



Erste Hilfe



Auffinden einer Person

Grundsätze

- Ruhe bewahren
- Unfallstelle sichern
- Eigene Sicherheit beachten

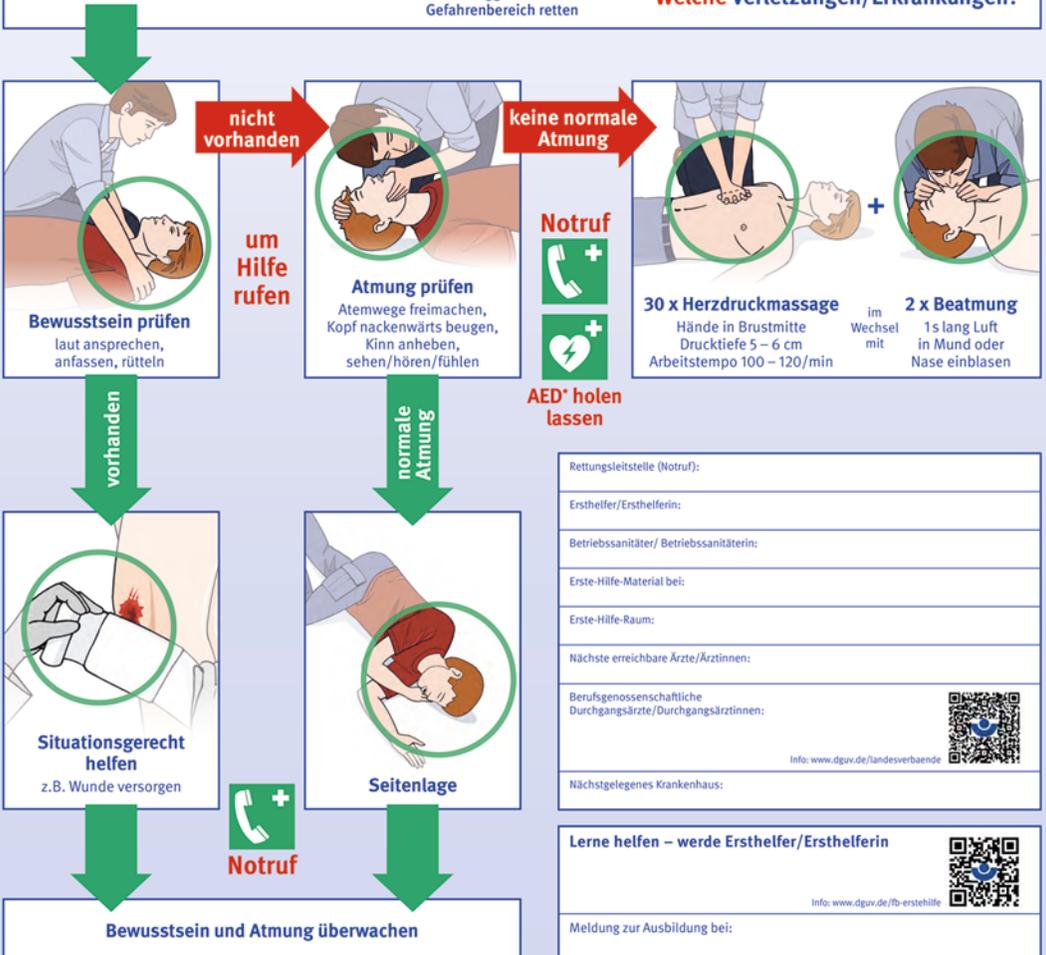


Person ggf. aus dem Gefahrenbereich retten

Notruf



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



Rettungsleitstelle (Notruf):

Ersthelfer/Ersthelferin:

Betriebssanitäter/ Betriebssanitäterin:

Erste-Hilfe-Material bei:

Erste-Hilfe-Raum:

Nächste erreichbare Ärzte/Ärztinnen:

Berufsgenossenschaftliche Durchgangsarzte/Durchgangsarztinnen:

Info: www.dguv.de/landesverbande

Nächstgelegenes Krankenhaus:



Lerne helfen – werde Ersthelfer/Ersthelferin

Info: www.dguv.de/ifb-ersthilfe

Meldung zur Ausbildung bei:



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



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Mechatronik

Tabellenbuch Mechatronik

Tabellen – Formeln – Normenanwendungen

11. 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

| | | |
|---------------------|---|-----------------------|
| Heinrich Dahlhoff | Dipl.-Physiker | Meppen |
| Hartmut Fritsche | Dipl.-Ing. | Massen |
| Gregor Häberle | Dr.-Ing., Abteilungsleiter | Tettngang |
| Verena Häberle | MSc | 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 |
| Siegfried Schmitt | staatl. gepr. Techniker, Techn. Oberlehrer | Bad Bergzabern |
| 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, Tettngang

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.

11. Auflage 2021

Druck 5 4 3 2 1

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

ISBN 978-3-8085-4538-6

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

© 2021 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-Pressbilder

Druck: Druckerei Himmer, 86167 Augsburg

Mathematik, Technische Physik

9 ...70

M

Technische Kommunikation

71 ...130

K

Chemie, Werkstoffe, Fertigung

131 ...204

WF

Bauelemente, Messen, Steuern,
Regeln

205 ... 288

BM

Elektrische Anlagen und Antriebe,
mechatronische Systeme

289 ... 412

A

Digitalisierung, Informationstechnik

413 ... 474

D

Verbindungstechnik

475 ... 520

V

Betrieb und Umwelt

521 ... 600

B

Vorwort zur 11. Auflage

Das Buch ist konzipiert für die handlungsorientierte Berufsbildung des Berufes *Mechatroniker* bzw. *Mechatronikerin*. Die Mechatronik unterliegt als Schlüsseltechnologie aus Elektrotechnik, Metalltechnik und Informatik einem stetigen Wandel und unterstützt das Erfüllen der *Anforderungen von Industrie 4.0* sowie der *Digitalisierung*, auch mit dem Ziel, dem *Klimawandel* entgegenzuwirken.



Dies führte zu neuen oder aktualisierten Seiten in den nachfolgend genannten Hauptabschnitten. Inhalte des Buches, die nicht mehr Bestandteil der Berufsbildung sind, wurden gelöscht. Auf Prüfungsorientierung bzgl. Inhalt und Sachwortverzeichnis sowie Seitenquerverweise im Buch wurde großer Wert gelegt.

