# Erste Hilfe

## Auffinden einer Person

### Grundsätze

Ruhe bewahren
Unfallstelle sichern
Eigene Sicherheit beachten

Person ggf. aus dem Gefahrenbereich retten

### Notruf

Wo ist der Notfall?
Warten auf Fragen, zum Beispiel:
Was ist geschehen?
Wie viele Verletzte/Erkrankte?
Welche Verletzungen/Erkrankungen?

**Bewusstsein prüfen**
laut ansprechen, anfassen, rütteln

**nicht vorhanden** → um Hilfe rufen

**Atmung prüfen**
Atemwege freimachen, Kopf nackenwärts beugen, Kinn anheben, sehen/hören/fühlen

**keine normale Atmung** → Notruf; AED* holen lassen

**30 x Herzdruckmassage**
Hände in Brustmitte
Drucktiefe 5 – 6 cm
Arbeitstempo 100 – 120/min

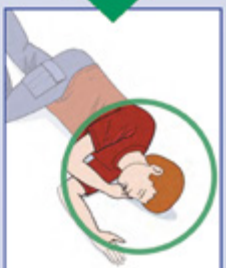
im Wechsel mit

**2 x Beatmung**
1 s lang Luft in Mund oder Nase einblasen

**vorhanden** →

**Situationsgerecht helfen**
z.B. Wunde versorgen

**normale Atmung** →



**Seitenlage**

Notruf

**Bewusstsein und Atmung überwachen**

| |
|---|
| Rettungsleitstelle (Notruf): |
| Ersthelfer/Ersthelferin: |
| Betriebssanitäter/ Betriebssanitäterin: |
| Erste-Hilfe-Material bei: |
| Erste-Hilfe-Raum: |
| Nächste erreichbare Ärzte/Ärztinnen: |
| Berufsgenossenschaftliche Durchgangsärzte/Durchgangsärztinnen: Info: www.dguv.de/landesverbaende |
| Nächstgelegenes Krankenhaus: |

**Lerne helfen – werde Ersthelfer/Ersthelferin**
Info: www.dguv.de/fb-erstehilfe

Meldung zur Ausbildung bei:

* Sofern verfügbar – den Anweisungen des „Automatisierten Externen Defibrillators" (AED) folgen.

DGUV Information 204-001 „Erste Hilfe", Ausgabe August 2017 • Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Glinkastraße 40, 10117 Berlin, www.dguv.de

EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Mechatronik

# Tabellenbuch Mechatronik

## Tabellen – Formeln – Normenanwendungen

12. neu bearbeitete und aktualisierte 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 Tabellenbuches Mechatronik

| | | |
|---|---|---|
| Heiner Bröker | Studienrat | Klein Berßen |
| Hartmut Fritsche | Dipl.-Ing. | Massen |
| Gregor Häberle | Dr.-Ing. | Tettnang |
| Konstantin Häberle | MSc EEIT, MSc Math | Zürich |
| Verena Häberle | MSc EEIT | Zürich |
| Thomas Helmer | Dr.-Ing. | Gomadingen |
| Rudolf Krall | Dipl.-Päd. Ing., Berufsschuloberlehrer | Gartenau-St. Leonhard |
| Bernd Schiemann | Dipl.-Ing., Studiendirektor | Durbach |
| Dietmar Schmid | Dipl.-Ing., Studiendirektor | Biberach a.d. Riß |
| Claudius Scholer | Dipl.-Ing., Dipl.-Gewerbelehrer, Studiendirektor | Metzingen |
| Matthias Schultheiß | Dipl.-Ing., Dipl.-Gewerbelehrer Studiendirektor | Biberach a.d. Riss |
| Thomas Urian | Meister der Elektrotechnik | Vilshofen |

Bildbearbeitung:
Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Leiter des Arbeitskreises:
Dr.-Ing. Gregor Häberle, Tettnang

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.

12. Auflage 2023

Druck 5 4 3 2 1

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

ISBN 978-3-7585-4188-9

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

© 2023 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: PER MEDIEN & MARKETING GmbH, 38102 Braunschweig, www.per-mm.de
Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
Umschlagfotos: **SIEMENS AG**, 80333 München
Druck: Himmer GmbH, 86167 Augsburg

| | | |
|---|---|---|
| Mathematik, Technische Physik | 9 ... 70 | M |
| Technische Kommunikation | 71 ... 130 | K |
| Chemie, Werkstoffe, Fertigung | 131 ... 210 | WF |
| Bauelemente, Messen, Steuern, Regeln | 211 ... 300 | BM |
| Elektrische Anlagen und Antriebe, mechatronische Systeme | 301 ... 430 | A |
| Digitalisierung, Informationstechnik | 431 ... 496 | D |
| Verbindungstechnik | 497 ... 542 | V |
| Betrieb und Umwelt | 543 ... 624 | B |

# Vorwort zur 12. Auflage

INDUSTRIE 4.0
Digitalisierung 5.0

Das Buch ist konzipiert für die handlungsorientierte Berufsbildung des Berufs *Mechatroniker* bzw. *Mechatronikerin*. Die Mechatronik unterliegt als Schlüsseltechnologie aus Elektrotechnik, Metalltechnik und Informationstechnik einem stetigen Wandel und unterstützt das Erfüllen der *Anforderungen von Digitalisierung* sowie *Industrie 4.0/5.0,* auch mit dem Ziel, dem *Klimawandel* entgegenzuwirken und einen Beitrag zum *Klimaschutz* zu liefern.

Dies führte zu neuen oder aktualisierten Seiten in den nachfolgend genannten Hauptabschnitten, verbunden mit der Berücksichtigung geänderter oder neuer Normen von DIN und VDE die Berufsbildung des Berufs Mechatroniker bzw. Mechatronikerin betreffend. Inhalte des Buches, die nicht mehr Bestandteil der Berufsbildung sind, wurden gelöscht. Auf **Prüfungsorientierung** bzgl. Buch-Inhalt und Sachwortverzeichnis wurde besonderer Wert gelegt.

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

  Neu sind z. B. Gleichungssysteme.
  Aktualisiert wurden z. B. viele Darstellungen von mathematischen und technisch physikalischen Formeln.

- **Teil K: Technische Kommunikation**

  Aktualisiert wurden Referenzkennzeichnung, Schaltpläne der Elektrotechnik, Pneumatik und Hydraulik, Fließbilder.

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

  Neu sind z. B. Übersicht von Werkstoffen, Schmierstoffen, Hauptnutzungszeiten beim Drehen, Fräsen, Schleifen.
  Erweitert wurden Werkstoffprüfung, Fertigungsverfahren.
  Aktualisiert wurden z. B. Leitungen in Datennetzen.

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

  Neu sind z. B. Arten von Aktoren, Überstromschutz in Steuerstromkreisen, Bode-Diagramm, Netzwerkkopplung mit LOGO!, SPS-Bausteine.
  Erweitert wurde Ablauf der SPS-Programmierung.
  Aktualisiert wurden z. B. Sensoren, SPS-Programmierung, Regelungstechnik.

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

  Neu sind z. B. Fehlerarten bei Motoren, Motorschutz, Transportsysteme, Pneumatikmotoren, Hydraulikmotoren, Wartungspläne für Maschinen und Anlagen, Energieeffizienz in der Produktion.
  Aktualisiert wurden z. B. Schutzmaßnahmen, Fehlerschutz, RCDs.

- **Teil D: Informationstechnik, Digitalisierung**

  Neu sind z. B. Künstliche Intelligenz, Prozessleittechnik, Sicherheitsmodule bei AS-i, Inbetriebnahme bei PROFINET.
  Aktualisiert wurden z. B. Digitalisierung, Komponenten für Datennetze, Datenspeicher, Betriebssysteme, Vernetzung von Sensoren und Aktoren, CNC-Programmierung.

- **Teil V: Verbindungstechnik**

  Aktualisiert wurden Steckverbinder, Schnittstellen, TAE-Anschlüsse.

- **Teil B: Betrieb und Umwelt**

  Neu sind z. B. Klimaschutz, Arbeitsschutzgesetz, Datenschutzgrundverordnung, Produktionsorganisation, Rechtsformen von Unternehmen.
  Aktualisiert wurden z. B. Gefährliche Stoffe, DIN VDE-Normen.

**Normänderungen** wurden übernommen, sodass diesem Buch die neuesten Ausgaben der DIN-Normen und VDE-Richtlinien (ab Redaktionsschluss) zu Grunde liegen.

Allgemein ist zu beachten, dass die Normen oft verschiedene Formen zulassen, z. B. in DIN EN 61082 (Dokumente der Elektrotechnik, Regeln) Stromverzweigungen mit oder ohne „Punkt“ oder mit Richtungsangabe des abgezweigten Leiters, ebenso die Angabe der Stromrichtung mit Pfeil neben der Leitung oder in der Leitung nach DIN EN 60375. Alle Formen kommen in der beruflichen Praxis vor und werden im Buch deshalb auch angewendet.

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

**Hinweis:** In **Formeln für Mechatroniker** sind die Formeln dieses Buchs abgedruckt, ergänzt um weitere Formeln. Die meisten Formeln sind dabei nach Größen umgestellt.

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

Frühjahr 2023 — Der Autoren-Arbeitskreis

# Inhaltsverzeichnis


Erste Hilfe bei Unfällen . . . . . U2

## Teil M: Mathematik, Technische Physik 9

Formelzeichen dieses Buches . . . . . 10
Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches . . . . . 11
Formelzeichen für drehende elektrische Maschinen 12
Größen und Einheiten . . . . . 13
Bruchrechnen, Vorzeichen, Klammern . . . . . 15
Klammerrechnung, Potenzieren . . . . . 16
Radizieren, Gleichungen . . . . . 17
Gleichungssysteme . . . . . 18
Zahlensysteme, Dualzahlen . . . . . 19
Dualzahlen, Sedezimalzahlen, Binärcodes . . . . . 20
Logarithmen, Zehnerpotenzen, Vorsätze, Prozentrechnung . . . . . 21
Übertragungsfaktoren, Logarithmisches Maß Dezibel . . . . . 22
Dreisatz, Mischungsrechnung . . . . . 23
Rechtwinkliges Dreieck . . . . . 24
Winkelfunktionen, Steigung . . . . . 25
Längen . . . . . 26
Flächen . . . . . 27
Flächen, Volumen, Oberflächen . . . . . 29
Volumen, Oberfläche, Masse . . . . . 31
Kräfte . . . . . 32
Drehmoment, Hebel, Fliehkraft . . . . . 33
Rollen, Keile, Winden, Schrauben . . . . . 34
Bewegungslehre . . . . . 35
Geschwindigkeiten an Maschinen . . . . . 36
Wärmetechnik . . . . . 37
Mechanische Arbeit, mechanische Leistung, Energie . . . . . 39
Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand . . . . . 40
Elektrische Leistung, elektrische Arbeit . . . . . 41
Elektrisches Feld, Kondensator . . . . . 42
Strom im Magnetfeld, Induktion . . . . . 44
Schaltungen von Widerständen . . . . . 45
Bezugspfeile, Kirchhoff'sche Regeln, Spannungsteiler . . . . . 46
Grundschaltungen von Induktivitäten und Kapazitäten . . . . . 47
Komplexe Rechnung für Grundschaltungen von *L* und *C* . . . . . 48
Schalten von Kondensatoren und Spulen . . . . . 49
Wechselgrößen, Oberschwingungen . . . . . 50
Zeigerdiagramme von Wechselstromgrößen . . . . . 51
Leistungen bei Sinuswechselstrom, Impuls . . . . . 52
Reihenschaltung, Parallelschaltung von *R, L, C* . . . . 53
Berechnungsformeln für Transformatoren . . . . . 55
Elektrischer Widerstand bei Temperaturänderung, Wärmewiderstand . . . . . 56
Drehstrom, Blindleistungskompensation . . . . . 57
Zahnradberechnungen . . . . . 58
Übersetzungen . . . . . 59
Reibung, Auftrieb . . . . . 60
Belastungsfälle, Beanspruchungsarten . . . . . 61
Abscherung, Knickung . . . . . 63
Biegung, Torsion . . . . . 64
Momente der Festigkeitslehre . . . . . 65
Momente von Profilen . . . . . 66
Druck in Flüssigkeiten und Gasen . . . . . 67
Pneumatikzylinder . . . . . 68
Berechnungen zur Hydraulik und Pneumatik . . . . . 69
Berechnungen zur Hydraulik . . . . . 70

## Teil K: Technische Kommunikation 71

Grafische Darstellung von Kennlinien . . . . . 72
Arten von Diagrammen . . . . . 73
Allgemeines technisches Zeichnen . . . . . 74
Zeichnerische Anordnung von Körpern . . . . . 75
Maßeintragung, Schraffur . . . . . 76
Maßpfeile, besondere Darstellungen . . . . . 77
Maßeintragung . . . . . 78
Toleranzen in Zeichnungen . . . . . 79
Geometrische Produktspezifikation . . . . . 80
Gewinde, Schraubenverbindungen, Zentrierbohrungen . . . . . 84
Getriebedarstellung . . . . . 85
Darstellung von Wälzlagern, Dichtungen . . . . . 86
Symbole für Schweißen und Löten . . . . . 88
Weitere mechanische Verbindungen, Federn . . . . . 89
Funktionsbezogene Schaltpläne . . . . . 90
Weitere funktionsbezogene Dokumente . . . . . 91
Ortsbezogene und verbindungsbezogene Dokumente . . . . . 92
Kennbuchstaben der Objekte (Betriebsmittel) in Schaltplänen . . . . . 93
Kennzeichnungen in Schaltplänen . . . . . 94
Kontaktkennzeichnung in Stromlaufplänen . . . . . 97
Stromkreise und Schaltzeichen . . . . . 98
Allgemeine Schaltzeichen . . . . . 99
Transformatoren, Spulen, drehende elektrische Maschinen . . . . . 100
Vergleich von Schaltzeichen . . . . . 101
Zusatzschaltzeichen, Schalter in Energieanlagen . . . 103
Messgeräte und Messinstrumente, Messkategorien 104
Halbleiterbauelemente . . . . . 105
Analoge Informationsverarbeitung, Zähler und Tarifschaltgeräte . . . . . 106
Binäre Elemente . . . . . 107
Schaltzeichen für Installationsschaltpläne und Installationspläne . . . . . 109
Schaltzeichen für Übersichtsschaltpläne . . . . . 110
Bildzeichen an elektrischen Betriebsmitteln . . . . . 111
Einphasenwechselstrommotoren und Anlasser . . . . 112
Drehstrommotoren und Anlasser . . . . . 113
Motoren mit Stromrichterspeisung . . . . . 114
Ablaufsteuerungen, GRAFCET . . . . . 115
Grundformen von Ablaufsteuerungen . . . . . 116
Elemente für Ablaufsteuerungen GRAFCET . . . . . 117

Ablauf-Funktionspläne . . . . . 119
Symbole zur Dokumentation in der Computertechnik . . . . . 120
Schaltzeichen der Pneumatik und Hydraulik . . . . . 121
Pneumatik Grundschaltungen . . . . . 123
Kennzeichnung von steuerungstechnischen Systemen . . . . . 124
Schaltpläne der Pneumatik und Hydraulik . . . . . 125
Fließbilder . . . . . 126
Beispiele von Fließbildern . . . . . 127
Symbole der Verfahrenstechnik . . . . . 128
Erstellen einer Dokumentation über Geräte und Anlagen . . . . . 129
Aufbau und Inhalt einer Betriebsanleitung . . . . . 130

