannung z.B. 60 A auf, so nimmt der Transformator aus dem Netz nur etwa 30 A auf.</p>	<p>Mit Anlauftransformatoren können Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren bis zu einer Bemessungsleistung von 15 kW angelassen werden. Nachteilig beim Anlassen mit Transformator sind die hohen Anschaffungskosten. Deshalb werden Anlauftransformatoren vor allem bei Hochspannungsmotoren großer Leistung verwendet und sind sonst ziemlich selten.</p>

## Aufgaben

Schutz gegen	Erklärung	Bemerkungen
Verbrennung	In elektrischen Anlagen kann der Strom Verbrennungen und Brände hervorrufen, z. B. durch Überstrom, Überspannung, Wärmestau oder Isolationsfehler.	Dieselbe Folge kann auch eintreten durch Oberschwingungen, Blitz einschlag, Isolationsfehler, fehlerhafte Schutzgeräte, z. B. Leistungsschutzschalter.
Flammen	Im Brandfall treten Flammen und Rauch auf. Gegenmaßnahmen sind einzuhalten.	Brandausbreitung muss begrenzt bleiben. Fluchtwege sind vorzubereiten.
Sichere Funktion	Die Anlage muss sicher funktionieren, insbesondere die Sicherheitseinrichtungen.	Installation muss die thermischen Wirkungen begrenzen, z. B. durch Brandschutzschalter.

## Schutz gegen Verbrennungen und Brände in feuergefährdeten Anlagen

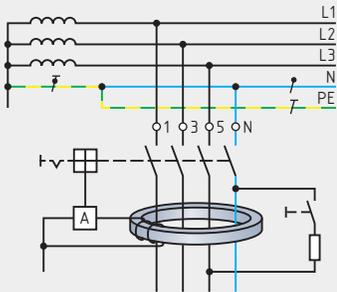
Mittel	Erklärung	Beispiele
Kabel und Leitungen	Auf Flucht- und Rettungswegen dürfen nur Kabel und Leitungen mit wenig Rauchentwicklung im Brandfall verlegt werden. Blanke Leitungen sind unzulässig.	Halogenfreie Kabel und Leitungen mit verbessertem Brandverhalten sind z. B. NHXMH, NHMH, H05Z-U, H05Z-K, H07Z-U, H07Z-R, NHXH, N2XH, N2XCH.
Verbindungsklemmen	Dürfen nur zur Stromversorgung des jeweiligen Raumes vorkommen. Sonst müssen sie feuerbeständig umhüllt sein.	Verbindungsklemmen können sich lockern oder korrodieren und rufen dann Störungen bis zu kleinen Lichtbögen hervor.
Leuchten	Die Befestigung auf brennbarer Unterlage ist bei Dreieck-Kennzeichnung der Leuchte zulässig, wenn Bauanweisungen des Herstellers eingehalten werden.	<b>Kennzeichnung der begrenzten Oberflächentemperatur</b> 
Endstromkreise	In TN- und TT-Systemen müssen RCDs mit $I_{AN} \leq 300$ mA eingesetzt sein und bei Brandgefahr RCDs mit $I_{AN} \leq 30$ mA.	Durch RCDs werden Isolationsfehler aufgespürt, die einen Fehlerstrom im PE oder zur Erde hervorrufen, nicht aber im Neutralleiter.
Lichtbogen-schutz	Trotz Leitungsschutzschalter und RCDs können in elektrischen Anlagen kleine Lichtbögen entstehen zwischen Außenleiter und Neutralleiter, z. B. durch Korrosion der Verbindungsklemmen.  Diese kleinen Lichtbögen rufen im TN-Netz Störungen hervor, durch die sie durch Filter und Verstärkung mittels AFDD (Arc Fault Detection Device) erkannt werden.	 <b>Serielle Fehlerlichtbögen</b>  <b>Parallele Fehlerlichtbögen</b>
Prinzip der Störlichtbogen-schutz-einrichtung	Diese Einrichtungen enthalten AFDDs, die einen Leitungsschutzschalter oder eine RCD (Fehlerstromschutzeinrichtung) oder eine RCBO (BO von Break Out, RCD mit Leitungsschutzschalter) ansteuern.	 <b>AFDD mit LS-Schalter</b>  <b>AFDD mit RCD</b>
Brandschutzschalter	Brandschutzschalter sind Kombinationen von AFDD mit Schutzschaltern zum Aufbringen auf die Hutschiene in einer Verteilung. Sie sollen nach DIN VDE 0100-420 in Anlagen mit Brandgefahr angewendet werden, z. B. in Betrieben der Holzverarbeitung, aber auch in Wohnungen mit Kinderzimmern und Schlafräumen.  Von den in Deutschland elektrisch hervorgerufenen Bränden gehen etwa 40 000 auf Installationsfehler zurück und davon etwa 30 % auf Störlichtbögen. Deshalb wurden von Siemens Brandschutzschalter entwickelt. <a href="http://www.siemens.com/low-medium-voltage">www.siemens.com/low-medium-voltage</a>	 <b>Brandschutzschalter</b>