• Teil M: Mathematik, Technische Physik

Aktualisiert sind z. B. Komplexe Rechnung für Grundsaltungen von L und C , Binärcodes, Messen von Oberschwingungen, Spannungsfall an Leitungen.

• Teil K: Technische Kommunikation

Neu sind z. B. Geometrische Produktspezifikation GPS, Symbole der Verfahrenstechnik. Erweitert wurden z. B. Kennzeichnungen in Schaltplänen, Referenzkennzeichnung. Aktualisiert wurden Schaltpläne der Pneumatik und Hydraulik.

• Teil WF: Chemie, Werkstoffe, Fertigung

Neu sind z. B. Bezeichnung von Stählen durch Werkstoffnummern, Arten von Kunststoffen, Wärmebehandlung, Ergonomie. Aktualisiert wurden z. B. Trennklassen der Kommunikationsverkabelung, Leitungen in Datennetzen, Fertigungsverfahren.

• Teil BM: Bauelemente, Messen, Steuern, Regeln

Neu sind z. B. Durchflusssensoren, Radarsensoren, Smart Sensorik und Aktorik, TIA-Portal, Bezeichnung von SPS-Variablen. Aktualisiert wurden z. B. Dimmen von LEDs, SPS-Programmierung, Sensoren, elektrische Messgeräte, Messen mit Multimeter.

• Teil A: Elektrische Anlagen und Antriebe, mechatronische Systeme

Neu sind z. B. Brandschutz und Brandschutzleitungen, Betrieb von Drehstrom-Asynchronmotoren. Erweitert wurden z. B. Erstprüfung von Schutzmaßnahmen, Fehlerschutz. Aktualisiert wurden z. B. Messen in elektrischen Anlagen, Regelung der Netzfrequenz, Effizienz von elektrischen Antrieben, Aufbau von Schaltschränken, Prüfung der elektrischen Ausrüstung von Maschinen.

• Teil D: Informationstechnik, Digitalisierung

Neu sind z. B. Blu Ray Disk, Aufbau eines PC, Werkzeugbahnkorrektur, Schutzmaßnahmen zur Arbeitssicherheit. Erweitert wurden z. B. Digitalisierung, Industrie 4.0. Aktualisiert wurden z. B. KV-Diagramme, Halbleiterspeicher, Datensicherung, Kopierschutz, Local Control Network LCN, Komponenten für Datennetze, Betriebssysteme, Internet der Dinge, Störungen bei der Funkübertragung in Werkstätten.

• Teil V: Verbindungstechnik

Aktualisiert wurden Steckverbinder.

• Teil B: Betrieb und Umwelt

Neu sind z. B. Qualitätsmanagement, Betriebswirtschaftliche Kalkulationen. Aktualisiert wurden z. B. Statistische Prozesssteuerung, Betriebssicherheitsverordnung, gefährliche Stoffe, Gefahrenhinweise VDE-Normen.

Normänderungen wurden übernommen, z. B. Sicherheit von Maschinen (DIN EN 60204-1, VDE 0113-1), Erstprüfung der Schutzmaßnahmen (DIN VDE 0100-600), Mindestwirkungsgrade von elektrischen Antrieben (DIN VDE 530-30-2), Schutzeinrichtungen (DIN VDE 0100-530), sodass diesem Buch die neuesten Ausgaben der DIN-Normen und VDE-Richtlinien zu Grunde liegen.

Allgemein ist zu beachten, dass oft die Normen verschiedene Formen zulassen, z. B. in DIN EN 61082 (Dokumente der Elektrotechnik, Regeln) Stromverzweigungen mit oder ohne „Punkt“ oder mit Richtungsangabe des abgezwigten 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 des Buchs, ergänzt um weitere Formeln, abgedruckt, und zwar meist in nach Größen umgestellten Formen.

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

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

Zahlensysteme, Dualzahlen 18

Dualzahlen, Sedezimalzahlen, Binär-codes 19

Logarithmen, Zehnerpotenzen, Vorsätze, Prozentrechnung 20

Logarithmisches Maß Dezibel 21

Dreisatz, Mischungsrechnung 22

Rechtwinkliges Dreieck 23

Winkelfunktionen, Steigung 24

Längen 25

Flächen 26

Flächen, Volumen, Oberflächen 28

Volumen, Oberfläche, Masse 30

Kräfte 31

Drehmoment, Hebel, Fliehkraft 32

Rollen, Keile, Winden, Schrauben 33

Bewegungslehre 34

Geschwindigkeiten an Maschinen 35

Wärmetechnik 1 36

Wärmetechnik 2 37

Mechanische Arbeit, mechanische Leistung, Energie 38

Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand 39

Elektrische Leistung, elektrische Arbeit 40

Elektrisches Feld, Kondensator 41

Strom in Magnetfeld, Induktion 43

Schaltungen von Widerständen 44

Bezugspfeile, Kirchhoff'sche Regeln, Spannungsteiler 45

Grundschaltungen von Induktivitäten und Kapazitäten 46

Komplexe Rechnung für Grundschaltungen von L und C 47

Schalten von Kondensatoren und Spulen 48

Wechselgrößen, Oberschwingungen 49

Zeigerdiagramme von Wechselstromgrößen 50

Leistungen bei Sinuswechselstrom, Impuls 51

Reihenschaltung, Parallelschaltung von R, L, C 52

Berechnungsformeln für Transformatoren 54

Elektrischer Widerstand bei Temperaturänderung, Wärmewiderstand 55

Drehstrom, Blindleistungskompensation 56

Kompensation mit Filtern 57

Zahnradberechnungen 58

Übersetzungen 59

Druck in Flüssigkeiten und Gasen 60

Reibung, Auftrieb 61

Belastungsfälle, Beanspruchungsarten 62

Abscherung, Knickung 64

Biegung, Torsion 65

Momente der Festigkeitslehre 66

Momente von Profilen 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

Kontakt kennzeichnung 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

Kurzzeichen 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 | Drehwerkzeuge | 190 |
| Ablauf-Funktionspläne | 119 | Fräsen | 191 |
| Symbole zur Dokumentation in der Computertechnik | 120 | Schleifen | 193 |
| Schaltzeichen der Pneumatik und Hydraulik | 121 | Spanende Formung der Kunststoffe | 194 |
| Pneumatik Grundschaltungen | 123 | Lehren | 195 |
| Kennzeichnung von steuerungstechnischen Systemen | 124 | Biegeumformen | 196 |
| Schaltpläne der Pneumatik und Hydraulik | 125 | Schweißen | 197 |
| Fließbilder | 126 | Druckgasflaschen, Gasverbrauch | 199 |
| Beispiele von Fließbildern | 127 | Gasschweißen | 200 |
| Symbole der Verfahrenstechnik | 128 | Schutzgasschweißen | 201 |
| Erstellen einer Dokumentation über Geräte und Anlagen | 129 | Lichtbogenschweißen | 203 |
| Aufbau und Inhalt einer Betriebsanleitung | 130 | | |