## Teil WF: Chemie, Werkstoffe, Fertigung 131

Chemie . . . . . 132
Stoffwerte . . . . . 134
Übersicht von Werkstoffen . . . . . 136
Magnetwerkstoffe . . . . . 137
Bezeichnungssysteme für Stähle . . . . . 138
Stahl . . . . . 142
Stahlprofile . . . . . 145
Bezeichnungssysteme für Gusseisenwerkstoffe . . . 146
Gusseisen . . . . . 147
Nichteisenmetalle . . . . . 148
Aluminiumprofile . . . . . 151
Kunststoffe . . . . . 152
Kabel und Leitungen . . . . . 157
Isolierte Starkstromleitungen . . . . . 158
Starkstromleitungen . . . . . 159
Leitungen zum Anschluss ortsveränderlicher Betriebsmittel . . . . . 160
Leitungen und Kabel für Melde- und Signalanlagen 161
Leitungen in Datennetzen . . . . . 162
Kupferlitzenleiter der Informationstechnik . . . . . 163
Strahlenoptik . . . . . 164
Lichtwellenleitungen . . . . . 165
Trennklassen der Kommunikationsverkabelung . . . 166
Korrosion und Korrosionsschutz . . . . . 167
Lote und Flussmittel . . . . . 168
Druckflüssigkeiten . . . . . 169
Werkstoffprüfung . . . . . 170
Fertigungsverfahren . . . . . 173
Rapid Prototyping RP (3D-Druck) . . . . . 177
Wärmebehandlung von Stahl . . . . . 178
Montage und Demontage . . . . . 180
Ergonomie . . . . . 182
Schneidstoffe . . . . . 183
Drehzahlnomogramm . . . . . 184
Kräfte und Leistungen beim Zerspanen . . . . . 185
Bohren . . . . . 187
Reiben und Gewindebohren . . . . . 188
Drehen . . . . . 189
Drehwerkzeuge . . . . . 192
Fräsen . . . . . 193
Schleifen . . . . . 196
Spanende Formung der Kunststoffe . . . . . 198
Lehren . . . . . 199
Biegeumformen . . . . . 200
Schweißen . . . . . 201
Druckgasflaschen, Gasverbrauch . . . . . 203
Gasschweißen . . . . . 204
Schutzgasschweißen . . . . . 205
Lichtbogenschweißen . . . . . 207
Schmierstoffe . . . . . 209

## Teil BM: Bauelemente, Messen, Steuern, Regeln 211

Widerstände und Kondensatoren . . . . . 212
Batterien, Batteriezellen . . . . . 215
Von physikalischen Größen abhängige Halbleiter-Bauelemente . . . . . 216
Dioden . . . . . 217
Feldeffektransistoren FET, IGBTs . . . . . 218
Bipolare Transistoren und HEMT . . . . . 219
Thyristoren und Triggerdiode . . . . . 220
Fotoelektronische Bauelemente . . . . . 221
Bauelemente für Überspannungsschutz . . . . . 222
Grundlagen des Operationsverstärkers . . . . . 223
Elektrische Messgeräte . . . . . 225
Messen mit Multimeter . . . . . 226
Oszilloskop . . . . . 227
Messwerterfassung mit dem PC . . . . . 229
Leistungsmessgeräte . . . . . 232
Energieüberwachung in Smart-Grid-Anlagen . . . . . 234
Schaltungen zur Bestimmung von $U$, $I$ und $R$ . . . . . 235
Messwandler . . . . . 236
Sensoren . . . . . 237
Kraftmessung und Druckmessung . . . . . 238
Bewegungsmessung, Wegmessung, Winkelmessung . . . . . 239
Temperaturmessung . . . . . 241
Durchflusssensoren, Ultraschallsensoren, Radarsensoren . . . . . 242
Näherungsschalter (Sensoren) . . . . . 243
Smarte Sensorik und Aktorik, optoelektronische Sensoren . . . . . 245
Arten von Aktoren . . . . . 247
Elektromagnetische Schütze . . . . . 249
Gebrauchskategorien und Antriebe von Schützen . . 250
Vakuumschütze, Halbleiterschütze . . . . . 251
Hilfsstromkreise . . . . . 253
Überstromschutz für Steuerstromkreise . . . . . 254
Motorschutzschalter . . . . . 255
Polumschaltbare Drehstrommotoren . . . . . 256
Ausschaltung, Serienschaltung, Wechselschaltung, Kreuzschaltung . . . . . 258
Stromstoßschaltungen . . . . . 259
Dimmen . . . . . 260
Steuerung mittels Funk . . . . . 262
Elektroinstallation mit Funksteuerung von Lampen 263
Ausführung von Installationsschaltungen . . . . . 264

Steuerungs- und Regelungstechnik . . . . . 266
Analoge Regler . . . . . 268
Reglereinstellungen, Regelstrecken . . . . . 269
Bode-Diagramm . . . . . 271
Digitale Regelung . . . . . 272
Lageregelung bei Arbeitsmaschinen . . . . . 275
Logikmodul LOGO! . . . . . 276
Binäre Verknüpfungen der Steuerungs- und Regelungstechnik . . . . . 280
Speicherprogrammierbare Steuerung SPS . . . . . 281
TIA-Portal . . . . . 282
SPS-Programmierung (nach DIN EN 61131-3) . . . . . 286
Programmiersprachen, Strukturierter Text (ST), Ablaufsprache AS . . . . . 293
Regelung mittels SPS . . . . . 297

## Teil A: Elektrische Anlagen und Antriebe, mechatronische Systeme 301

Netze der Energietechnik . . . . . 302
Arbeiten in elektrischen Anlagen . . . . . 304
Messungen in elektrischen Anlagen . . . . . 305
Alphanumerische Kennzeichnung der Anschlüsse . 308
Schutzarten IP elektrischer Betriebsmittel, ENEC-Zeichen . . . . . 309
Elektronische Steuerungen von Verbrauchsmitteln . 311
Stromrichter, Gleichrichter . . . . . 312
Transformatoren der Energietechnik . . . . . 317
Regelung der Netzspannung . . . . . 319
Betriebsarten . . . . . 321
Isolierstoffklassen, Bemessungsleistungen . . . . . 322
Betriebsdaten von Käfigläufermotoren . . . . . 323
Bauformen von drehenden elektrischen Maschinen 324
Einphasen-Wechselstrommotoren . . . . . 326
Drehstrommotoren, Gleichstrommotoren . . . . . 327
Servomotoren . . . . . 330
Prüfung elektrischer Maschinen . . . . . 332
Schrittmotoren . . . . . 333
Kleinstantriebe . . . . . 334
Getriebe . . . . . 336
Linearantriebe . . . . . 337
Effizienz von elektrischen Antrieben . . . . . 341
Wahl des Antriebsmotors . . . . . 342
Fehlerarten bei Motoren, Motorschutz . . . . . 343
Anlassen von Kurzschlussläufermotoren . . . . . 345
Sanftanlasser . . . . . 346
Leitungsberechnung . . . . . 347
Verlegearten von Leitungen für feste Verlegung . . . 351
Strombelastbarkeiten . . . . . 352
Oberschwingungen OS . . . . . 357
Überlastschutz, Kurzschlussschutz, Leitungslängen 359
Mindest-Leiterquerschnitte, Leitungsschutzschalter 360
Niederspannungs-Schmelzsicherungen . . . . . 361
Überstrom-Schutzeinrichtungen für Geräte . . . . . 362
Schutz gegen thermische Auswirkungen . . . . . 364
Stromgefährdung, Berührungsarten, Fehlerarten . . 366
Schutzmaßnahmen, Schutzklassen . . . . . 368
Verteilungssysteme und Fehlerschutz mit Schutzleiter . . . . . 369
Basisschutz und Fehlerschutz . . . . . 370
Differenzstromschutzschalter RCD . . . . . 371
Differenzstromüberwachungsgerät RCM . . . . . 372
Prüfung der Schutzmaßnahmen . . . . . 376
Wiederkehrende Prüfungen . . . . . 378
Spezielle Niederspannungs-Anlagen . . . . . 379
Elektroinstallation in Unterrichtsräumen mit Experimentiereinrichtungen . . . . . 380
Stromversorgung elektronischer Geräte . . . . . 381
Sicherheits-Stromversorgungsanlagen . . . . . 383
Akkumulatorenräume . . . . . 385
Elektromagnetische Verträglichkeit EMV . . . . . 387
Schaltschrankaufbau . . . . . 389
Klimatisierung von Schaltschränken . . . . . 392
Instandsetzung, Änderung und Prüfung elektrischer Geräte . . . . . 393
Elektrische Ausrüstung von Maschinen . . . . . 394
Prüfung der elektrischen Ausrüstung von Maschinen . . . . . 396
Sicherheits-NOT-AUS-Relais . . . . . 397
Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen . . . . . 398
Mechatronische Systeme . . . . . 403
Funktionsdiagramme, Ablaufsteuerung . . . . . 405
Inbetriebnahme, Instandhaltung mechatronischer Systeme . . . . . 422

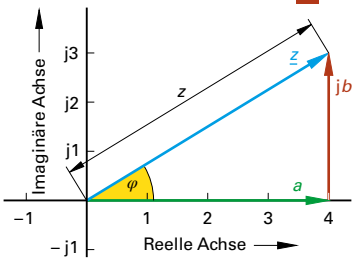
## Teil D: Digitalsierung, Informationstechnik 431

Digitalisierung und Industrie 4.0 . . . . . 432
Künstliche Intelligenz . . . . . 433
Internet . . . . . 434
Prozessleittechnik . . . . . 436
PLM, ERP, MES . . . . . 437
Begriffe der Computertechnik . . . . . 438
Binäre Verknüpfungen . . . . . 440
KV-Diagramme . . . . . 441
Code-Umsetzer . . . . . 442
ASCII-Code und Unicode . . . . . 443
Bistabile Kippschaltungen (Flipflops) . . . . . 444
Digitale Zähler und Schieberegister . . . . . 445
DA-Umsetzer und AD-Umsetzer . . . . . 446
Komparatoren, S & H-Schaltungen . . . . . 447
Halbleiterspeicher . . . . . 448
Mobile Datenspeicher . . . . . 449
Optische Speicher DVD, CD, Blu-ray . . . . . 450
PC-Hauptplatine und PC-Anschlüsse . . . . . 452
Betriebssysteme . . . . . 453
Windows-Tasten-Kürzel . . . . . 454
Arbeiten mit Excel . . . . . 455
Gefahren der Computersabotage . . . . . 456
Maßnahmen gegen Computerviren . . . . . 457
Industriespionage . . . . . 458
Datensicherung, Kopierschutz . . . . . 459
Netzformen der Informationstechnik . . . . . 460

# Komplexe Rechnung — Calculate with Complex Numbers

## Mathematische Grundlagen

Definition: $\sqrt{-1} = \mathrm{j}$ (1)




**Komplexe Zahlenebene** (siehe Seite 271)

Eine komplexe Zahl ist eine Zahl in der komplexen Zahlenebene. Für die Festlegung einer komplexen Zahl $\underline{z}$ sind zwei Angaben nötig. Entweder

a) Realteil $a$ und Imaginärteil $b$ oder

b) Betrag $z$ von $\underline{z}$ und der Winkel $\varphi$

$$\underline{z} = a + \mathrm{j}b \quad (2)$$

$$\underline{z} = z \cdot (\cos\varphi + \mathrm{j}\sin\varphi) \quad (3)$$

$$\underline{z} = z \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}\varphi} \quad (4)$$

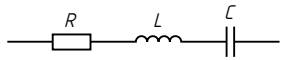
$$\mathrm{e}^{\mathrm{j}\varphi} = \cos\varphi + \mathrm{j}\sin\varphi \quad (5)$$

$$a = z \cdot \cos\varphi \quad (6)$$

$$b = z \cdot \sin\varphi \quad (7)$$

## Komplexe Berechnung des Scheinwiderstandes bei RLC-Schaltungen

**Reihenschaltung**




$$\underline{Z} = \underline{R} + \underline{X}_\mathrm{L} + \underline{X}_\mathrm{C} \quad (8)$$

$$\underline{X}_\mathrm{L} = \mathrm{j}\omega L \quad (9)$$

$$\underline{X}_\mathrm{C} = \frac{1}{\mathrm{j}\omega C} \quad (10)$$

$$\underline{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (12)$$

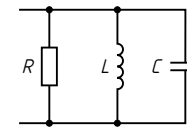
$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (13)$$

$$\varphi = \arctan \frac{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}{R} \quad (16)$$

$$\underline{Z} = Z \cdot (\cos\varphi + j\sin\varphi) \quad (17)$$

Bei Reihenschaltungen werden Widerstände addiert (siehe auch Seite 53).

**Parallelschaltung**




$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{R}} + \frac{1}{\underline{X}_\mathrm{L}} + \frac{1}{\underline{X}_\mathrm{C}} \quad (11)$$

$$\underline{Y} = \frac{1}{R} + \mathrm{j}\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \quad (14)$$

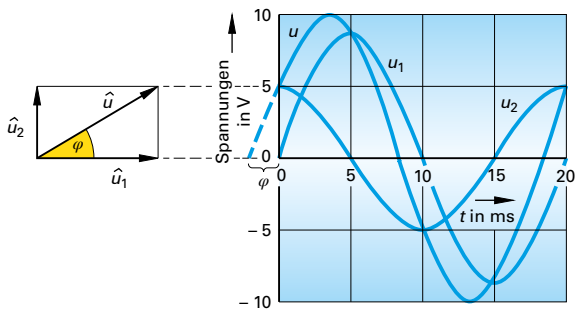
$$Y = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2} \quad (15)$$

$$\varphi = \arctan \frac{\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)}{G} \quad (18)$$

$$\underline{Y} = Y \cdot (\cos\varphi + j\sin\varphi) \quad (19)$$

Bei Parallelschaltungen werden Leitwerte addiert (siehe auch Seite 54).