Differenzstromschutzschalter RCD Residual current Protective Device RCD

Schaltung, Kennzeichnung

Erklärung

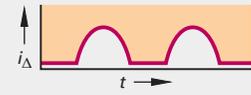
Ergänzung, Bemerkungen



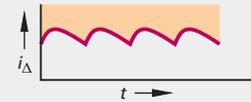
Summenstromwandler einer RCD vom Typ A

Differenzstromschutzschalter (nach Norm *Fehlerstromschutzschalter*) erfassen Fehlerströme in elektrischen Niederspannungs-Anlagen, die z. B. durch Isolationsfehler entstehen. Sie enthalten einen *Summenstromwandler*. Durch ihn werden alle Außenleiter L und der Neutralleiter N zu der Anlage geführt, nicht aber der Schutzleiter PE (**Bild links**).

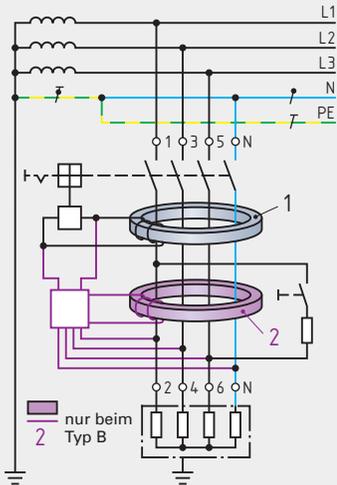
Der Summenstromwandler summiert die *Augenblickswerte* der Leiterströme, die zur Anlage hinein- oder herausfließen. Im fehlerfreien Zustand der Anlage ist die Summe gleich Null.



Pulsierender DC-Strom



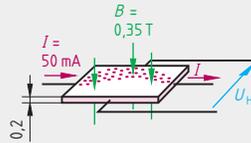
„Glatter“ DC-Strom



Aufbau einer RCD vom Typ B

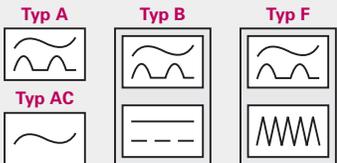
Fließt aber ein Teil des Stromes über Erde oder den PE zurück, so ruft der *Differenzstrom* ein magnetisches Wechselfeld hervor, das in der Wandlerwicklung Spannung erzeugt. Diese löst das Schaltschloss eines Schalters, der die Anlage abschaltet.

Geräte mit dem Eisenkern nur eines Summenstromwandlers sind vom Typ A (VDE 0100-530). Sie erfassen Wechselströme AC und pulsierende DC-Ströme (**Bild rechts**). Sollen auch „glatte“ DC-Ströme (**Bild rechts**) erfasst werden, so sind Geräte vom Typ B (VDE 0100-530) erforderlich. Bei diesen ist ein zweiter Eisenkern mit Hall-Generator (**Bild links**) vorhanden.



Halleffekt beim N-Leiter

selektiv **S**      kurzzeitverzögert **K**



Kennzeichnungen an RCDs

Bei „glatter“ DC-Fehlerstrom entsteht im zweiten Eisenkern ein magnetisches Gleichfeld, das von einem Hall-Generator erfasst wird. Dessen Ausgangsspannung wird über eine Elektronik verstärkt und als DC-Fehlerstrom ausgegeben und zum Abschalten verwendet.

Der Typ F entspricht dem Typ A, ist aber besonders für Stromkreise nach einphasigen Umrichtern geeignet. Der Typ AC erfasst nur Wechselströme und ist in Deutschland nicht zugelassen.

Hinweise

Differenzstromgeräte sind nur in AC-Netzen verwendbar, nicht in DC-Netzen.

Vom Speisepunkt aus gesehen dürfen Geräte vom Typ A nicht nach Geräten vom Typ B angeordnet werden, da sonst falsche Spannung bzw. Abschaltung.