Teil WF: Chemie, Werkstoffe, Fertigung 131

| | |
|---|-----|
| Chemie | 132 |
| Stoffwerte | 134 |
| Gefährliche Stoffe | 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 | 172 |
| Rapid Prototyping RP (3D-Druck) | 176 |
| Wärmebehandlung von Stahl | 177 |
| Montage und Demontage | 179 |
| Ergonomie | 181 |
| Schneidstoffe | 182 |
| Drehzahlnomogramm | 183 |
| Kräfte und Leistungen beim Zerspanen | 184 |
| Bohren | 186 |
| Reiben und Gewindebohren | 187 |
| Drehen | 188 |

Teil BM: Bauelemente, Messen, Steuern, Regeln 205

| | |
|--|-----|
| Widerstände und Kondensatoren | 206 |
| Batterien, Batteriezellen | 209 |
| Von physikalischen Größen abhängige Halbleiter-Bauelemente | 210 |
| Dioden | 211 |
| Feldeffekttransistoren FET, IGBTs | 212 |
| Bipolare Transistoren und HEMT | 213 |
| Thyristoren und Triggerdiode | 214 |
| Fotoelektronische Bauelemente | 215 |
| Bauelemente für Überspannungsschutz | 216 |
| Grundlagen des Operationsverstärkers | 217 |
| Elektrische Messgeräte | 219 |
| Schaltungen zur Bestimmung von U , I und R | 221 |
| Messwandler | 222 |
| Messen mit Multimeter | 223 |
| Wattstundenzähler | 224 |
| Sensoren | 225 |
| Kraftmessung und Druckmessung | 226 |
| Bewegungsmessung, Wegmessung, Winkelmessung | 227 |
| Temperaturmessung | 229 |
| Durchflusssensoren, Ultraschallsensoren, Radarsensoren | 230 |
| Näherungsschalter (Sensoren) | 231 |
| Smarte Sensorik und Aktorik, optoelektronische Sensoren | 233 |
| Vernetzung von Sensoren und Aktoren | 235 |
| Energieüberwachung in Smart-Grid-Anlagen | 236 |
| Oszilloskop | 237 |
| Messwerterfassung mit dem PC | 239 |
| Elektromagnetische Schütze | 242 |
| Gebrauchskategorien und Antriebe von Schützen | 243 |
| Vakuumschütze, Halbleiterschütze | 244 |
| Hilfsstromkreise | 246 |
| Polumschaltbare Drehstrommotoren | 248 |
| Ausschaltung, Serienschaltung, Wechselschaltung, Kreuzschaltung | 250 |
| Stromstoßschaltungen | 251 |
| Dimmen | 252 |
| Steuerung mittels Funk | 254 |
| Elektroinstallation mit Funksteuerung von konventionellen Lampen | 255 |
| Ausführung von Installationsschaltungen | 256 |

| | | | |
|---|-----|---|-----|
| Steuerungs- und Regelungstechnik | 258 | Stromgefährdung, Berührungsarten, Fehlerarten . . | 353 |
| Analoge Regler | 260 | Schutzmaßnahmen, Schutzklassen | 355 |
| Digitale Regelung | 263 | Systeme und Fehlerschutz mit Schutzleiter | 356 |
| Steuern und Regeln mit dem PC | 264 | Basisschutz und Fehlerschutz | 357 |
| Lageregelung bei Arbeitsmaschinen | 266 | Differenzstromschutzschalter RCD | 358 |
| Logikmodul LOGO! | 267 | Differenzstromüberwachungsgerät RCM | 359 |
| Binäre Verknüpfungen der Steuerungs- und Regelungstechnik | 270 | Prüfung der Schutzmaßnahmen | 363 |
| Speicherprogrammierbare Steuerung SPS | 271 | Wiederkehrende Prüfungen | 365 |
| TIA-Portal | 275 | Spezielle Niederspannungs-Anlagen | 366 |
| Programmiersprachen, StrukturierterText (ST), Ablaufsprache AS | 279 | Elektroinstallation in Unterrichtsräumen mit Experimentier- einrichtungen | 367 |
| SPS-Programmierung (nach DIN EN 61131-3) | 282 | Stromversorgung elektronischer Geräte | 368 |
| Regelung mittels SPS | 285 | Sicherheits-Stromversorgungsanlagen | 369 |

Teil A: Elektrische Anlagen und Antriebe, mechatronische Systeme 289

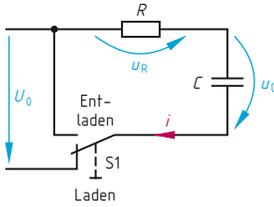
| | |
|---|-----|
| Netze der Energietechnik | 290 |
| Arbeiten in elektrischen Anlagen | 292 |
| Messungen in elektrischen Anlagen | 293 |
| Alphanumerische Kennzeichnung der Anschlüsse | 296 |
| Schutzarten IP elektrischer Betriebsmittel, ENEC-Zeichen | 297 |
| Elektronische Steuerungen von Verbrauchsmitteln | 299 |
| Stromrichter, Gleichrichter | 300 |
| Transformatoren der Energietechnik | 305 |
| Regelung der Netzspannung | 307 |
| Betriebsarten | 309 |
| Isolierstoffklassen, Bemessungsleistungen | 310 |
| Betriebsdaten von Käfigläufermotoren | 311 |
| Bauformen von drehenden elektrischen Maschinen | 312 |
| Einphasen-Wechselstrommotoren | 314 |
| Drehstrommotoren, Gleichstrommotoren | 315 |
| Servomotoren | 318 |
| Prüfung elektrischer Maschinen | 320 |
| Schrittmotoren | 321 |
| Kleinstantriebe | 322 |
| Getriebe | 324 |
| Linearantriebe | 325 |
| Effizienz von elektrischen Antrieben | 329 |
| Wahl des Antriebsmotors | 330 |
| Motorschutz | 331 |
| Anlassen von Kurzschlussläufermotoren | 332 |
| Sanftanlasser | 333 |
| Überlastschutz und Kurzschlusschutz von Leitungen | 334 |
| Mindest-Leiterquerschnitte, Leitungsschutzschalter | 335 |
| Niederspannungs-Schmelzsicherungen | 336 |
| Überstrom-Schutzeinrichtungen für Geräte | 337 |
| Schutz gegen thermische Auswirkungen | 339 |
| Brandschutz, Brandschutzleitungen | 340 |
| Leitungsberechnung | 341 |
| Verlegearten von Leitungen für feste Verlegung | 345 |
| Strombelastbarkeiten | 346 |
| Oberschwingungen OS | 351 |