## Komplexe Darstellung sinusförmiger Größen




**Zerlegen einer sinusförmigen Spannung** mit Nullphasenwinkel in Sinusschwingung und Kosinusschwingung.

$$u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (20)$$

$$u(t) = \hat{u}_1 \cdot \sin(\omega t) + \hat{u}_2 \cdot \cos(\omega t) \quad (21)$$

Mit Effektivwerten erhält man:

$$U_1 = U \cdot \cos\varphi \quad (22)$$

$$U_2 = U \cdot \sin\varphi \quad (23)$$

$$\underline{U} = U_1 + \mathrm{j}\,U_2 \quad (24)$$

$$\underline{U} = U \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}\varphi} \quad (25)$$

$$\underline{U} = U(\cos\varphi + \mathrm{j}\sin\varphi) \quad (26)$$

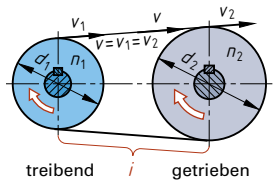
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\underline{z}$ | komplexe Zahl | $\mathrm{e}^{\mathrm{j}\varphi}$ | Einheitsvektor von $\underline{z}$ | $u$ | Wechselspannung |
| $z$ | Betrag von $\underline{z}$ | $\underline{Z}$ | komplexer Scheinwiderstand $Z$ | $u_1$ | Teilspannung 1 von $u$ |
| $a$ | Realteil von $\underline{z}$ | $\underline{Y}$ | komplexer Scheinleitwert $Y$ | $u_2$ | Teilspannung 2 von $u$ |
| $b$ | Imaginärteil von $\underline{z}$ | $\underline{X}_\mathrm{L}$, $\underline{X}_\mathrm{C}$ | komplexe Blindwiderstände | $U$, $U_1$, $U_2$ | Effektivwerte |
| $\varphi$ | Argument von $\underline{z}$ | $L$ | Induktivität | $\underline{U}$ | komplexer Effektivwert von $U$ |
| j | imaginäre Einheit | $C$ | Kapazität | $t$ | Zeit |
| e | Euler'sche Zahl (2,71828…) | $R$ | Wirkwiderstand ($\underline{R}$ komplex) | $\omega$ | Kreisfrequenz ($\omega = 2\pi f$) |

# Übersetzungen

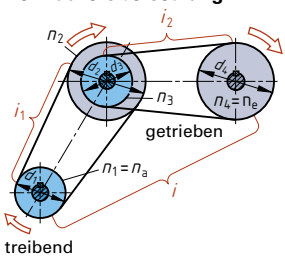
Transmissions

## Riementrieb

### einfache Übersetzung




### mehrfache Übersetzung




$d_1, d_3, d_5 \ldots$ Durchmesser } treibende Scheiben
$n_1, n_3, n_5 \ldots$ Drehzahlen

$d_2, d_4, d_6 \ldots$ Durchmesser } getriebene Scheiben
$n_2, n_4, n_6 \ldots$ Drehzahlen

$n_a$ Anfangsdrehzahl
$n_e$ Enddrehzahl
$i$ Gesamtübersetzungsverhältnis
$i_1, i_2, i_3 \ldots$ Einzelübersetzungsverhältnisse
$v, v_1, v_2$ Umfangsgeschwindigkeiten

**Beispiel:**
$n_1 = 600/\text{min}$; $n_2 = 400/\text{min}$;
$d_1 = 240$ mm; $i = ?$; $d_2 = ?$

$$\boldsymbol{i} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{600/\text{min}}{400/\text{min}} = \frac{1{,}5}{1} = \mathbf{1{,}5}$$

$$\boldsymbol{d_2} = \frac{n_1 \cdot d_1}{n_2} = \frac{600/\text{min} \cdot 240\ \text{mm}}{400/\text{min}} = \mathbf{360\ mm}$$

**Geschwindigkeit**

$$v = v_1 = v_2 \quad (1)$$

**Antriebsformel**

$$n_1 \cdot d_1 = n_2 \cdot d_2 \quad (2)$$

**Übersetzungsverhältnis**

$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{n_a}{n_e} \quad (3)$$

$$n_1 = \frac{n_2 \cdot n_a}{n_e} \qquad n_2 = \frac{n_1 \cdot n_e}{n_a}$$

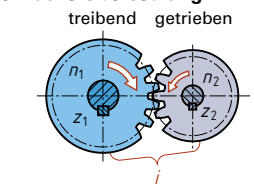
**Gesamtübersetzungsverhältnis**

$$i = \frac{d_2 \cdot d_4 \cdot d_6 \ldots}{d_1 \cdot d_3 \cdot d_5 \ldots} \quad (4)$$

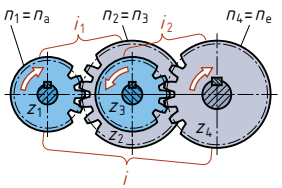
$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \ldots \quad (5)$$

## Zahnradtrieb

### einfache Übersetzung




### mehrfache Übersetzung




$z_1, z_3, z_5 \ldots$ Zähnezahlen } treibende Räder
$n_1, n_3, n_5 \ldots$ Drehzahlen

$z_2, z_4, z_6 \ldots$ Zähnezahlen } getriebene Räder
$n_2, n_4, n_6 \ldots$ Drehzahlen

$n_a$ Anfangsdrehzahl
$n_e$ Enddrehzahl
$i$ Gesamtübersetzungsverhältnis
$i_1, i_2, i_3 \ldots$ Einzelübersetzungsverhältnisse

**Beispiel:**
$i = 0{,}4$; $n_1 = 180/\text{min}$; $z_2 = 24$;
$n_2 = ?$; $z_1 = ?$

$$\boldsymbol{n_2} = \frac{n_1}{i} = \frac{180/\text{min}}{0{,}4} = \mathbf{450/min}$$

$$\boldsymbol{z_1} = \frac{n_2 \cdot z_2}{n_1} = \frac{450/\text{min} \cdot 24}{180/\text{min}} = \mathbf{60}$$

**Antriebsformel**

$$n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2 \quad (6)$$

**Übersetzungsverhältnis**

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{n_a}{n_e} \quad (7)$$

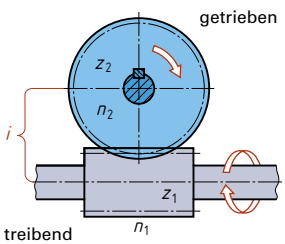
$$n_1 = \frac{n_2 \cdot n_a}{n_e} \qquad n_2 = \frac{n_1 \cdot n_e}{n_a}$$

**Gesamtübersetzungsverhältnis**

$$i = \frac{z_2 \cdot z_4 \cdot z_6 \ldots}{z_1 \cdot z_3 \cdot z_5 \ldots} \quad (8)$$

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \ldots \quad (9)$$

## Schneckentrieb




$z_1$ Zähnezahl (Gangzahl) der Schnecke
$n_1$ Drehzahl der Schnecke
$z_2$ Zähnezahl des Schneckenrades
$n_2$ Drehzahl des Schneckenrades
$i$ Übersetzungsverhältnis

**Beispiel:**
$i = 25$; $n_1 = 1500/\text{min}$; $z_1 = 3$; $n_2 = ?$

$$\boldsymbol{n_2} = \frac{n_1}{i} = \frac{1500/\text{min}}{25} = \mathbf{60/min}$$

**Antriebsformel**

$$n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2 \quad (10)$$

**Übersetzungsverhältnis**

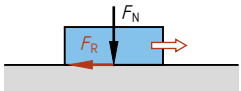
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (11)$$

$$n_1 = \frac{n_2 \cdot z_2}{z_1} \qquad n_2 = \frac{n_1 \cdot z_1}{z_2}$$

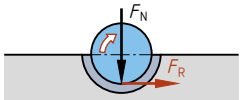
# Reibung, Auftrieb — Friction, Buoyancy

## Reibungskraft

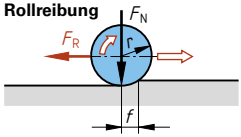
**Haftreibung, Gleitreibung**




**Haftreibung, Gleitreibung**




**Rollreibung**




$F_N$ Normalkraft
$F_R$ Reibungskraft
$\mu$ Reibungszahl
$f$ Rollreibungslänge
$r$ Radius des Rollkörpers

Die in Wälzlagern auftretende Reibung wird meist vereinfacht wie die Gleitreibung mit der Reibungszahl $\mu = f/r = 0{,}001$ bis $0{,}003$ berechnet.

**Beispiel 1:**
Gleitlager, $F_N = 100$ N; $\mu = 0{,}03$; $F_R = ?$

$$F_R = \mu \cdot F_N = 0{,}03 \cdot 100\ \text{N} = \mathbf{3\ N}$$

**Beispiel 2:**
Kranrad auf Stahlschiene, $F_N = 45$ kN; $d = 320$ mm; $f = 0{,}5$ mm; $F_R = ?$

$$F_R = \frac{f \cdot F_N}{r} = \frac{0{,}05\ \text{mm} \cdot 45\,000\ \text{N}}{160\ \text{mm}} = \mathbf{14{,}06\ N}$$

**Reibungskraft bei Haft- und Gleitreibung**

$$F_R = \mu \cdot F_N \quad (1)$$

$$F_N = \frac{F_R}{\mu}$$

**Reibungskraft bei Rollreibung**

$$F_R = \frac{f \cdot F_N}{r} \quad (2)$$

$$F_N = \frac{F_R \cdot r}{f}; \qquad f = \frac{F_R \cdot r}{F_N}$$

$$r = \frac{f \cdot F_N}{F_R}$$

$[F_R] = [F_N] = \text{N}$

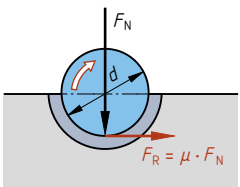
$[f] = [r] = \text{mm}$

## Reibungszahlen (Richtwerte)

| Werkstoffpaarung | Haftreibungszahl $\mu$ trocken | Haftreibungszahl $\mu$ geschmiert | Gleitreibungszahl $\mu$ trocken | Gleitreibungszahl $\mu$ geschmiert |
|---|---|---|---|---|
| Stahl auf Gusseisen | 0,2 | 0,15 | 0,18 | 0,1 bis 0,08 |
| Stahl auf Stahl | 0,2 | 0,1 | 0,15 | 0,1 bis 0,05 |
| Stahl auf Cu-Sn-Legierung | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,06 bis 0,03 |
| Stahl auf Pb-Sn-Legierung | 0,15 | 0,1 | 0,1 | 0,05 bis 0,03 |
| Stahl auf Polyamid | 0,3 | 0,15 | 0,3 | 0,12 bis 0,05 |
| Stahl auf Polytetrafluorethylen | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Stahl auf Eis | 0,03 | – | 0,015 | – |
| Stahl auf Reibbelag | 0,6 | 0,3 | 0,55 | 0,3 bis 0,2 |
| Stahl auf Holz | 0,55 | 0,1 | 0,35 | 0,05 |
| Gusseisen auf Cu-Sn-Legierung | 0,28 | 0,16 | 0,21 | 0,2 bis 0,1 |
| Treibriemen auf Gusseisen | 0,5 | – | – | – |
| Wälzlager | – | – | – | 0,003 bis 0,001 |

| Rollreibungslänge $f$ in mm | |
|---|---|
| Stahl auf Stahl, weich | 0,05 |
| Stahl auf Stahl, hart | 0,01 |
| Autoreifen auf Asphalt | 4,5 |

## Reibungsmoment und Reibungsleistung in Lagern




$M$ Reibungsmoment
$F_N$ Normalkraft
$P$ Reibungsleistung
$\mu$ Reibungszahl
$d$ Durchmesser
$n$ Drehzahl

**Beispiel:**
Stahlwelle in Cu-Sn-Gleitlager, $\mu = 0{,}05$; $F_N = 6$ kN; $d = 160$ mm; $M = ?$

$$M = \frac{\mu \cdot F_N \cdot d}{2} = \frac{0{,}05 \cdot 6000\ \text{N} \cdot 0{,}16\ \text{m}}{2} = \mathbf{24\ Nm}$$

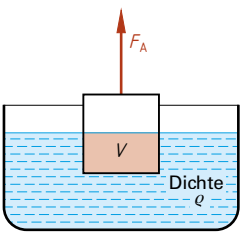
**Reibungsmoment**

$$M = \frac{\mu \cdot F_N \cdot d}{2} \quad (3)$$

**Reibungsleistung**

$$P = \mu \cdot F_N \cdot \pi \cdot d \cdot n \quad (4)$$

## Auftrieb in Flüssigkeiten




Dichtewerte Seite 134

$F_A$ Auftriebskraft
$\varrho$ Dichte der Flüssigkeit
$V$ Eintauchvolumen
$g$ Fallbeschleunigung, Ortskoeffizient

**Beispiel:**
Gießkern in flüssigem Gusseisen, $V = 2{,}5\ \text{m}^3$; $\varrho = 7{,}3\ \text{kg/dm}^3$; $F_A = ?$

$$F_A = g \cdot \varrho \cdot V = 9{,}81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 7{,}3\ \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 2{,}5\ \text{dm}^3$$

$$= 179\ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = \mathbf{179\ N}$$

**Auftriebskraft**

$$F_A = g \cdot \varrho \cdot V \quad (5)$$

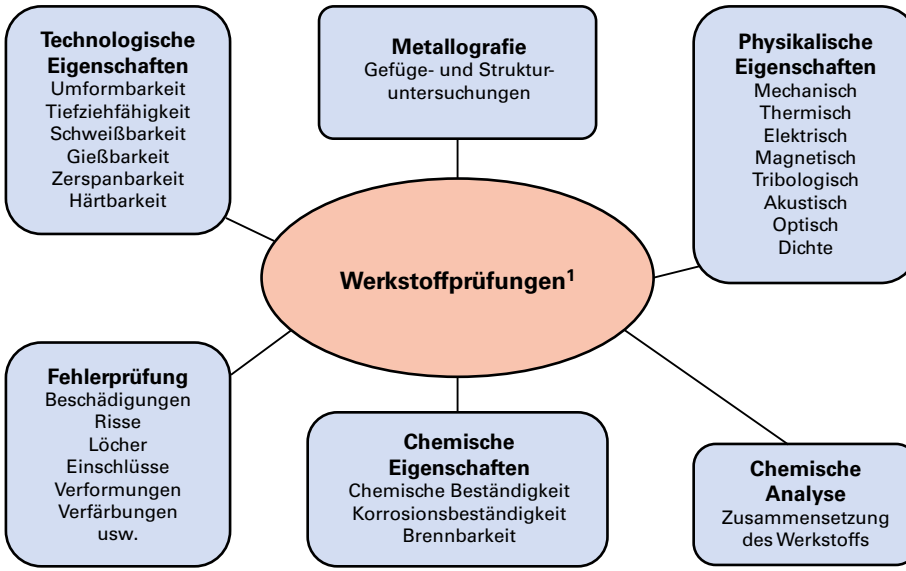
$$V = \frac{F_A}{g \cdot \varrho}$$

$$g = 9{,}81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 10\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$g = 9{,}81\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 10\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

(Für Mitteleuropa)

## Bereiche der Werkstoffprüfung




[1] Die Prüfungen bzw. Untersuchungen können teilweise auch an Halbfertig-/Fertigprodukten durchgeführt werden (Bauteilprüfung). Prüfverfahren sind sehr oft genormt, um die Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse sicher zu stellen. Grundsätzlich wird zwischen **zerstörender** und **zerstörungsfreier** Prüfung (ZfP) unterschieden.