Normströme  $I_{N}$ : 25 A, 40 A, 63

Normdifferenzströme  $I_{\Delta N}$ : (10 mA), 30 mA, 0,1 A, 0,3 A, 0,5 A (Klammerwert nicht bei Typ B)

Sonderformen:

**RCBO** RCD mit Overload Breaker = RCD mit LS-Schalter

**CBR** für  $I_N > 63$  A (Leistungsschalter mit RCU Fehlerstromauslöser)

A

## Normen Standards

Art	Erklärung	Beispiel
<b>Normbegriffe</b>		
Norm	Eine Norm ist das veröffentlichte Ergebnis einer Normungsarbeit. Angabe Jahr und Monat nach einem Doppelpunkt, z. B. :1999-12.	DIN 1302:1999-12
Entwurf	Vom Herausgeber der Norm zur Stellungnahme veröffentlichtes Ergebnis einer Normungsarbeit mit dem Hinweis, dass die Norm davon abweichen kann.	E DIN EN 1175-1 (Teil 1)
Vornorm	Ergebnis einer Normungsarbeit im Rang zwischen Entwurf und Norm, die aber bei Bedarf später abweichen kann.	DIN V VDE V 0664-420 (VDE V 0664-420)
Teil	Teil einer Norm, der als eigenes Druckwerk vom Herausgeber bezogen werden kann. Angabe des Teils nach -, z. B. -520.	DIN VDE 0100-520
Beiblatt	Ergänzung von meist mehreren Seiten zu einer Norm. Das Beiblatt kann als eigenes Druckwerk bezogen werden.	Beiblatt 1 zu DIN VDE 0100-520:2008-10
Anwendungsleitfaden	Leitfaden zur Handhabung einer Norm, der als eigenes Druckwerk bezogen werden kann. Angabe nach dem Teil, z. B. 3-10.	DIN IEC 60300-3-10: 2004-04
Hauptabschnitt	Teil einer Norm, der als eigenes Druckwerk bezogen werden kann. Angabe nach dem Teil 3, z. B. -3-4.	DIN IEC 60300-3-4:1999-04
Berichtigung	Änderung einer fehlerhaft herausgegebenen Norm, z. B. DIN EN 61547 Berichtigung 1 zu DIN EN 61547:2010-07 oder Berichtigung zu VDE 0875-15-2 Berichtigung 1:2010-07.	VDE 0875-15-2 Berichtigung 1:2010-7
<b>Arten der Normen nach Herausgeber</b>		
DIN-Norm	Deutsche Norm, die vom Deutschen Institut für Normung (DIN) herausgegeben wird, meist mit weiteren Normungszusätzen.	DIN 1301
EN-Norm	Europäische Norm, herausgegeben von CEN (Communauté Européenne de Normalisation), Brüssel.	EN 60300-1:2003
DIN-EN-Norm	Europäische Norm, deren Fassung den Status (Zustand) einer deutschen Norm erhalten hat. Herausgabe durch DIN.	DIN EN 60300-1:2004-02
IEC-Norm	Internationale Norm der International Electrotechnical Commission (IEC), vor allem aus dem Bereich Elektrotechnik.	IEC 60300-1:2003
DIN-IEC-Norm	Deutsche Norm, die fachlich unverändert aus der IEC-Norm übernommen ist.	DIN IEC 62271-4
ISO-Norm	Internationale Norm der International Standardization Organization (ISO), Genf, vor allem aus dem Bereich Maschinenbau.	ISO 1219-2:1995
DIN-ISO-Norm	ISO-Norm, die den Status einer DIN-Norm erhalten hat.	DIN ISO 1219-1:1996-3 (Teil 1 vom März 1996)
VDE-Bestimmung	Norm, erarbeitet vom Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE), z. B. Teil 520, Oktober 2008.	VDE 0100-520:2008-10
DIN-VDE-Norm	VDE-Bestimmung, welche den Status einer deutschen Norm erhalten hat.	DIN VDE 0100-520:2008-10
DIN-EN-Norm (VDE)	DIN-EN-Norm, die zugleich eine VDE-Bestimmung ist.	DIN EN 60079-18 (VDE 0170-9)
VDE-AR-N	VDE-Anwendungsregel für das Niederspannungsnetz. Vom VDE erarbeitete Arbeitsempfehlungen, beruhend auf VDE-Normen oder Normen mit VDE-Zuweisung.	VDE-AR-N 4105
VDI-Richtlinie	Empfehlungen des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI), die noch nicht genormt sind.	VDI 2229:1979-06
DIN-EN-ISO	Europäische Norm, die unverändert eine ISO-Norm wurde und deren deutsche Fassung eine DIN-Norm ist.	DIN EN ISO 4288:1998-04
ÖVE	Norm des Österreichischen Vereins für Elektrotechnik, Schreibweisen in Zusammensetzungen entsprechend VDE.	ÖVE/ÖNORM EN 8007: 2002-11
UL ANSI, NEMA	Standard von Underwriters Laboratories Incorporated (ein US-amerikanisches Normeninstitut). Weitere Standards der USA.	UL 508A