Teil D: Digitalisierung, Informationstechnik 413

| | |
|---|-----|
| Digitalisierung und Industrie 4.0 | 414 |
| Internet | 415 |
| Binäre Verknüpfungen | 417 |
| KV-Diagramme | 418 |
| Code-Umsetzer | 419 |
| ASCII-Code und Unicode | 420 |
| Bistabile Kippschaltungen | 421 |
| Digitale Zähler und Schieberegister | 422 |
| DA-Umsetzer und AD-Umsetzer | 423 |
| Komparatoren, S & H-Schaltungen | 424 |
| Halbleiterspeicher | 425 |
| Mobile Datenspeicher | 426 |
| Optische Speicher DVD, CD, Blu Ray | 427 |
| Begriffe der Informationstechnik | 429 |
| PC-Hauptplatine und PC-Anschlüsse | 431 |
| Betriebssysteme | 432 |
| Windows-10-Tasten-Kürzel | 433 |
| PowerPoint | 434 |
| Arbeiten mit Excel | 435 |
| Gefahren der Computersabotage | 436 |
| Maßnahmen gegen Computerviren | 437 |
| Industriespionage | 438 |
| Datensicherung, Kopierschutz | 439 |

Schalten von Kondensatoren und Spulen

Switching of Capacitors and Coils



$[\tau] = [t] = \Omega \cdot \frac{As}{V} = s$
 $[R] = \Omega$
 $[C] = \frac{As}{V} = \frac{C}{V} = F$
 $[i] = A$
 $[U_0] = [u_C] = [u_R] = V$

Zeitkonstante

$$\tau = R \cdot C \quad 1$$

Beim Laden (Einschalten):

$$i = \frac{U_0}{R} \cdot \exp(-t/\tau) \quad 2$$

$$u_C = U_0 [1 - \exp(-t/\tau)] \quad 3$$

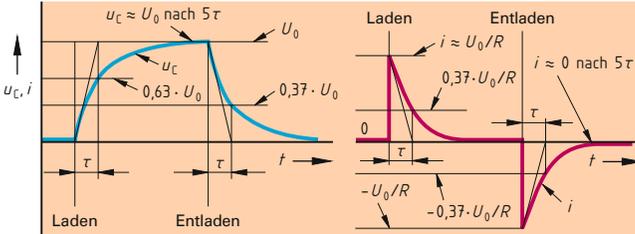
Beim Entladen (Kurzschließen):

$$i = -\frac{U_0}{R} \cdot \exp(-t/\tau) \quad 4$$

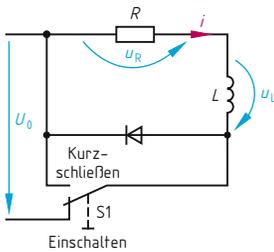
$$u_C = U_0 \cdot \exp(-t/\tau) \quad 5$$

Beim Laden und Entladen:

$$u_R = i \cdot R \quad 6$$



Kondensatorspannung und Kondensatorstrom der RC-Reihenschaltung



$[\tau] = \frac{H}{\Omega} = s$
 $[R] = \Omega$
 $[L] = \frac{Vs}{A} = H$
 $[i] = A$
 $[t] = s$
 $[U_0] = [u_R] = [u_L] = V$

Zeitkonstante

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

Beim Einschalten:

$$i = \frac{U_0}{R} [1 - \exp(-t/\tau)] \quad 8$$

$$u_L = U_0 \cdot \exp(-t/\tau) \quad 9$$

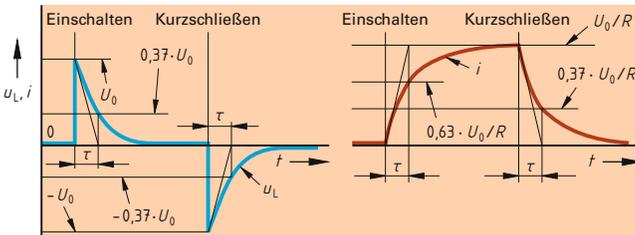
Beim Kurzschließen:

$$i = \frac{U_0}{R} \cdot \exp(-t/\tau) \quad 10$$

$$u_L = -U_0 \cdot \exp(-t/\tau) \quad 11$$

Beim Einschalten und beim Kurzschließen:

$$u_R = i \cdot R \quad 12$$



Spulenspannung und Spulenstrom der RL-Reihenschaltung

Anmerkung:
 $y = e^x \Rightarrow x = \ln(y)$
 Siehe Seite 20.

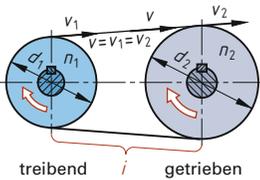
| | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| C Kapazität | t Zeit ab Einschalten/Kurzschließen | u_C Kondensatorspannung |
| i Stromstärke (Augenblickswert) | u Spannung (Augenblickswert) | u_L Spulenspannung |
| L Induktivität | U_0 speisende Gleichspannung | u_R Spannung an R |
| R Wirkwiderstand | τ Zeitkonstante (Tau) | |

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

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

Riementrieb

einfache Übersetzung



- $d_1, d_3, d_5 \dots$ Durchmesser } treibende
- $n_1, n_3, n_5 \dots$ Drehzahlen } Scheiben
- $d_2, d_4, d_6 \dots$ Durchmesser } getriebene
- $n_2, n_4, n_6 \dots$ Drehzahlen } Scheiben
- n_a Anfangsdrehzahl
- n_e Enddrehzahl
- i Gesamtübersetzungsverhältnis
- $i_1, i_2, i_3 \dots$ Einzelübersetzungsverhältnisse
- v, v_1, v_2 Umfangsgeschwindigkeiten