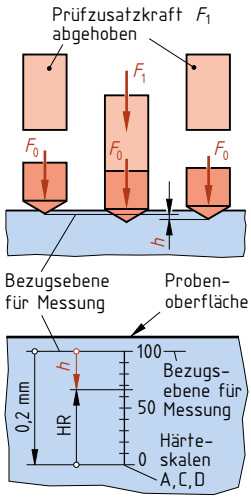
## Zerstörungsfreie Prüfverfahren

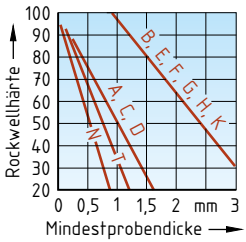
| Prüfart | Verfahren | Bemerkungen |
|---|---|---|
| Akustisch | Ultraschallprüfung, Schallemissionsprüfung, akustische Resonanzanalyse. | Risse, Poren, innere Defekte und Inhomogenitäten; Wanddickenmessung. |
| Optisch | Reflexionsmessung, Farbmessung, Spektroskopie, Laserinterferometrie, Interferenzmikroskopie. | Reflexionsverhalten (Glanz), Charakterisierung von Oberflächen, Schichtdickenmessung dünner Schichten. |
| Elektromagnetisch | Wirbelstromverfahren, Widerstandsmessung, Magnetpulververfahren, Magnetisierungsverfahren, Durchschlagsspannungsmessung, Mikrowellenprüfung. | Leitfähige bzw. ferromagnetische Materialien; elektrische und magnetische Eigenschaften; oberflächennahe Materialinhomogenitäten, Defekte, Risse. |
| Thermisch | Thermografie (Wärmebildkamera); Wärmeleitfähigkeitsmessung; Dilatometrie [2]. | Temperaturverlauf, Defekte, Risse; Wärmeleitung; Volumen-/Längenänderung. |
| (Farb-)Eindringverfahren | Kapillarverfahren, Saugverfahren, Penetrierverfahren. | Größere Fehler, die zur Oberfläche hin offen sind; insbesondere Risse, aber auch Poren, Bindefehler und Falten. |
| Durchstrahlung | Röntgen-, Gamma- oder Neutronenstrahlen; Computertomografie. | Materialfehler, Inhomogenitäten; Grob-, Feinstrukturuntersuchungen; Schweißnahtprüfung. |
| Sichtprüfung | Visuelle Kontrolle, evtl. mit Hilfsmitteln (z. B. Lupe, Mikroskop, Endoskop). | Oberflächendefekte, Verfärbungen, optische Beeinträchtigungen; qualitatives Verfahren (subjektiv); evtl. Vergleich mit Standards. |
| Sonstige | Dichtheitsprüfung, Vibrationsprüfung, Auftriebsmethode. | Prüfung des fertigen Bauteils. |

[2] Prüfprobe muss eine definierte Form besitzen; lat. dilatatio = Erweiterung.

## Härteprüfung nach Rockwell

vgl. DIN EN ISO 6508-1: 2016-12




**Zweck:** Härteprüfung für alle Metalle.

**Durchführung:** Ein Eindringkörper wird in 2 Stufen in die Probe gedrückt. Aus der bleibenden Eindringtiefe $h$ wird die Rockwellhärte abgeleitet.

$F_0$ Prüfvorkraft
$F_1$ Prüfzusatzkraft
$h$ bleibende Eindringtiefe in mm

**Beispiel** für die Angabe der Rockwellhärte:

| 65 | HR | C |
|---|---|---|
| **Härtewert** | **Prüfverfahren** | **Skale** |
| 65 | Rockwell | Skale C |

**Rockwellhärte HR für Skalen A, C**

$$HR = 100 - \frac{h}{0{,}002\ \text{mm}} \quad (1)$$

**Rockwellhärte HR für Skalen B, E, F, G, H, K**

$$HR = 130 - \frac{h}{0{,}002\ \text{mm}} \quad (2)$$

**Rockwellhärte HR für Skalen N und T**

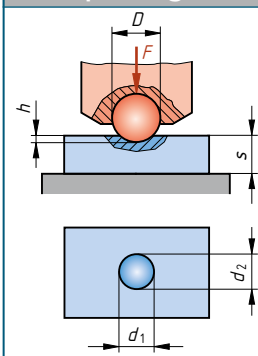
$$HR = 100 - \frac{h}{0{,}001\ \text{mm}} \quad (3)$$

**Skalen und Anwendungsbereiche der Härteprüfverfahren nach Rockwell**

| Skale | Härte | Eindringkörper | $F_0$ in N | $F_1$ in N | Anwendungsbereich |
|---|---|---|---|---|---|
| A<br>C<br>D | HRA<br>HRC<br>HRD | Diamantkegel Kegelwinkel 120° | 98<br>98<br>98 | 490,3<br>1373,0<br>882,6 | 20 bis 88 HRA<br>20 bis 70 HRC<br>40 bis 77 HRD |
| B<br>F<br>G | HRB<br>HRF<br>HRG | Stahlkugel ⌀ 1,5785 mm | 98<br>98<br>98 | 882,6<br>490,3<br>1373,0 | 20 bis 100 HRB<br>60 bis 100 HRF<br>30 bis 94 HRG |
| E<br>H<br>K | HRE<br>HRH<br>HRK | Stahlkugel ⌀ 3,175 mm | 98<br>98<br>98 | 882,6<br>490,3<br>1373,0 | 70 bis 100 HRE<br>80 bis 100 HRH<br>40 bis 100 HRK |
| 15N<br>30N<br>45N | HR15N<br>HR30N<br>HR45N | Diamantkegel Kegelwinkel 120° | 29,4<br>29,4<br>29,4 | 117,7<br>264,8<br>411,9 | 70 bis 94 HR15N<br>42 bis 86 HR30N<br>20 bis 77 HR45N |
| 15T<br>30T<br>45T | HR15T<br>HR30T<br>HR45T | Stahlkugel ⌀ 1,5785 mm | 29,4<br>29,4<br>29,4 | 117,7<br>264,8<br>411,9 | 67 bis 93 HR15T<br>29 bis 82 HR30T<br>1 bis 72 HR45T |

## Härteprüfung nach Brinell

vgl. DIN EN ISO 6506-1: 2015-02




**Eindruck der Kugel**

**Zweck:** Härteprüfung für alle Metalle, deren Brinellhärte 650 nicht überschreitet, z. B. für ungehärteten Stahl, Gusseisen und NE-Metalle.

**Durchführung:** Eine gehärtete Stahlkugel (bis HBS 350) oder Hartmetallkugel (bis HBW 650) mit dem Durchmesser $D$ wird mit einer genormten Prüfkraft $F$ in die Oberfläche einer Probe eingedrückt. Der Eindruckdurchmesser $d$ wird gemessen, der Härtewert HBS oder HBW berechnet oder Tabellen entnommen. Die Einwirkdauer beträgt meist 10 bis 15 s.

$F$ Prüfkraft
$D$ Kugeldurchmesser
$d$ Eindruckdurchmesser
$h$ Eindrucktiefe
$s$ Mindestdicke der Probe

**Eindruckdurchmesser**

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (4)$$

$$0{,}24 \cdot D \le d \le 0{,}6 \cdot D \quad (5)$$

**Mindestdicke**

$$s \ge 8 \cdot h \quad (6)$$

**Brinellhärte**

$$\left.\begin{matrix}\text{HBS}\\ \text{HBW}\end{matrix}\right\} = 0{,}102 \cdot \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (7)$$

**Beispiele** für die Angabe der Brinellhärte:

| 220 HB | S | 10 | / | 3000 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 600 HB | W | 1 | / | 30 | / | 25 |

| Härtewert | Art des Prüfkörpers | Kugeldurchmesser $D$ | Prüfkraft $F$ | Einwirkdauer |
|---|---|---|---|---|
| Brinellhärte 220<br>Brinellhärte 600 | S Stahlkugel<br>W Hartmetallkugel | 10 mm<br>1 mm | 3000 · 9,80665 N = 29420 N<br>30 · 9,80665 N = 294,2 N | ohne Angabe: 10 bis 15 s<br>Wertangabe: 25 s |

## Kennzeichnung der Schneidstoffe

Kennbuchstabe (Tabelle unten) — HC – K 20 N – M — zum Fräsen geeignet

- K: Zerspanungshauptgruppe P (BLAU) M (GELB) K (ROT)
- 20: Anwendungsgruppe
- N: Kennbuchstabe für Werkstoffe N NE-Metalle H Stahl, gehärtet S schwer spanbar

| | |
|---|---|
| HW | Unbeschichtetes Hartmetall, vorwiegend aus Wolframcarbid (WC) |
| HT | Unbeschichtetes Hartmetall, vorwiegend aus Titancarbid (TiC) oder Titnnitrid (TiN), Cermets genannt |
| HC | Beschichtetes Hartmetall (coated = beschichtet) |
| CA | Oxidkeramik, vorwiegend aus Aluminiumoxid ($Al_2O_3$) |
| CM | Mischkeramik, auf der Basis von Aluminiumoxid ($Al_2O_3$) und anderen oxidischen Bestandteilen |
| CN | Nitridkeramik, vorwiegend Siliciumnitrid ($Si_3N_4$) |
| CC | Beschichtete Schneidkeramik |
| DP | Polykristalliner Diamant (hochharter Schneidstoff) |
| BN | Kubisch kristallines Bornitrid (hochharter Schneidstoff) |

⇒ **HC-K40N-M:** Beschichtetes Hartmetall, Zerspanungs-Anwendungsgruppe K40, für Nichteisenmetalle, zum Fräsen geeignet

## Zerspanungs-Hauptgruppen und -Anwendungsgruppen

vgl. DIN ISO 513: 2014-05

| Hauptgruppe, Kennfarbe | Zerspanungs-Anwendungsgruppe: Kurzzeichen | Schneidstoffeigenschaften | Werkstoffe | Arbeitsverfahren und Schnittbedingungen | Spanungswerte |
|---|---|---|---|---|---|
| P BLAU | P01 | zunehmende Verschleißfestigkeit / zunehmende Zähigkeit | Stahl, Stahlguss | Feindrehen und Feinbohren mit hohen Schnittgeschwindigkeiten und kleinen Spanungsquerschnitten. | zunehmende Schnittgeschwindigkeit / zunehmende Schneidenbelastung |
| | P10 | | Stahl, Stahlguss, langspanender Temperguss | Drehen, Fräsen, Gewindeherstellung; hohe Schnittgeschwindigkeit bei kleinen bis mittleren Spanungsquerschnitten. | |
| | P20 | | Stahl, Stahlguss, langspanender Temperguss | Drehen, Kopierdrehen, Fräsen mit mittleren Schnittgeschwindigkeiten und mittleren Spanungsquerschnitten; Hobeln mit kleinem Vorschub. | |
| | P30 | | Stahl, Stahlguss mit Lunkern | Drehen, Hobeln und Stoßen mit niedrigen Schnittgeschwindigkeiten und großen Spanungsquerschnitten. | |
| | P40 | | Stahl, Stahlguss | Bearbeitung unter ungünstigen Spanungsbedingungen; große Spanwinkel möglich. | |
| M GELB | M10 | zunehmende Verschleißfestigkeit / zunehmende Zähigkeit | Stahl, Stahlguss, Gusseisen, Manganhartstahl | Drehen mit mittleren bis hohen Schnittgeschwindigkeiten und kleinen bis mittleren Spanungsquerschnitten. | zunehmende Schnittgeschwindigkeit / zunehmende Schneidenbelastung |
| | M20 | | Stahl, Stahlguss, Gusseisen, austenitischer Stahl | Drehen und Fräsen mit mittlerer Schnittgeschwindigkeit und mittlerem Spanungsquerschnitt. | |
| | M30 | | Stahl, Gusseisen, hochwarmfeste Legierungen | Drehen, Fräsen, Hobeln mit mittlerer Schnittgeschwindigkeit und mittleren bis großen Spanungsquerschnitten. | |
| | M40 | | Automatenstahl, Nichteisenmetalle, Leichtmetalle | Drehen, Abstechen, besonders auf Automaten. | |
| K ROT | K01 | zunehmende Verschleißfestigkeit / zunehmende Zähigkeit | hartes Gusseisen, Al-Si-Legierungen, Duroplaste | Drehen, Schäldrehen, Fräsen, Schaben. | zunehmende Schnittgeschwindigkeit / zunehmende Schneidenbelastung |
| | K10 | | Gusseisen HB ≥ 220, harter Stahl, Gestein, Keramik | Drehen, Fräsen, Bohren, Innendrehen, Räumen, Schaben. | |
| | K20 | | Gusseisen HB ≤ 220, NE-Metalle | Drehen, Fräsen, Hobeln, Innendrehen; wenn große Zähigkeit des Schneidstoffes erforderlich. | |
| | K30 | | Stahl, Gusseisen niedriger Härte | Drehen, Fräsen, Hobeln, Stoßen, Nutenfräsen; große Spanwinkel sind möglich. | |
| | K40 | | NE-Metalle, Holz | Bearbeitung mit großen Spanwinkeln. | |

# Reiben und Gewindebohren



## Schnittdaten für das Reiben mit Maschinenreibahlen aus Schnellarbeitsstahl[1]

| Werkstoffgruppe | Zugfestigkeit $R_m$ N/mm² | Härte HB | Schnittgeschwindigkeit $v_c$ in m/min | | Vorschub $f$ in mm je Umdrehung Werkzeugdurchmesser $d$ in mm | | | | | Reibzugabe für $d$ bis | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | unbeschichtet | TiN[2]-beschichtet | 2 … 3,15 | > 3,15 … 6,3 | > 6,3 … 12,5 | > 12,5 … 25 | > 25 … 50 | ≤ 20 mm | ≤ 50 mm |
| Unlegierte und legierte Stähle | ≤ 500 | ≤ 150 | 11 | 15 | 0,05 … 0,08 | 0,10 … 0,13 | 0,16 … 0,2 | 0,25 … 0,4 | 0,4 … 0,63 | 0,15 … 0,25 | 0,3 … 0,35 |
| Bau-, Einsatz-, Vergütungsstähle | > 500 … 850 | > 150 … 250 | 7 | 9 | 0,4 … 0,63 | 0,80 … 1,0 | 0,13 … 0,16 | 0,20 … 0,32 | 0,32 … 0,50 | | |
| Vergütungs- und Werkzeugstähle | > 850 … 1000 | > 250 … 300 | 4 | 7 | 0,4 … 0,63 | 0,80 … 1,0 | 0,13 … 0,16 | 0,20 … 0,32 | 0,32 … 0,50 | | |
| Gusseisen, Temperguss | –<br>– | ≤ 240<br>≤ 300 | 9<br>5 | 12<br>7 | 0,05 … 0,08 | 0,10 … 0,13 | 0,16 … 0,2 | 0,25 … 0,4 | 0,4 … 0,63 | | |
| Al-Knetlegierungen | ≤ 450 | – | 18 | – | 0,08 … 0,13 | 0,16 … 0,20 | 0,25 … 0,32 | 0,40 … 0,63 | 0,63 … 1,0 | 0,2 … 0,35 | 0,5 … 0,7 |
| Al-Gussleg. < 10 % Si | 170 … 280 | – | 13 | – | 0,063 … 0,10 | 0,13 … 0,16 | 0,20 … 0,25 | 0,32 … 0,50 | 0,50 … 0,80 | | |
| Cu-Zn-Legierung | ≤ 600 | – | 13 | 18 | | | | | | | |
| Thermoplaste | – | – | 12 | 14 | 0,1 … 0,16 | 0,2 … 0,25 | 0,32 … 0,40 | 0,50 … 0,8 | 0,8 … 1,25 | | |
| Duroplaste | – | – | 8 | 12 | | | | | | | |

## Schnittdaten für das Reiben mit Maschinenreibahlen aus Hartmetall[1]

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Unlegierte und legierte Stähle | ≤ 500 | ≤ 150 | 13 | | 0,08 … 0,13 | 0,16 … 0,2 | 0,25 … 0,32 | 0,4 … 0,63 | 0,63 … 1,0 | 0,15 … 0,25 | 0,3 … 0,35 |
| Einsatz- und Vergütungsstähle | > 500 … 1200 | > 360 … 550 | 8 | | 0,05 … 0,08 | 0,10 … 0,13 | 0,16 … 0,2 | 0,25 … 0,4 | 0,4 … 0,63 | | |
| Werkzeugstähle | 750 … 1000 | 220 … 300 | 8 | | 0,04 … 0,06 | 0,08 … 0,1 | 0,13 … 0,16 | 0,20 … 0,32 | 0,32 … 0,50 | | |
| Gusseisen, Temperguss | –<br>– | ≤ 240<br>≤ 300 | 10<br>8 | | 0,08 … 0,13 | 0,16 … 0,20 | 0,25 … 0,32 | 0,40 … 0,63 | 0,63 … 1,0 | | |
| Al-Knetlegierungen | ≤ 450 | – | 25 | | 0,1 … 0,16 | 0,2 … 0,25 | 0,32 … 0,40 | 0,50 … 0,8 | 0,8 … 1,25 | 0,2 … 0,3 | 0,4 … 0,5 |
| Al-Gussleg. < 10 % Si<br>> 10 % Si | 170 … 280<br>180 … 300 | –<br>– | 20<br>20 | | | | | | | | |
| Cu-Zn-Legierungen | ≤ 600 | – | 20 | | | | | | | | |
| Thermoplaste | – | – | 30 | | | | | | | | |
| Duroplaste | – | – | 30 | | | | | | | | |

## Schnittdaten für maschinelles Gewindebohren[1]

| Werkstoffgruppe | Zugfestigkeit $R_m$ N/mm² | Härte HB | Schnellarbeitsstahl Schnittgeschwindigkeit $v_c$ in m/min | | KSS[3] | Hartmetall Schnittgeschwindigkeit $v_c$ in m/min | | KSS[3] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | unbeschichtet | TiN[2]-beschichtet | | unbeschichtet | TiN[2]-beschichtet | |
| Unlegierte Stähle | ≤ 700 | ≤ 200 | 10 | 15 | E, S | 20 | 40 | E, S |
| | ≤ 850 | ≤ 250 | 11 | 15 | | 15 | 35 | |
| Legierte Stähle | ≤ 1200 | ≤ 350 | 6 | 8 | | 10 | 20 | S |
| Gusseisen | – | ≤ 150 | 10 | 15 | E, T, P | 30 | 60 | E, T |
| | – | > 150 | 6 | 8 | | 15 | 30 | |
| Cu-Zn-Legierungen | ≤ 550 | – | 10 | 15 | S, E | 35 | 70 | E |
| Al-Legierungen | ≤ 300 | – | 10 | 12 | E | 30 | 80 | |
| Thermoplaste | – | – | 20 | – | | 40 | 80 | E, T |
| Duroplaste | – | – | 8 | 15 | E, T | 20 | 50 | |

[1] Die Richtwerte für Schnittdaten müssen den jeweiligen Einsatzbedingungen angepasst werden. Die Hinweise der Werkzeughersteller sind zu beachten.

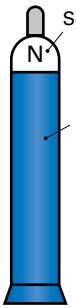
[2] TiN = Titannitrid [3] KSS = Kühlschmierstoffe: E Emulsion; T trocken; S Schneidöl; P Petroleum

# Druckgasflaschen, Gasverbrauch

## Compressed Gas Cylinders, Gas Consumption

## Druckgasflaschen

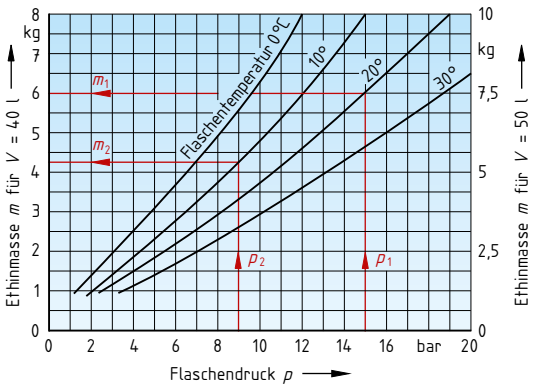
vgl. DIN EN 1089-3: 2011-10




| Gasart | Farbkennzeichnung nach DIN EN 1089-3 Mantel | Farbkennzeichnung nach DIN EN 1089-3 Schulter | Farbkennzeichnung bisher | Anschluss-gewinde | Volumen $V$ l | Fülldruck $p_F$ bar | Füll-menge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sauerstoff | blau | weiß | blau | R3/4 | 40<br>50 | 150<br>200 | 6 m³<br>10 m³ |
| Ethin (Acetylen) | kastanien-braun | kastanien-braun | gelb | Spannbügel | 40<br>50 | 19<br>19 | 8 kg<br>10 kg |
| Wasserstoff | rot | rot | rot | W21,80×1/14 | 10<br>50 | 200<br>200 | 2 m³<br>10 m³ |
| Argon | grau | dunkel-grün | grau | W21,80×1/14 | 10<br>50 | 200<br>200 | 2 m³<br>10 m³ |
| Helium | grau | braun | grau | W21,80×1/14 | 10<br>50 | 200<br>200 | 2 m³<br>10 m³ |
| Argon/$CO_2$-Gemisch | grau | leuchtend-grün | grau | W21,80×1/14 | 20<br>50 | 200<br>200 | 4 m³<br>10 m³ |
| Kohlenstoff-dioxid $CO_2$ | grau | grau | grau | W21,80×1/14 | 10<br>50 | 58<br>58 | 7,5 kg<br>20 kg |
| Stickstoff | grau | schwarz | dunkel-grün | W24,32×1/14 | 40<br>50 | 150<br>200 | 6 m³<br>10 m³ |

## Gasverbrauch

**m(p)-Diagramm von Ethinflaschen**




**Beispiel:** Ethinflasche $V = 40$ l, $p_1 = 15$ bar, $p_2 = 9$ bar, $t_1 = 20$ °C, $t_2 = 10$ °C; $m_1 = ?$; $m_2 = ?$; $\Delta m = ?$; $\Delta V = ?$

*Lösung:* Aus Schaubild: $\boldsymbol{m_1 = 6}$ **kg,** $\boldsymbol{m_2 = 4{,}3}$ **kg**

$\boldsymbol{\Delta m} = m_1 - m_2 = 6\text{ kg} - 4{,}3\text{ kg} = \mathbf{1{,}7\ kg}$

$\boldsymbol{\Delta V} = K \cdot \Delta m = 910\ \frac{\text{l}}{\text{kg}} \cdot 1{,}7\text{ kg} = \mathbf{1547\ l}$

$$p_2 = \frac{p_1 - \Delta V \cdot p_{amb}}{V}$$

$K = 910$ l/kg

Über $K$ wird die Ethinmasse (kg) in den Ethinverbrauch (l = Liter) umgerechnet.

Maximale Ethinentnahme bei Ethinflaschen mit $V = 40$ l und $V = 50$ l

| Schweiß-trieb | Entnahme in Liter/h bei 15 °C und 1 bar |
|---|---|
| kurzzeitig | 1000 |
| Einschicht-betrieb | 500 |
| Dauer-betrieb | 350 |

**Gasverbrauch** (Sauerstoff) bei konstanter Temperatur

$$\Delta V = \frac{V \cdot (p_1 - p_2)}{p_{amb}} \quad (1)$$

**Ethinverbrauch** bei 15 °C und 1 bar

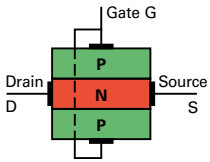
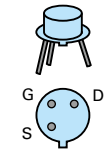
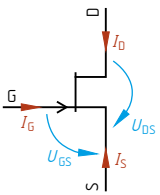
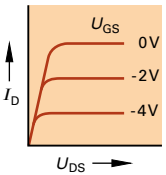
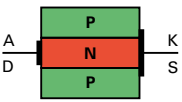
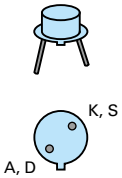
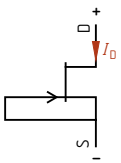
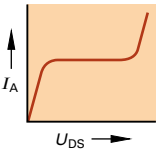
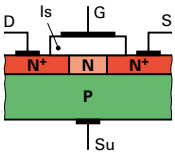
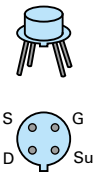
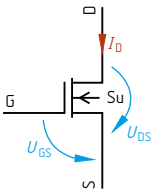
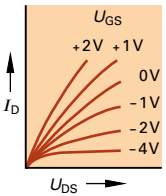
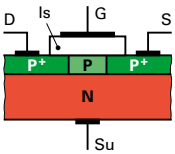
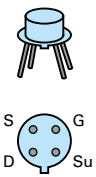
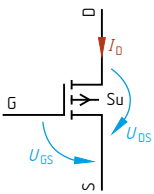
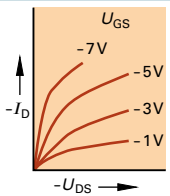
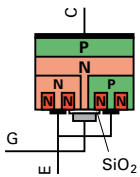
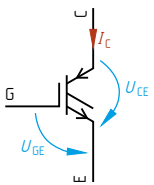
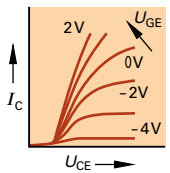
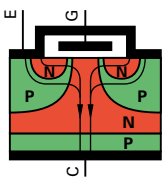
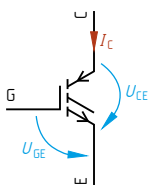
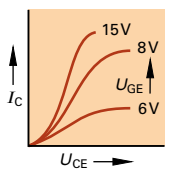
$$\Delta V = K \cdot \Delta m \quad (2)$$

**Verbrauchte Ethinmasse**

$$\Delta m = m_1 - m_2 \quad (3)$$

$V$ Volumen der Gasflasche
$\Delta V$ Gasverbrauch
$\Delta m$ Verbrauchte Gasmasse
$K$ Umrechnungskoeffizient 910 l/kg
$p_{amb}$ Atmosphärendruck, ca. 1 bar
$p_1$ Flaschendruck vor dem Schweißen
$p_2$ Flaschendruck nach dem Schweißen
$t_1$ Flaschentemperatur vor dem Schweißen
$t_2$ Flaschentemperatur nach dem Schweißen
$m_1$ Gasmasse vor dem Schweißen
$m_2$ Gasmasse nach dem Schweißen

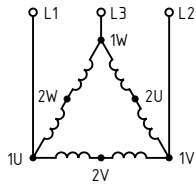
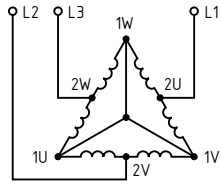
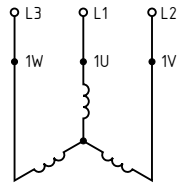
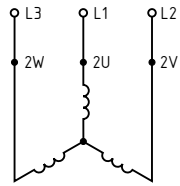
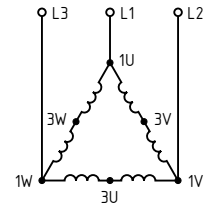
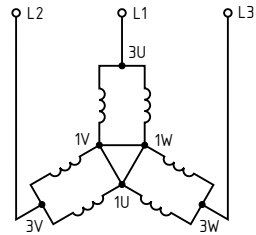
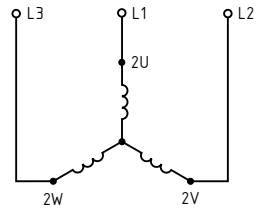
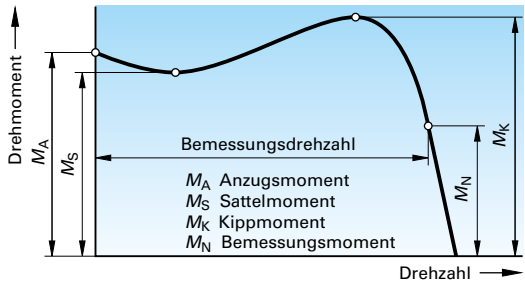
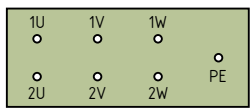
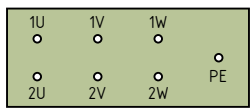
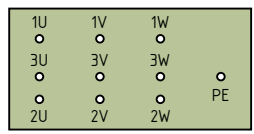
# Feldeffektransistoren FET, IGBTs — Field-effect Transistors FET, IGBTs

| Prinzip, Bezeichnung | Gehäuse (Beispiele) | Schaltzeichen, Bezugspfeile | Typische Kennlinie | Anwendung, Spezialformen |
|---|---|---|---|---|
|  <br>J-FET mit N-Kanal |  <br>statt SGD auch SDG |  |  | Verstärkerschaltungen, Analogschalter, Mikrofon-Vorverstärker, HF-Verstärker, Oszillatoren, Quarzoszillatoren, Mischstufen, Stellglieder bei Reglern. |
|  <br>J-FET als Strombegrenzer |  | Ersatzschaltung<br>  |  | Stabilisierung, Strombegrenzung. J von junction = Verbindung |
|  <br>Selbstleitender IG-FET mit N-Kanal |  |  |  | Verstärkerschaltungen, insbesondere für Eingangsstufen, HF-Verstärker, Regelglieder, Leistungsverstärker. Typische Grenzwerte für Leistungsverstärker: $U_{DS} = 50$ V, $U_{GS} = \pm 20$ V, $I_D = 25$ A, maximale Verlustleistung $P_{tot} = 75$ W. In Operationsverstärkern, in integrierten Schaltungen. |
|  <br>Selbstsperrender IG-FET mit P-Kanal |  |  |  | |
|  <br>Selbstleitender IGBT | z.B. TO 220<br> <br>etwa M 1:2 |  |  | IGBT von Insulated Gate Bipolar Transistor = Bipolarer Transistor mit isoliertem Gate. $U_{GE}$ von −4 V bis 2 V, $U_{CE} \leq 1600$ V, $I_C \leq 1$ kA, Frequenzen bis 20 kHz. In IGBT-Modulen sind oft Freilaufdioden oder Rückstromdioden enthalten. |
|  Selbstsperrender IGBT | TO Transistor Outline |  |  | $U_{GE}$ von 6 V bis 15 V, $U_{CE} \leq 6600$ V, $I_C \leq 3$ kA (IGBT-Module), Frequenzen bis 30 kHz. $U_{CE}$ Rückwärtsspannung (Sperrspannung) $I_C$ Vorwärtsstrom (Durchlassstrom) |

A Anode, C Kollektor, D Drain, E Emitter, G Gate, Is Isolierung mit $SiO_2$, K Katode, N N-dotiert, $N^+$ stark N-dotiert, P P-dotiert, $P^+$ stark P-dotiert, S Source, Su Substrat. Formelzeichen aus den Bildern erkennbar.