Geschwindigkeit

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

Antriebsformel

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

Übersetzungsverhältnis

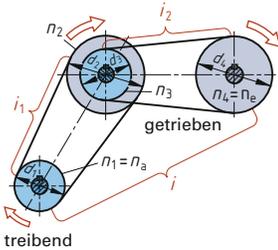
$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{n_a}{n_e} \quad 3$$

Gesamt-übersetzungsverhältnis

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

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \dots \quad 5$$

mehrfache Übersetzung



Beispiel:

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

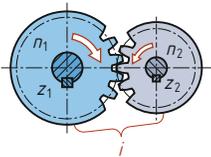
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{600/\text{min}}{400/\text{min}} = \frac{1,5}{1} = 1,5$$

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

Zahnradtrieb

einfache Übersetzung

treibend getrieben



- $z_1, z_3, z_5 \dots$ Zähnezahlen } treibende
- $n_1, n_3, n_5 \dots$ Drehzahlen } Räder
- $z_2, z_4, z_6 \dots$ Zähnezahlen } getriebene
- $n_2, n_4, n_6 \dots$ Drehzahlen } Räder
- n_a Anfangsdrehzahl
- n_e Enddrehzahl
- i Gesamtübersetzungsverhältnis
- $i_1, i_2, i_3 \dots$ Einzelübersetzungsverhältnisse

Antriebsformel

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

Übersetzungsverhältnis

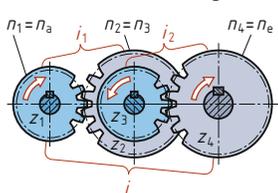
$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{n_a}{n_e} \quad 7$$

Gesamt-übersetzungsverhältnis

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

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \dots \quad 9$$

mehrfache Übersetzung



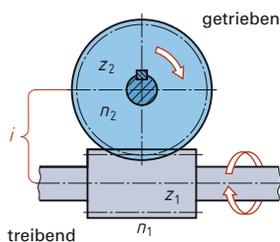
Beispiel:

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

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

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

Schneckentrieb



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

Antriebsformel

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

Übersetzungsverhältnis

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

Beispiel:

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

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

M

K

WF

BM

A

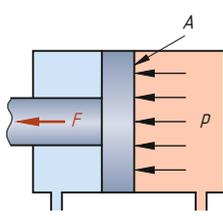
D

V

B

Druck

(siehe auch Seiten 68 bis 70)



p Druck A Fläche
 F Kraft

Beispiel:
 $F = 2 \text{ MN}$; Kolben- $\varnothing d = 400 \text{ mm}$; $p = ?$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{2 \text{ MN}}{\pi \cdot (0,4 \text{ m})^2} = 15,92 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} = \mathbf{159,2 \text{ bar}}$$

Berechnung zur Hydraulik und Pneumatik:
 Seite 69

Druck

$$p = \frac{F}{A}$$

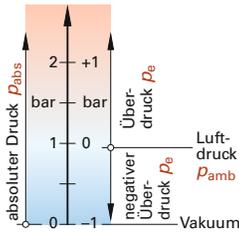
Druckeinheiten:

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10^{-5} \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 0,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa}$$

Überdruck, Luftdruck, absoluter Druck



p_e Überdruck
 p_{amb} Luftdruck
 p_{abs} absoluter Druck

Der Überdruck ist

- positiv, wenn $p_{\text{abs}} > p_{\text{amb}}$ ist und
- negativ, wenn $p_{\text{abs}} < p_{\text{amb}}$ ist (Unterdruck).

Beispiel:

Autoreifen, $p_e = 2,2 \text{ bar}$; $p_{\text{amb}} = 1 \text{ bar}$; $p_{\text{abs}} = ?$

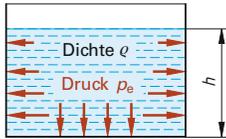
$$p_{\text{abs}} = p_e + p_{\text{amb}} = 2,2 \text{ bar} + 1 \text{ bar} = \mathbf{3,2 \text{ bar}}$$

Überdruck

$$p_e = p_{\text{abs}} - p_{\text{amb}}$$

$$p_{\text{amb}} = 1,013 \text{ bar} \approx 1 \text{ bar} \\ \approx 100 \text{ kPa}$$

Hydrostatischer Druck



p_e hydrostatischer Druck
 ρ Dichte der Flüssigkeit
 h Flüssigkeitstiefe

g Fallbeschleunigung, Ortskoeffizient

Beispiel:

Welcher Druck herrscht in 10 m Wassertiefe?

$$p_e = g \cdot \rho \cdot h = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \text{ m} \\ = 98100 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} = 98100 \text{ Pa} \approx \mathbf{1 \text{ bar}}$$

Hydrostatischer Druck

$$p_e = g \cdot \rho \cdot h$$

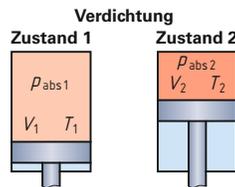
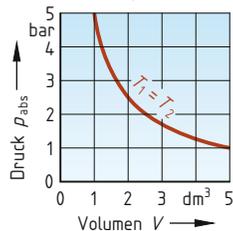
$$[g] = \text{m/s}^2 = \text{N/kg}$$

$$1 \text{ bar} \hat{=} 10 \text{ m Wassersäule}$$

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

Dichtewerte, Seiten 134, 135

Zustandsänderung bei Gasen

Gesetz von Boyle-Mariotte¹

Zustand 1

p_{abs1} absoluter Druck
 V_1 Volumen
 T_1 absolute Temperatur

Zustand 2

p_{abs2} absoluter Druck
 V_2 Volumen
 T_2 absolute Temperatur

Allgemeine Gasgleichung

$$\frac{p_{\text{abs1}} \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_{\text{abs2}} \cdot V_2}{T_2}$$

Beispiel:

Ein Kompressor saugt $V_1 = 30 \text{ m}^3$ Luft mit $p_{\text{abs1}} = 1 \text{ bar}$ und $\vartheta_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ an und verdichtet sie auf $V_2 = 3,5 \text{ m}^3$ und $\vartheta_2 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$. Welcher Druck p_{abs2} herrscht?

$$p_{\text{abs2}} = \frac{p_{\text{abs1}} \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot V_2} \\ = \frac{1 \text{ bar} \cdot 30 \text{ m}^3 \cdot 423 \text{ K}}{288 \text{ K} \cdot 3,5 \text{ m}^3} = \mathbf{12,6 \text{ bar}}$$

Unter dem Normalvolumen V_N versteht man das Volumen, das ein Gas bei einem Druck $p_{\text{abs}} = 1013 \text{ bar}$ und einer Temperatur $T = 273 \text{ K}$ ($= 0 \text{ }^\circ\text{C}$) einnimmt.