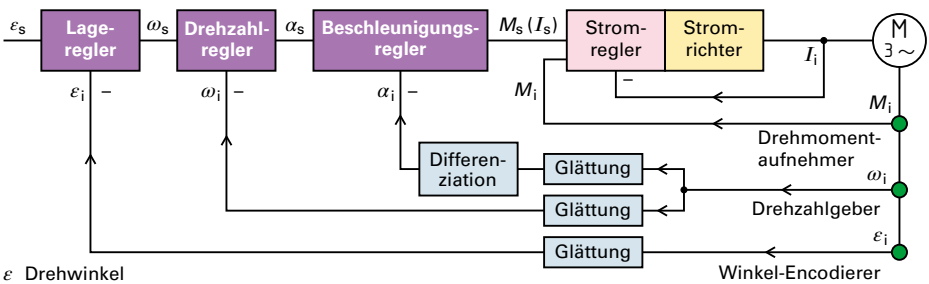
# Polumschaltbare Drehstrommotoren

Chance-Pole Motors

| Motorart | Dahlandermotor | Motor mit zwei getrennten Wicklungen und zwei Drehzahlen | Motor mit zwei getrennten Wicklungen und drei Drehzahlen |
|---|---|---|---|
| Anschluss für Rechtslauf |  △ : niedrige Drehzahl<br>  ⋎⋎ : hohe Drehzahl |  <br>  |  <br>  <br>  |
| Drehmomentkennlinie |  | | |
| Drehrichtungsumkehr | Durch Vertauschen von zwei der drei Anschlussleiter kehrt sich die Drehrichtung des Drehfeldes und damit die Läuferdrehrichtung um. | | |
| Anschlüsse am Motorklemmbrett |  |  |  |
| Eigenschaften der drei Asynchronmotoren | Dahlandermotoren können nur mit zwei Drehzahlen im Verhältnis 1 : 2 betrieben werden. Die Dahlanderschaltung erlaubt durch Halbieren der Polzahl eine Drehzahlverdoppelung. | Zwei getrennte Ständerwicklungen mit verschiedenen Polzahlen ermöglichen zwei Drehzahlen, die in einem beliebigen, ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen können. Nur die Wicklung mit der benötigten Drehzahl wird an die Betriebsspannung angeschlossen. | Zwei getrennte Ständerwicklungen mit verschiedenen Polzahlen ermöglichen drei Drehzahlen. Die Ständerwicklung mit den Anschlüssen 1U, 1V, 1W, 3U, 3V, 3W ist als Dahlanderwicklung ausgeführt und ermöglicht 2 Drehzahlen. Die Anschlüsse 2U, 2V, 2W gehören zur zweiten Wicklung mit der 3. Drehzahl. |
| Anwendungen | Werkzeugmaschinen (Dreh- und Fräsmaschinen) mit zwei Grunddrehzahlen (langsam- oder schnelllaufend), 2-stufige Lüfterantriebe. | Werkzeugmaschinen, Hub- und Fahrwerke, Maschinen für Großküchen, Transportbänder, Ständerbohrmaschinen. | Werkzeugmaschinen, Hub- und Fahrwerke, Maschinen für Großküchen, Transportbänder, Ständerbohrmaschinen. |

# Lageregelung bei Arbeitsmaschinen — Position Control for Work Machines

| Begriff | Erklärung | Bemerkungen |
|---|---|---|
| Lage-regelung | Mithilfe der Lageregelung sollen z.B. Werkstück und Werkzeug derart bewegt werden, dass bei Werkzeugeingriff die gewünschte Kontur im Werkstück entsteht. Die Vorschubbewegung und das Bewegen des Maschinentischs mit aufgespanntem Werkstück oder des Werkzeugs in eine vorgegebene Position erfolgt durch Eingabe von Lage-Sollwerten. | Eine Längsbewegung kann durch Antreiben der Vorschubspindel durch einen Motor (Servoantrieb) erfolgen. Leistungsmerkmale der Lageregelung sind<br>• exaktes Verfahren sehr kleiner und großer Wege,<br>• hohe Positioniergeschwindigkeit,<br>• hohe Einlaufgeschwindigkeit,<br>• großer Geschwindigkeitsstellbereich,<br>• überschwingungsfreies Einlaufen in die Zielposition. |
| Kaskaden-regelung | In der Kaskadenregelung können mehr Regelgrößen zurückgeführt werden als im einschleifigen Regelkreis. Das erlaubt ein genaueres Beschreiben des Zustands und damit ein Verbessern des dynamischen Verhaltens des Gesamtsystems. | Störungen werden z.T. bereits in den inneren Regelkreisen ausgeregelt. Die Regelkreise werden von innen (Stromregelkreis) nach außen (Lageregelkreis) eingestellt (unterlagerte Regelkreise).<br>Nachteil: zeitlicher Versatz der Wirkung der einzelnen Regelungen. |
| Lageregler | Meist ein P-Regler, der die Differenz (Schleppfehler) aus Lage-Sollwert und Lage-Istwert, z.B. des Maschinentischs, berechnet. Lage kann auch ein Drehwinkel eines Antriebs sein. | Die Lagedifferenz wird mit der einstellbaren Proportionalverstärkung multipliziert und stellt die Ausgangsgröße des Lagereglers dar. Sie ist die Eingangsgröße des Drehzahlreglers. |
| Drehzahl-regler | Meist ein PI-Regler, der die Differenz von Sollwert und Istwert der Drehzahl bzw. Winkelgeschwindigkeit des Motors berechnet. Ausgangsgröße Drehmoment-Sollwert ist bei Gleichstrommotoren dem Strom-Sollwert proportional. | Auch Geschwindigkeitsregler genannt.<br>Wegen des $I$-Anteils entsteht mit zunehmender Zeit ein zunehmender Strom-Sollwert, was zum Ansteuern des Stellers bzw. Umrichters führt. |
| Beschleu-nigungs-regler | Meist ein PI-Regler, der die Differenz von Beschleunigungs-Sollwert und Beschleunigungs-Istwert berechnet. Er soll das als Störgröße wirkende Lastmoment ausgleichen.<br>Nicht immer vorhanden. | Der Beschleunigungs-Istwert kann entweder direkt über einen externen Beschleunigungsaufnehmer (Drehmoment-Aufnehmer) an der Welle oder indirekt durch Differenziation der Drehzahl gewonnen werden. |
| Strom-regler, Dreh-moment-regler | Meist ein PI-Regler, der die Differenz von Strom-Sollwert und Strom-Istwert berechnet. Der Steller bzw. Umrichter wird damit angesteuert. Der Stromregler bei Drehfeldmotoren ist im Frequenzumrichter integriert. | Wegen der Proportionalität von Drehmoment und Strom bei Gleichstrommotoren wird hier auch von Drehmomentregelung gesprochen. Bei Drehstromantrieben wirkt der Stromregler auf Stromstärke und Phasenlage des Stroms. |
| Vor-steuerung | Steuert unterlagerte Regelkreise in der Weise, dass z.B. aus dem Verlauf der Lage-Sollwerte die theoretischen Drehzahl-Sollwerte berechnet und diese direkt dem Drehzahlregler zugeführt werden. Damit wird die zeitlich versetzte Wirkung der unterlagerten Regelkreise umgangen. | Eine Vorsteuerung ruft bei Lageregelungen einen kleineren Schleppfehler hervor als die reine Kaskadenregelung. Bei starken Änderungen im Verlauf der Lage-Sollwerte entstehen jedoch starke Schwingungen. |




$\varepsilon$ Drehwinkel
$\omega$ Winkelgeschwindigkeit
$\alpha$ Winkelbeschleunigung
$I$ Strom
$M$ Drehmoment
Index i Ist
Index s Soll

**Kaskadenregelung bei einer Werkzeugmaschine**

BM

## Anwendung bei SPS SIMATIC S7

| Begriff | Erklärung | Bemerkungen |
|---|---|---|
| Technologie-objekt | Die physikalischen Antriebe sind als Technologieobjekte derart abgebildet, dass ihre Eigenschaften über Parameterwerte eingestellt werden können. Technologieobjekte sind Datenbausteine (Technologie-Datenbausteine). | Technologieobjekte können Achsen (Drehzahlachse, Positionierachse, Gleichlaufachse), Nocken, Messtaster oder Geber (Messsystem) darstellen.<br>Die Technologieobjekte werden in einem Bereich innerhalb der SIMATIC-SPS angelegt und dort zusammen mit ihren Funktionen ausgeführt. Im SPS-Anwenderprogramm erfolgt deren Aktivierung. |
| Technologie-funktion | Technologiefunktionen werden auf Technologieobjekte angewendet und im Anwenderprogramm als Funktionsbausteine aufgerufen. Sie steuern auch z. B. die Frequenzumrichter SIMODRIVE, SINAMICS an. | Beispiele für Technologiefunktionen sind: Positionieren, Fahren auf Festanschlag, Drehzahlvorgabe, Vorschubvorgabe, Geschwindigkeitsvorgabe, Referenzpunkt anfahren. |
| Technologie-Daten-baustein (DB) | Die aktuellen Werte eines Technologieobjekts stehen im zugeordneten Technologie-Datenbaustein. Statusmeldungen und Fehlermeldungen, die sich während der Programmabarbeitung ergeben, werden ebenfalls in den Technologie-DB geschrieben. | Das Beschreiben der Technologie-DB erfolgt während der Ausführung der Technologiefunktionen nach Aktivierung im SPS-Anwenderprogramm. Im SPS-Anwenderprogramm werden die Zustandsmeldungen und Fehlermeldungen der Technologie-DB ausgewertet. |
| Projektieren | Mit dem SIMATIC-Manager bzw. dem TIA-Portal wird ein Projekt angelegt, d. h. eine Ordnerstruktur, welche den gewünschten Hardwareaufbau (Baugruppen) wiedergibt. | Über den PROFIBUS, PROFINET erfolgt die Kommunikation zwischen SPS und dem Frequenzumrichter für den Antriebsmotor, z. B. SIMODRIVE. |
| Konfigurieren<br>Schnittstellen | Ferner werden die Schnittstellen, z. B. zum PROFIBUS, PROFINET in Abhängigkeit der gewünschten Antriebstechnik sowie die Achsen, Nocken, Messtaster oder Geber konfiguriert und Anpassungen bzgl. der zu bewegenden Mechanik vorgenommen. | Das Konfigurieren (Anpassen) der Technologieobjekte umfasst z. B. die Art des Antriebs und des Motors mit Nenndrehzahl, die Zuordnung des passenden Gebers inkl. Datentelegramm und Adresse, die Eingabe von Spindelsteigung und Übersetzungsverhältnissen, das Festlegen von Geschwindigkeitsprofilen, Endschalterpositionen, Reglereinstellungen und Achsen-Nullpunkten. |
| Auswahlfelder | Auswahlfelder stehen in den Bediendialogen zur Verfügung.<br>www.siemens.com | Auf Konsistenz (Gleichheit) der eingegebenen Daten in unterschiedlichen Bediendialogen ist zu achten. |
| Programmieren | Neben dem zyklischen Bearbeiten der unterschiedlichen Organisationsbausteine erfolgt auch das Aktualisieren der Technologie-DB zyklisch. Hierzu können verschiedene Systemtakte genutzt werden.<br>Im SPS-Anwenderprogramm sind folgende Schritte umzusetzen:<br>• Aktivierung der Technologieobjekte über die Technologiefunktionen.<br>• Zustand, Fehler der Technologieobjekte/Technologiefunktionen abfragen und auswerten. | Auswertung einer Fehlermeldung aus Funktionsbaustein (BIE-Bit, Binärergebnis-Bit) ist im SPS-Anwenderprogramm möglich.<br>`CALL "MC_Power", "MCP_DB401"`<br>`Axis : = 1`<br>`Enable : = #FREI2`<br>`Mode : = 0`<br>`StopMode : = 0`<br>`Status : = #Status2`<br>`Busy : = #StatusB2`<br>`Error : = #FEHLER`<br>`ErrorID : = #F-Kenn`<br>**Aufruf FB**<br>**Übergabe Parameterwerte**<br>`UN BIE`<br>`= "ACHSE2"`<br>**Auswertung Fehlermeldung**<br>**Aufruf eines Technologie-Funktionsbausteins im SPS-Anwenderprogramm** |
| Überprüfen | Das Überprüfen der Ausgabemeldungen erfolgt im Anschluss an den Aufruf der Technologie-Funktionsbausteine im SPS-Anwenderprogramm. | |

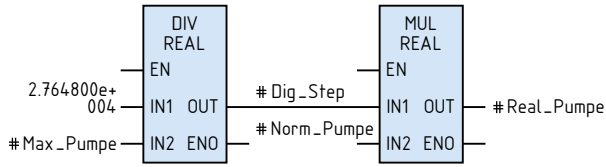
## Auswahl von Technologie-Funktionsbausteinen

| | | | |
|---|---|---|---|
| FB 401 | MC_Power; Achse freigeben, sperren | FB 414 | MC_MoveVelocity; Fahren mit Drehzahlvorgabe |
| FB 403 | MC_Home; Achse referenzieren | FB 432 | MC_ExternalEncoder; externen Geber freigeben, sperren |
| FB 405 | MC_Halt; Normalhalt | FB 433 | MC_MeasuringInput; Messtaster |
| FB 410 | MC_MoveAbsolute; absolut positionieren | FB 437 | MC_SetTorqueLimit; Drehmomentbegrenzung aktivieren/deaktivieren |
| FB 411 | MC_MoveRelative; relativ positionieren | | |

| Merkmal | Darstellungen, Bemerkungen |
|---|---|

## Stellgröße skalieren (Fortsetzung)

Der erste Schritt ist die Berechnung der digitalen Teilung des Wertebereichs der Pumpe (10 V) auf 27648. Danach folgt die Multiplikation der Teilung mit dem normierten Stellsignal für die Pumpe. Die Funktion DIV REAL dividiert den Inhalt des Registers IN1 durch den Inhalt des Registers IN2. Die digitale Teilung je 1 V wird mit dem normierten Stellsignal multipliziert.

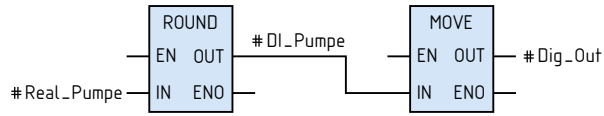



**Berechnung des digitalen Wertes der Stellgröße**

Letzter Schritt ist die Umwandlung vom Datentyp Real nach Datentyp Word. Das hier verwendete Analog-Ausgabemodul erfordert Daten, die im Datentyp Word vorliegen.

Die Funktion ROUND trennt die Stellen hinter dem Komma ab und erzeugt einen Wert vom Datentyp Double Integer.

Die Funktion MOVE entfernt das Vorzeichen und erzeugt einen Wert vom Datentyp WORD.

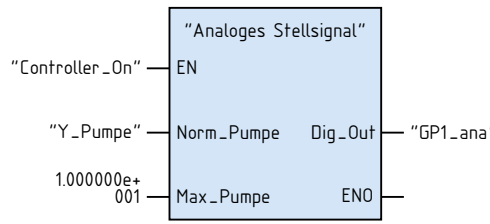



**Zuweisung des digitalen Wertes zum Datentyp Word**

Aufgerufen wird die Funktion FC2 im Organisationsbaustein OB1. Am Eingang Max_Pumpe wird das maximale Stellsignal für die Pumpe eingetragen. Es beträgt 10 V.

Den Wert für den Eingang Norm_Pumpe liefert die Funktion FC3 "P-Regler" mit Y-Pumpe .

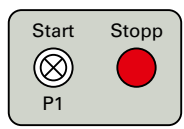
Die Funktion FC2 "Analoges Stellsignal" hat zwei Eingangsgrößen (Norm_Pumpe und Max_Pumpe). Ausgang Dig_Out liefert den Wert für das Analog-Ausgabemodul der SPS, welches einen Digital-Analog-Umsetzer (DAU) enthält.




**Funktionsaufruf FC2 „Analoges Stellsignal"**

## Steuerung des Prozesses

Nachdem die Regelungsaufgabe gelöst ist, muss die Steuerung ein Bedienen der Anlage ermöglichen. Das Blinken der Startleuchte P1 zeigt an, dass die Anlage im Zustand *Bereit* ist. Der Bediener startet den Prozess mit dem Betätigen des Tasters Start.



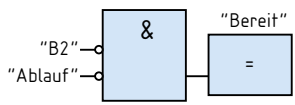

**Bedienfeld**

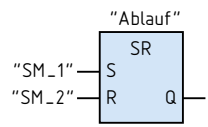
P1 leuchtet und zeigt an, dass die Anlage im Zustand Ablauf ist. Die Pumpe GP1 fördert das Medium in den Tank 2. Mit Druck auf die Taste Stopp stoppt der Förderprozess. Das Kugelhahnventil QM1 öffnet und das Medium fließt zurück in den Tank 2.

Die Anlage befindet sich im Zustand *Bereit*, wenn der untere Schwimmschalter B2 im Tank 2 nicht betätigt ist und der Merker Ablauf nicht gesetzt ist.

Der erste Schritt (SM_1) der Ablaufkette setzt den Merker Ablauf und der zweite und auch letzte Schritt (SM_2) setzt ihn wieder zurück.

SM_1 aktiviert auch den Reglerbaustein "P-Regler".




**Zwei Zustandsmerker: Bereit und Ablauf**

BM

# Benennung von Stromrichtern — Identification Codes for Converters

## Kennzeichen der Grundschaltungen

vgl. DIN IEC 60971

| Kennzeichnung | Bedeutung |
|---|---|
| E | Einwegschaltung mit einzelnem Hauptzweig |
| M | Mittelpunktschaltung |
| B | Brückenschaltung |
| D | Verdopplerschaltung |
| V | Vervielfacherschaltung |
| W | Wechselwegschaltung |

| Kennzeichnung | Bedeutung |
|---|---|
| Pulszahl *p* (*p* = 1,2, 3, 6) | *p*-Puls-Mittelpunktschaltung |
| | *p*-Puls-Brückenschaltung |
| | Zweipuls-Verdopplerschaltung |
| | *p*-Puls-Vervielfacherschaltung |
| Phasenzahl *m* | *m*-Phasen-Wechselwegschaltung |
| | *m*-Phasen-Polygonschaltung |

**Beispiel Bezeichnung von Gleichrichterschaltungen:**

B 6 H K → Brückenschaltung, Pulszahl 6, katodenseitig halbgesteuert

## Ergänzende Kennzeichen

| | |
|---|---|
| A | anodenseitig gesteuert |
| C | vollgesteuerte Schaltung |
| D | Polygonschaltung, z. B. Dreieck |
| F | Freilaufzweig |
| FC | gesteuerter Freilaufzweig |
| G | Hauptzweig in Polygonschaltung |
| H | halb gesteuerte Schaltung |
| HA | anodenseitig halb gesteuert |
| HK | katodenseitig halb gesteuert |
| HZ | im Zweigpaar halb gesteuerte Zweipuls-Brückenschaltung |
| I | Gegenparallelschaltung (I von invers) |
| K | katodenseitig gesteuert |
| L | Zweigpaar in Zweiwegschaltungen |
| N | Sternschaltung mit Neutralleiteranschluss |

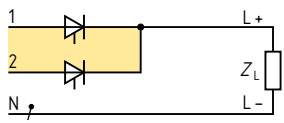
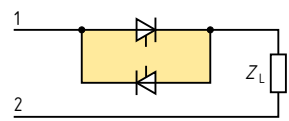
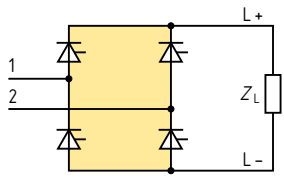
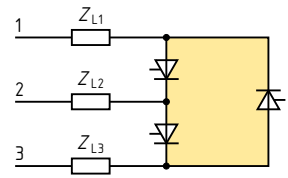
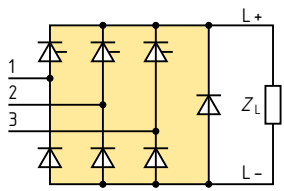
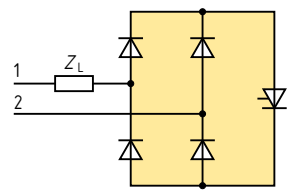
| | |
|---|---|
| P | Parallelschaltung |
| Q | Löschzweig |
| R | Rücklaufzweig |
| S | Reihenschaltung |
| U | ungesteuerte Schaltung |
| Y | Sternschaltung ohne Neutralleiteranschluss |
| + | Verbindungszeichen für mehrere Grundschaltungen oder Sätze |

**Beispiel Kennzeichnung Gleichrichter-Bauelement:**

B 250 C 1000 → Brückenschaltung, 250 V Anschlussspannung, C geeignet für Kondensatorlast (auch B Batterie, M Gleichstrommaschine, Li Lichtbogenschweißeinrichtung), max. Stromaufnahme 1000 mA.

Gleichrichter-Bauelemente sind den Schaltungen aus Einzel-Bauelementen zu bevorzugen.

## Benennungsbeispiele

| Benennung, Kennzeichen | Schaltung | Benennung, Kennzeichen | Schaltung |
|---|---|---|---|
| **Zweipuls-Mittelpunkt-schaltung** M2CK oder M2C oder M2K oder M2 |   | **Einphasen-Wechselweg-schaltung** W1C oder W1 |   |
| **Zweipuls-Brücken-schaltung** vollgesteuert B2C oder B2 |   | **Dreiphasen-Polygon-schaltung** G3C-3D oder G3-3D |   |
| **Sechspuls-Brücken-schaltung** halbgesteuert mit Freilauf-diode B6HKF oder B6HF oder B6KF oder B6F oder B6 |   | **Zweipuls-Brücken-schaltung** mit steuerbarem Kurzschluss-zweig B2U + E1C |   |

In Niederspannungsanlagen werden anstelle der Thyristoren IGBTs eingesetzt.

# 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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Drehstrommotoren S1** bei 50 Hz/400 V, nicht polumschaltbar, IP55, Oberflächenkühlung | | | | | | | | | | |
| **Drehfelddrehzahl $n_s$ = 3000/min** | | | | | | | | | | |
| 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 |
| 80M | 1,1 | 2885 | 2,26 | 3,64 | 82,6 | 0,85 | 7,1 | 3,0 | 2,3 | 11 |
| 90S | 1,5 | 2920 | 3 | 4,91 | 83,9 | 0,86 | 8,1 | 2,7 | 2,4 | 13 |
| 90L | 2,2 | 2920 | 4,2 | 7,19 | 85,9 | 0,88 | 8,2 | 2,7 | 2,6 | 16 |
| 100L | 3 | 2920 | 5,65 | 9,81 | 87,1 | 0,88 | 8,1 | 3,2 | 2,6 | 26 |
| 112M | 4 | 2955 | 7,4 | 12,9 | 87,7 | 0,89 | 8,0 | 2,9 | 2,8 | 34 |
| 132S | 5,5 | 2950 | 9,9 | 17,8 | 89,1 | 0,9 | 7,3 | 2,4 | 2,6 | 43 |
| 132M | 7,5 | 2950 | 13,1 | 24,3 | 89,8 | 0,92 | 8,3 | 2,7 | 2,6 | 57 |
| 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 |
| **Drehfelddrehzahl $n_s$ = 1500/min** | | | | | | | | | | |
| 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 |
| 80M | 0,75 | 1455 | 1,73 | 4,92 | 82,3 | 0,76 | 6,8 | 2,6 | 2,1 | 11 |
| 90S | 1,1 | 1445 | 2,4 | 7,27 | 83,7 | 0,79 | 7,2 | 2,7 | 2,2 | 13 |
| 90L | 1,5 | 1445 | 3,18 | 9,91 | 85,1 | 0,8 | 7,7 | 2,8 | 2,2 | 16 |
| 100L | 3 | 1460 | 5,9 | 19,6 | 88,4 | 0,83 | 8,3 | 2,5 | 2,5 | 30 |
| 112M | 4 | 1460 | 7,9 | 26,2 | 89,1 | 0,82 | 7,1 | 2,4 | 2,6 | 34 |
| 132S | 5,5 | 1475 | 10,5 | 35,6 | 90,0 | 0,84 | 8,2 | 2,8 | 2,3 | 64 |
| 132M | 7,5 | 1465 | 14,3 | 48,9 | 90,1 | 0,84 | 8,2 | 2,6 | 2,7 | 74 |
| 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 |
| **Polumschaltbare Drehstrommotoren in Dahlanderschaltung** $n_s$ = 1500/min bzw. 3000/min | | | | | | | | | | |
| 71 | 0,37 | 1370 | 1,2 | 2,6 | 61,8 | 0,72 | 3,2 | 1,6 | 2,0 | 5,0 |
| | 0,55 | 2760 | 1,7 | 1,9 | 63,1 | 0,74 | 3,3 | 1,7 | 2,0 | |
| 80 | 0,55 | 1400 | 1,6 | 3,8 | 66,1 | 0,75 | 4,3 | 1,7 | 1,9 | 8,0 |
| | 0,75 | 2850 | 2,0 | 2,5 | 70,3 | 0,77 | 4,5 | 1,8 | 2,0 | |
| 90S | 1,0 | 1430 | 2,7 | 6,7 | 69,4 | 0,77 | 5,3 | 1,8 | 2,0 | 13 |
| | 1,2 | 2890 | 3,0 | 4,0 | 74,0 | 0,78 | 5,4 | 1,9 | 2,0 | |
| 100L | 2,0 | 1450 | 5,0 | 13 | 72,2 | 0,80 | 5,9 | 2,1 | 2,1 | 21 |
| | 2,6 | 2900 | 5,8 | 8,6 | 76,1 | 0,85 | 6,6 | 2,2 | 2,1 | |

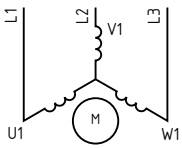
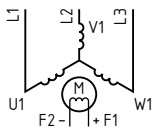
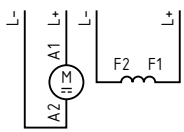
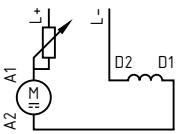
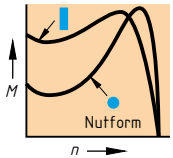
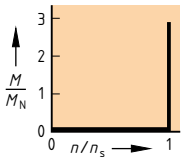
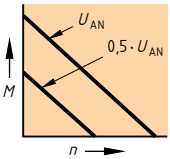
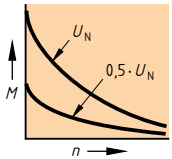
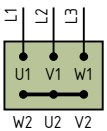
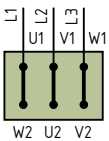
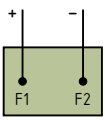
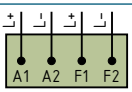
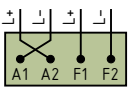
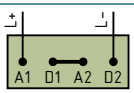
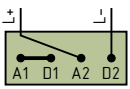
## Einphasenwechselstrommotoren mit Betriebskondensator bei 50 Hz/230 V

| 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 µF | $U_C$ 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, $n_S$ Drehfelddrehzahl, $P_N$ 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.**

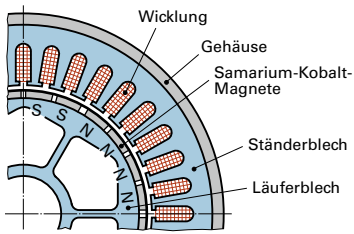
# Drehstrommotoren, Gleichstrommotoren

## Three-phase Motors, Direct Current Motors

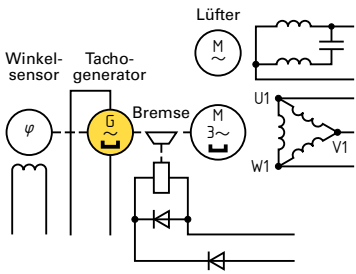
| Motorart | Drehstrom-Käfigläufermotor | Drehstrom-Synchronmotor | Fremderregter Gleichstrommotor | Gleichstrom-Reihenschlussmotor |
|---|---|---|---|---|
| Anschluss für Rechtslauf (Wicklung nach VDE 0530-8, Seite 308) |   |   auch mit Dauermagneterrregung |   auch mit Dauermagneterrregung |   in Reihe B1B2, C1C2 für Wende-/Kompensationspole |
| Drehmomentkennlinie |   |   |   |   |
| Drehrichtungsumkehr | Durch Vertauschen von zwei Netzleitern, z. B. L1 und L2. | | Umpolen des Ankerstromkreises oder des Erregerstromkreises. | |
| Schaltung an den Anschlüssen<br>Anschlüsse Klemmenbrett<br>Anschlussbezeichnung Seite 308 | bei Sternschaltung  <br>bei Dreieckschaltung   | Anschluss des Ständers wie beim Drehstrom-Käfigläufermotor.<br>Siehe auch Reluktanzmotor, folgende Seite<br>   |   für Rechtslauf<br>   für Linkslauf<br>A1, A2 Anschlüsse des Ankerstromkreises, auch mit Wicklungen B und C (VDE 0530-8). |   für Rechtslauf<br>   für Linkslauf |
| Häufigster Anlauf (Anlassen) | Direktes Einschalten mit Motorstarter, ab 7,5 kW auch Stern-Dreieck-Anlauf. | Servomotoren: Anlauf mit zunehmender Frequenz. Sonst mit Anlauf-Käfig wie Käfigläufer. | Anlauf mit zunehmender Ankerspannung bei fester Erregung. | Anlauf mit zunehmender Spannung. |
| $M_A/M_N$ | 0,4 bis 3 | Servomotoren: bis 5 sonst mit Anlaufkäfig 0,5 bis 1 | Je nach Anlassschaltung bis 2,5 | |
| $I_A/I_N$ | 3 bis 7 | 3 bis 7 | Je nach Anlassschaltung bis 2,5 | |
| Steuern der Drehzahl | Häufig durch Polumschaltung.<br>Durch Änderung der Netzfrequenz mit Umrichter. | Durch Änderung der Netzfrequenz mit Umrichter, insbesondere bei Servomotoren. | Durch Steuern der Ankerspannung, z. B. mit Thyristor-Stromrichter oder durch Steuern der Erregerspannung. | Durch Steuern der Netzspannung. |
| Drehzahlstellbereich | Bei Polumschaltung bis 1 : 8<br>sonst bis 1 : 50 | Bis 1 : 10000 | Ohne Drehzahlregler bis 1 : 10,<br>mit Drehzahlregler bis 1 : 5000 | |
| Elektrisches Bremsen | Nutzbremsung durch Generatorbetrieb; Gegenstrombremsung. | Nutzbremsung durch Generatorbetrieb. | Widerstandsbremsung und Nutzbremsung durch Generatorbetrieb. | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $I_A$ | Anzugsstrom | $M_A$ | Anzugsmoment | $n_s$ | Drehfelddrehzahl |
| $I_N$ | Bemessungsstrom | $M_N$ | Bemessungsmoment | $U_{AN}$ | Ankerbemessungsspannung |
| $M$ | Drehmoment, Kraftmoment | $n$ | Drehzahl, Umdrehungsfrequenz | $U_N$ | Bemessungsspannung |

| Aufbau, Benennung | Erklärung | Typische Daten, Anwendung |
|---|---|---|

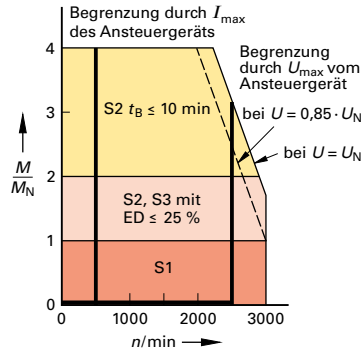



**Drehstrom-Servomotor**




**Schaltung eines Drehstrom-Servomotors**

*Drehstrom-Servomotoren* haben oft einen dauermagneterregten Läufer (**Bild**). Oft ist eine Fremdbelüftung vorhanden (**Bild**). Ein *Tachogenerator* gibt die Ist-Drehzahl an die elektronische Steuerung. Drehzahl und Drehrichtung werden durch Pulsweitenmodulation vom Steuergerät eingestellt. Beim Anlauf wird die Frequenz schnell von null zum Sollwert hochgefahren.