¹irischer Physiker Robert Boyle, franz. Physiker Edme Mariotte

Sonderfälle

bei konstanter Temperatur:

$$p_{\text{abs1}} \cdot V_1 = p_{\text{abs2}} \cdot V_2$$

bei konstantem Volumen:

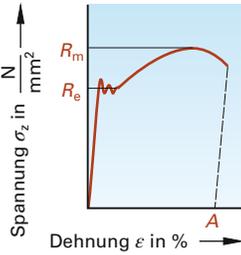
$$\frac{p_{\text{abs1}}}{T_1} = \frac{p_{\text{abs2}}}{T_2}$$

bei konstantem Druck:

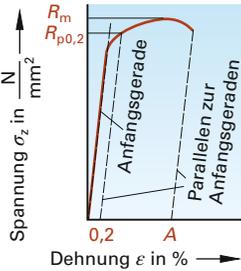
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Zugversuch

vgl. DIN EN ISO 6892-1: 2017-02



Spannungs-Dehnungs-Diagramm mit ausgeprägter Streckgrenze,
z. B. bei weichem Stahl



Spannungs-Dehnungs-Diagramm ohne ausgeprägte Streckgrenze,
z. B. bei vergütetem Stahl

Zweck: Ermittlung des Werkstoffverhaltens bei gleichmäßig zunehmender Zugbeanspruchung.
Durchführung: Eine Zugprobe wird bis zum Bruch gedehnt. Die Änderungen von Zugspannung und Dehnung werden in einem Diagramm dargestellt.

- F Zugkraft
- F_0 Kraft bei Streckgrenze
- F_m Höchstzugkraft
- L Messlänge
- L_0 Anfangsmesslänge
- L_u Messlänge nach Bruch
- d_0 Anfangsdurchmesser der Probe
- S_0 Anfangsquerschnitt der Probe
- S_u kleinster Probenquerschnitt nach Bruch
- ϵ Dehnung (e)
- A Bruchdehnung
- Z Brucheinschnürung
- σ_z Zugspannung (R)
- R_m Zugfestigkeit
- R_e Streckgrenze
- $R_{p0,2}$ Dehngrenze bei 0,2% bleibender Dehnung
- E Elastizitätsmodul

Beispiel:

Zugprobe, $L_0 = 125 \text{ mm}$; $d_0 = 25 \text{ mm}$
 $F_m = 340 \text{ kN}$; $L_u = 143 \text{ mm}$; $R_m = ?$; $A = ?$

$$S_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot (25 \text{ mm})^2}{4} = 490,9 \text{ mm}^2$$

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} = \frac{340000 \text{ N}}{490,9 \text{ mm}^2} = 692,6 \text{ N/mm}^2$$

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \% = \frac{143 \text{ mm} - 125 \text{ mm}}{125 \text{ mm}} \cdot 100 \% = 14,4 \%$$

Das Verhältnis der Streckgrenze R_e bzw. Dehngrenze $R_{p0,2}$ zur Zugfestigkeit R_m gibt Aufschluss über den Wärmebehandlungszustand und die Anwendungsmöglichkeiten des Werkstoffs.

Zugspannung

$$\sigma_z = \frac{F}{S_0} \quad 1$$

Zugfestigkeit

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad 2$$

Streckgrenze

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \quad 3$$

Dehnung

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100 \% \quad 4$$

Bruchdehnung

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \% \quad 5$$

Brucheinschnürung

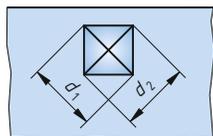
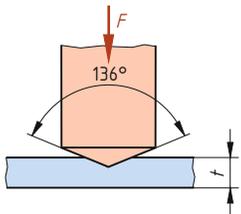
$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \% \quad 6$$

Elastizitätsmodul
Beanspruchung im elastischen Bereich

$$E = \frac{\sigma_z}{\epsilon} \cdot 100 \% \quad 7$$

Härteprüfung nach Vickers

vgl. DIN EN ISO 6507-1: 2018-07



Eindruck der Diamantpyramide

Zweck: Härteprüfung für alle Metalle, besonders für dünne Proben geeignet.

Durchführung: Eine Diamantpyramide mit quadratischer Grundfläche wird in den Probekörper eingedrückt. Aus den Diagonalen d des Eindrucks kann die Vickershärte HV bestimmt werden.

- F Prüfkraft
- d Diagonale des Eindrucks
- t Mindestdicke der Probe

Beispiele für die Angabe der Vickershärte:

| | | |
|--------------------------------------|--|--|
| 540 HV | 1 / 20 | |
| 650 HV | 5 | |
| Härtewert | Prüfkraft F | Einwirkdauer |
| Vickershärte 540 Vickershärte 650 | 1 · 9,80665 N = 9,807 N 5 · 9,80665 N = 49,03 N | Wertangabe: 20 s ohne Angabe: 10 bis 15 s |

Diagonale des Eindrucks

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad 8$$

Mindestdicke

$$t \geq 1,5 \cdot d \quad 9$$

Vickershärte

$$HV = 0,1891 \cdot \frac{F}{d^2} \quad 10$$

WF

BM

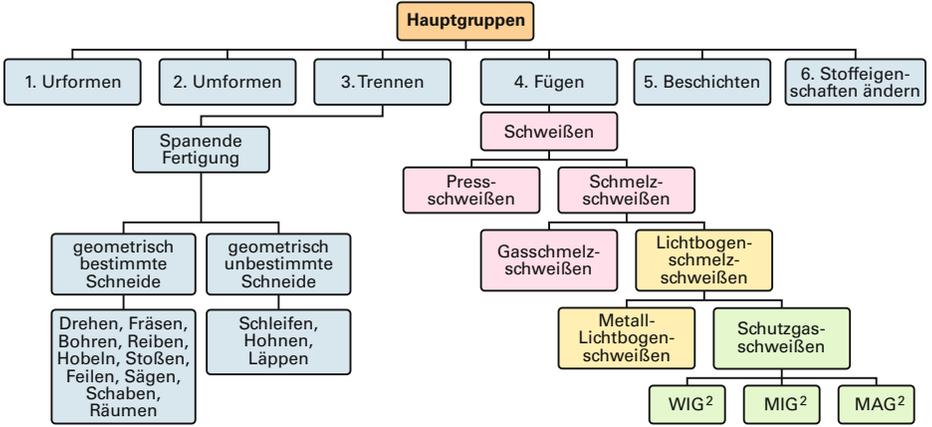
A

D

V

B

Die Fertigungsverfahren sind in sechs Hauptgruppen zusammengefasst (vgl. DIN 8580). Merkmal der Einteilung ist der Begriff **Zusammenhalt** von Teilchen eines festen oder zusammengesetzten Körpers. Oft müssen mehrere Fertigungsverfahren miteinander kombiniert werden, um fertige Produkte herzustellen.