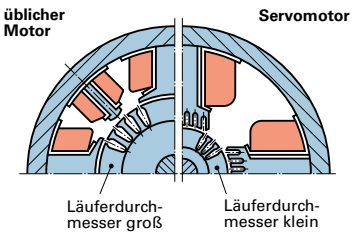



**Arbeitsbereich eines Drehstrom-Servomotors mit Ansteuergerät**

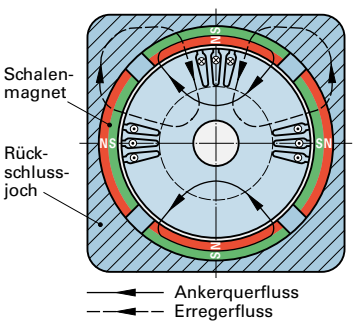
$J$ = 0,006 kgm²
$n_{max}$ = 3000/min
$m$ = 22 kg
$M_N$ = 11 Nm
$I_N$ = 22 A
$I_{max}$ = 105 A
$K$ = 0,5 Nm/A
($M_{max}$ = 53 Nm)
$\tau_{mech}$ = 5 ms
$\tau_{el}$ = 10 ms

Für Vorschubantriebe, Positionierungsantriebe und Roboterantriebe in Verbindung mit Getrieben.

Servomotoren als Reluktanzmotoren (vorhergehende Seite) haben eine einfachere Steuerung und werden oft eingesetzt.



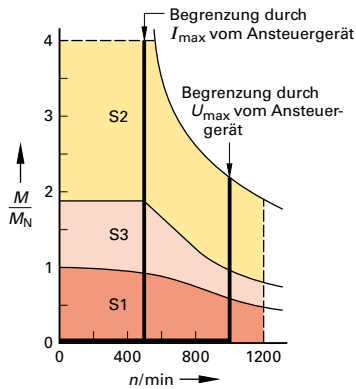

**Aufbau von Gleichstrommotoren**




**Aufbau von Gleichstrom-Servomotoren mit Dauermagneterregung**

*Gleichstrom-Servomotoren* sind fremderregte Gleichstrommotoren (**Bild**). Wegen der möglichen Überlastbarkeit ist eine *Kompensationswicklung* vorhanden. Das verfügbare Drehmoment hängt von der Betriebsart (S1, S2, S3) und der Drehzahl ab (**Bild**).

Die Ansteuerung erfolgt fast verzögerungsfrei über *Transistor-Stellglieder* oder mit einer Totzeit von einigen Millisekunden über *Thyristor-Stellglieder*.




**Arbeitsbereich eines Gleichstrom-Servomotors**

$J$ = 0,008 kgm²
$n_{max}$ = 6000/min
$m$ = 30 kg
$M_N$ = 9 Nm
$I_N$ = 15 A
$I_{max}$ = 100 A
$K$ = 0,6 Nm/A
($M_{max}$ = 60 Nm)
$\tau_{mech}$ = 7 ms
$\tau_{el}$ = 10 ms

$\tau_{mech}$ erhöht sich durch zusätzliche Trägheitsmomente erheblich.

Eisenloser Läufer: für besonders reaktionsschnelle Antriebe.

Läufer mit Eisen: wie bei Drehstrom-Servomotoren, aber weniger reaktionsschnell.

$I_{max}$ maximale Stromstärke, $I_N$ Bemessungsstromstärke, $J$ Trägheitsmoment des Läufers, $K$ Drehmomentkoeffizient, $m$ Masse, $M_{max}$ maximales Drehmoment, $M_N$ Bemessungsmoment, $n$ Drehzahl, $n_{max}$ maximale Drehzahl, ED Einschaltdauer, S1 Dauerbetrieb, S2 Kurzzeitbetrieb, S3 Aussetzbetrieb, $t_B$ Betriebsdauer, $\tau_{el}$ elektrische Zeitkonstante, $\tau_{mech}$ mechanische Zeitkonstante.

# Schutzmaßnahmen, Schutzklassen

Protective Measures, Classes of Protection

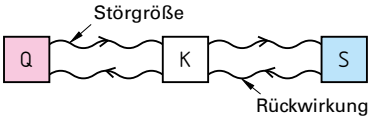
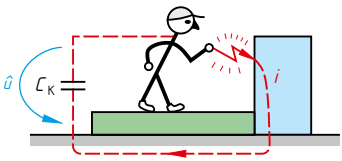
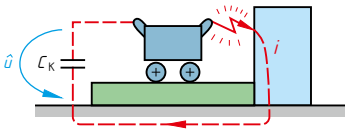
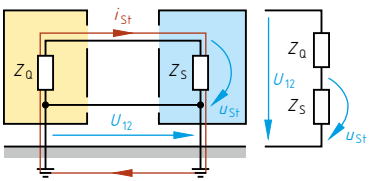
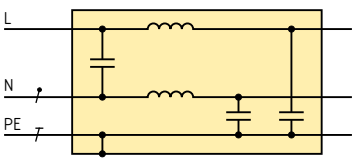
## Schutzmaßnahmen-Übersicht

| Schutz | Schutz durch | Bemerkungen |
|---|---|---|
| **Basisschutz** (Schutz gegen direktes Berühren), allgemein | Isolierung aktiver Teile | Farben und Lacke sind kein ausreichender Basisschutz. |
| | Abdeckung oder Umhüllung | Schutzart mindestens IP 2X.<br>Sichere Befestigung. Entfernung darf nur mithilfe von Werkzeugen oder nach Abschaltung möglich sein. |
| | Schutzkleinspannung SELV | Speisung aus besonders zuverlässigen Stromquellen mit Bemessungsspannung von höchstens AC 25 V oder DC 60 V. |
| | **Zusätzlicher Schutz** durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD, Seite 371) | Ergänzung von Schutzmaßnahmen gegen direktes Berühren. Ist als alleinige Schutzmaßnahme nicht zulässig. |
| **Fehlerschutz** (Schutz bei indirektem Berühren), allgemein | Abschalten oder Meldung | Im Fehlerfall soll durch automatisches Abschalten verhindert werden, dass eine Berührungsspannung so lange fortbesteht, bis sich daraus eine Gefahr ergibt. |
| | Schutzklasse II | Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung. |
| | **Zusätzlicher Schutz** durch örtlichen Schutzpotenzialausgleich. | Alle gleichzeitig berührbaren Körper und fremde leitfähige Teile müssen durch Schutzpotenzialausgleichsleiter verbunden werden. Das örtliche Potenzialausgleichssystem darf weder über Körper noch über leitfähige Teile mit der Erde verbunden sein. |
| | RCD mit $I_{\Delta N} \leq 30$ mA | Zusätzlicher Schutz, vorgeschrieben in Steckdosenstromkreisen bis AC 32 A und Endstromkreisen im Außenbereich bis AC 32 A für tragbare Betriebsmittel. |
| | Schutzerdung<br><br>Automatische Abschaltung der Stromversorgung | Erdung über den Schutzleiter zur automatischen Abschaltung der Stromversorgung oder Meldung. Begriff „Schutzerdung“ wurde durch „Automatische Abschaltung der Stromversorgung“ ersetzt. |
| | Schutztrennung | Verhindert Gefahren beim Berühren von Körpern, die durch Fehler in der Basisisolierung Spannung annehmen können.<br>**Nur ein Verbrauchsmittel:** Fehlerschutz bei $U_n \leq 500$ V, keine Verbindung mit Erde oder dem PE.<br>**Mehrere Verbrauchsmittel:** Zusätzlich Verbindung der Körper mit nicht geerdetem Schutzpotenzialausgleichsleiter.<br>Nur bei fachlicher Überwachung. |
| | Schutzkleinspannung SELV oder PELV (Seite 370) | Wie gegen direktes Berühren, aber höchstens AC 50 V oder DC 120 V, wenn nicht kleinere Spannung vorgeschrieben ist. |
| **Weitere Möglichkeiten** für den Schutz in fachlich überwachten Anlagen<br><br>(siehe auch Seite 375) | **Basisschutz:**<br>Hindernisse<br><br>Abstand | Z. B. Schutzleisten, Geländer, Gitterwände. Müssen absichtliches Berühren nicht ausschließen.<br>Im Handbereich (≤ 2,50 m) dürfen sich keine gleichzeitig berührbaren Teile verschiedenen Potenzials befinden. |
| | **Fehlerschutz:**<br>Isolierende Umgebung<br><br>Örtlicher, erdfreier Schutzpotenzialausgleich | Leitfähige Körper sind so angeordnet, dass sie nicht gleichzeitig berührbar sind.<br>Alle Körper sind an einen Schutzpotenzialausgleichsleiter anzuschließen. |

## Schutzklassen elektrischer Betriebsmittel

| Schutzklasse | Art | Kennzeichen | Beispiele |
|---|---|---|---|
| I | Schutzleiterschutz | | Elektromotor mit Metallgehäuse, Waschmaschine, Elektroherd, Bügeleisen, Kühlschrank |
| II | Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung | | Haushaltsgeräte mit Kunststoffgehäuse, z. B. Küchengeräte, Rasierapparate, Staubsauger, Elektrowerkzeuge |
| III | Schutzkleinspannung SELV oder PELV | | Handleuchten in Kesseln, z. B. 50 V AC bzw. 120 V DC, z.T. medizinische Geräte, elektrische Geräte zur Körperpflege |

# Elektromagnetische Verträglichkeit EMV — Electromagetic Compatibility

| Art | Erklärung | Bemerkungen, Ergänzung |
|---|---|---|
| Definition von EMV | Fähigkeit der elektrotechnischen Einrichtungen, ohne Probleme in einem elektromagnetischen Umfeld zu arbeiten und selbst keine elektromagnetischen Probleme hervorzurufen. | 1. Zufriedenstellende Arbeit trotz elektromagnetischem Störfeld,<br>2. Umgebung wird nicht zusätzlich elektromagnetisch belastet. |
| Elektromagnetische Störbeeinflussung | Von einer Störquelle Q gehen Störungen aus, die zu einer Störsenke S über eine Kopplung K gelangen. Dabei kann von S nach Q eine Rückwirkung auftreten.<br>www.dehn.de<br>www.phoenixcontact.com |  <br>**Prinzip der Störbeeinflussung** |
| Atmosphärische Störungen | Siehe Blitzstromableiter Seite 222.<br>LEMP (Lightning Electromagnetic Pulse) | Hervorgerufen durch Blitzeinschläge in die Anlage oder entfernt von der Anlage. |
| Störungen durch elektrostatische Entladung |  <br>**Elektrostatische Körperentladung** |  <br>**Elektrostatische Mobiliarentladung** |
| Störungen durch elektrische Anlagen | Vor allem treten durch das Schalten impulsartige Ströme auf, die wegen ihrer steilen Flanken hochfrequente Anteile haben (SEMP). Insbesondere bei<br>• Abschalten von Induktivitäten,<br>• Einschalten von Kondensatoren, Lampen. | Die Störungen sind fortdauernd, wenn fortdauernd geschaltet wird, z. B. bei der Anschnittsteuerung oder im kleineren Umfang bei der Abschnittsteuerung.<br>SEMP von Switching Electromagnetic Pulse. |
| Störfestigkeit und Zerstörfestigkeit von Störsenken | Überschreiten Spannungen gegen Erde bzw. Masse die Störfestigkeit, so treten Funktionsstörungen auf.<br>Überschreiten diese Spannungen die Zerstörfestigkeit, so sind die Betriebsmittel unbrauchbar bzw. zerstört. | Anhaltswerte der Spannungsfestigkeit:<br>• Starkstromleitungen, Signalkabel bis 20 kV,<br>• Fernmeldekabel, Starkstromgeräte 5 kV bis 8 kV,<br>• Fernmeldegeräte 1 kV bis 3 kV,<br>• integrierte Schaltkreise, Operationsverstärker 50 V bis 500 V (energieabhängig). |
| Beeinflussung der auftretenden Störspannungen | Vor allem muss die Kopplung für die Störgrößen $i_{St}$, $u_{St}$ zwischen Quelle $Z_Q$ und Senke $Z_S$ möglichst klein sein.<br>Dabei ist auf galvanische, kapazitive und induktive Kopplung sowie Kopplung durch elektromagnetische Strahlung zu achten. Verteilungssysteme TN-C und TN-C-S können zu galvanischer Kopplung führen und sollen daher in Fabrikanlagen durch TN-S ersetzt werden. |  <br>**Galvanische Kopplung durch Erdschleife** |
| Abschirmung | Verringert die Kopplung durch Strahlung. | Leitende Folien oder Drahtgeflechte. |
| Überspannungsbegrenzer | Begrenzen die Störspannung auf die Zerstörfestigkeit des Betriebsmittels. | Siehe Seite 222, 351. |
| Netzentstörfilter (Tiefpass-Filter) | Anordnung an der Quelle und/oder an der Senke.<br>Im einfachsten Fall werden Induktivitäten, z. B. Ferritperlen, in den Stromweg oder Kapazitäten (Kondensatoren) parallel zur Quelle oder Senke geschaltet. Bei höheren Anforderungen müssen auch die Störspannungen zur Erde erfasst und überbrückt werden. |  <br>**LC-Tiefpassfilter** |