| Hauptgruppe | Fertigung | Verfahren | Bemerkungen |
|---|---|--|---|
| 1. Urformen  Gussgehäuse | aus flüssigem und/oder teigigem Zustand | Gießen, Druckgießen, Thixoforming ¹ | Fertigungsverfahren, bei denen aus formlosem Stoff ein Werkstück und der Zusammenhalt der Stoffteilchen hergestellt werden. www.heunisch-guss.com |
| | aus festem Zustand | Sintern, Pressen | |
| | aus gasförmigem Zustand | Aufdampfen | |
| | aus ionisiertem Zustand | Galvanoformen | Metall wird elektrolytisch aus einem wässrigen Salzbad abgeschieden. Beschichten sehr komplexer Geometrien möglich. |
| | aus flüssigem auf festen Zustand | Sprühkompaktieren | Zur Herstellung von endkonturnahen Bauteilen wird Metallschmelze aus einer Düse versprüht. |
| 2. Umformen  Gesenk-Schmiedeteil  Motorhaube | durch Zug | Tiefen, Weiten, Längen, Streckrichten | Fertigungsverfahren, oft als spanlose Formgebung bezeichnet, in denen Werkstücke aus festen Rohteilen durch bleibende Formänderung durch plastische Formänderung erzeugt werden. Voraussetzung ist die plastische (bildsame) Verformbarkeit des Werkstoffes. Das Volumen des Rohteiles entspricht dem Volumen des Fertigteilies. www.dew-stahl.com www.luitpoldhuette.de www.thyssenkrupp.com |
| | durch Druck | Schmieden, Walzen, Stauen, Freiformen, Strangpressen, Gesenkformen, Eindrücken, Durchdrücken | |
| | durch Zug und Druck | Tiefziehen, Durchziehen, Kragenziehen, Drücken, Knickbauchen, Innenhochdruckweitstauen | |
| | durch Schub | Durchsetzen, Verdrehen, Verschieben | |
| | durch Biegen | Freies Biegen, Gesenkbiegen, Schwenkbiegen, Rollbiegen, Runden, Wickeln | |
| | durch Biegen und Druck | Falten | |

¹ Vereint die Vorteile des Gießens und des Schmiedens.

² Siehe Fertigungsverfahren 3.

WF

BM

A

D

V

B

Drehzahlnomogramm

Nomogram of Revolutions per Minute (rpm)

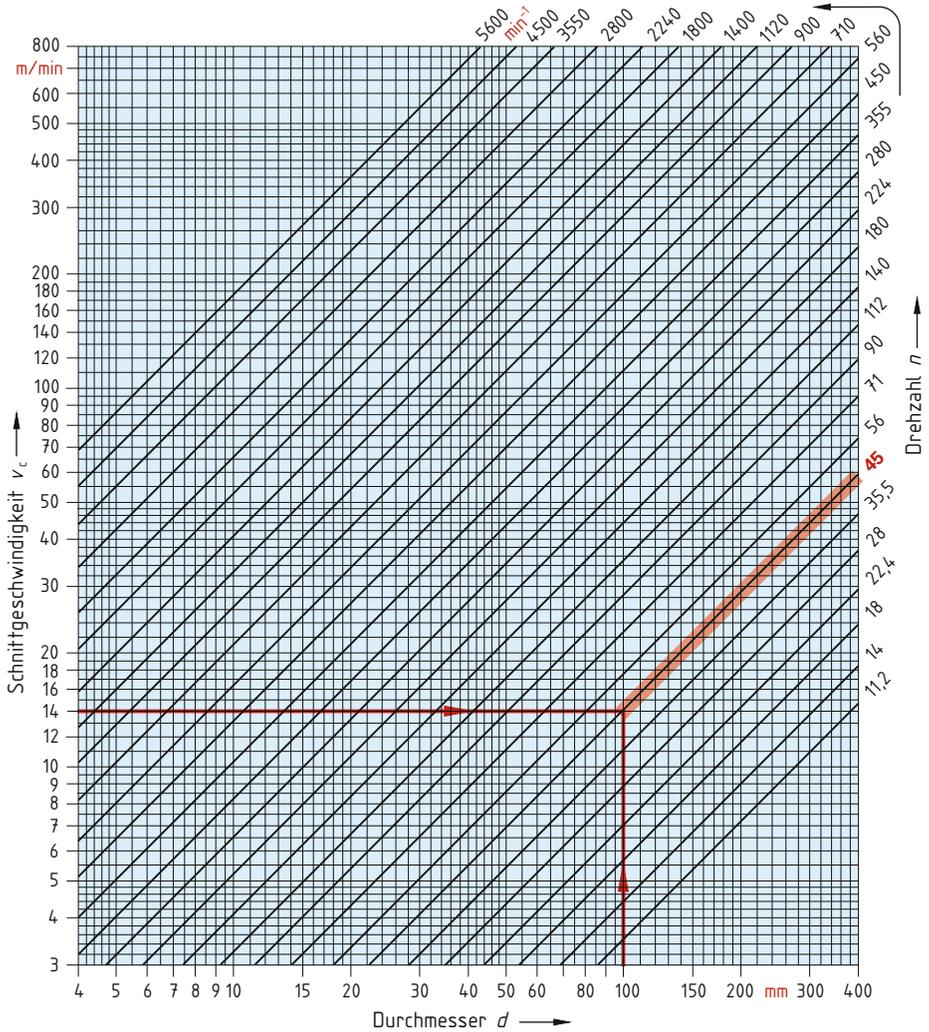
Die Bestimmung der Drehzahl (Umdrehungsfrequenz) n einer Werkzeugmaschine aus dem Werkstückdurchmesser d (z.B. Drehen) bzw. dem Werkzeugdurchmesser d (z.B. Bohren) und der gewählten Schnittgeschwindigkeit v_c kann

- rechnerisch mithilfe Formel 1
- oder grafisch mit dem Drehzahlnomogramm erfolgen.

Drehzahl

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d}$$

Drehzahlnomogramme enthalten die an der Maschine einstellbaren Lastdrehzahlen. Diese sind geometrisch gestuft. Bei stufenlosen Antrieben kann die ermittelte Drehzahl genau eingestellt werden.



WF

BM

A

D

V

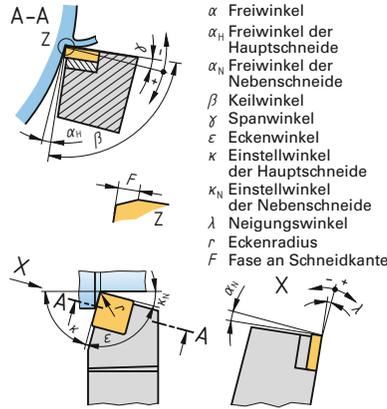
Drehzahlnomogramm mit logarithmisch geteilten Achsen

Berechnungsbeispiel: $d = 100 \text{ mm}; v_c = 14 \frac{\text{m}}{\text{min}}; n = ?;$ $n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{14 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{\pi \cdot 0,1 \text{ m}} = 44,56 \frac{1}{\text{min}}$

Ablesebeispiel: $d = 100 \text{ mm}; v_c = 14 \frac{\text{m}}{\text{min}}; n = ?;$ abgelesen: $n = 45 \frac{1}{\text{min}}$

B

Winkel am Drehmeißel



Rautiefe in Abhängigkeit vom Eckenradius und vom Vorschub

R_{th} theoretische Rautiefe r Eckenradius f Vorschub

Beispiel:
 $R_{th} = 25 \mu\text{m}; r = 1,2 \text{ mm}; f = ?$
 $f \approx \sqrt{8 \cdot r \cdot R_{th}}$
 $= \sqrt{8 \cdot 1,2 \text{ mm} \cdot 0,025 \text{ mm}} = 0,5 \text{ mm}$

Theoretische Rautiefe¹

$$R_{th} = \frac{f^2}{8 \cdot r}$$

¹ Bei kleinen Vorschüben weicht die gemessene Rautiefe von der berechneten (theoretischen) Rautiefe ab.

| Eckenradius r in mm | Schruppen | | Schlichten | | Feindrehen | |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|
| | R_{th} 100 μm | R_{th} 63 μm | R_{th} 25 μm | R_{th} 16 μm | R_{th} 6,3 μm | R_{th} 4 μm |
| Vorschub f in mm je Umdrehung | | | | | | |
| 0,4 | 0,57 | 0,45 | 0,28 | 0,2 | 0,14 | 0,1 |
| 0,8 | 0,80 | 0,63 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,16 |
| 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,25 | 0,2 |
| 1,6 | 1,13 | 0,9 | 0,6 | 0,45 | 0,3 | 0,23 |
| 2,4 | 1,4 | 1,3 | 0,7 | 0,55 | 0,35 | 0,28 |

Schnittdaten für das Drehen mit Schnellarbeitsstahl²

| Werkstoffgruppe | R_m N/mm ² | Härte HB | Bearbeitungsbedingungen | HSS unbeschichtet | | | HSS beschichtet ³ | | |
|--|-------------------------|------------|-------------------------|-------------------|--------|----------|------------------------------|---------|--|
| | | | | v_c m/min | f mm | a_p mm | v_c m/min | f mm | |
| Unlegierte und legierte Bau-, Einsatz- und Vergütungsstähle | <500 | <150 | leicht | 70 | 0,1 | 0,5 | - | | |
| | | | mittel | 55 | 0,5 | 3 | | | |
| | | | schwer | 45 | 1,0 | 6 | | | |
| Unlegierte und legierte Bau-, Einsatz-, Vergütungs- und Werkzeugstähle | 500...700 | 150...200 | leicht | 60 | 0,1 | 0,5 | ...80 | | |
| | | | mittel | 40 | 0,5 | 3 | | | |
| | | | schwer | 30 | 1,0 | 6 | | | |
| Vergütungs- und Nitrierstähle | ...1180 | >200...350 | mittel | - | | | ...60 | bis 1,0 | |
| Gusseisen-Werkstoffe | - | <250 | leicht | 35 | 0,1 | 0,5 | 60 | | |
| | | | mittel | 30 | 0,3 | 3 | 50 | | |
| | | | schwer | 20 | 0,6 | 6 | 35 | | |
| Aluminium-Legierungen | - | <90 | leicht | 180 | 0,3 | 3 | ...800 | | |
| | | | schwer | 120 | 0,6 | 6 | | | |
| Kupfer-Legierungen | - | - | leicht | 125 | 0,3 | 3 | ...200 | | |
| schwer | 100 | 0,6 | 6 | | | | | | |

² Die angegebenen Richtwerte beziehen sich auf eine Standzeit von 15 Minuten. Die Hinweise der Werkzeughersteller sind zu beachten.

³ MitTiN/TiCN und TiAlN beschichtete HSS-Wendeschneidplatten.

Schnittdaten für das Drehen mit Schneidkeramik

| Werkstoffgruppe | Zugfestigkeit R_m N/mm ² bzw. Härte HB; HRC | Schnittgeschwindigkeit v_c m/min | Schnitttiefe a_p mm | | Vorschub f mm | | Schneidstoff |
|-------------------------------|--|------------------------------------|-----------------------|------------|-----------------|------------|--|
| | | | Schruppen | Schlichten | Schruppen | Schlichten | |
| Einsatz- und Vergütungsstähle | 600...1000 | 400 | > 1,5 | 0,3...1 | 0,3...0,45 | 0,2...0,35 | Oxidkeramik + Zinkoxid |
| | >1000...1300 | 250 | | | | | |
| | 600...900 | 250 | 0,5...1,5 | 0,25...0,8 | 0,15...0,3 | 0,1...0,2 | |
| >900...1300 | 150 | | | | | | |
| Gusseisen | 140...210HB | 600 | > 1,5 | 0,3...1 | 0,2...0,6 | 0,2...0,6 | Silicium-nitride mit oxid. Zusatz-schneidstoffen |
| | >210...240HB | 500 | | | | | |
| | >240...280HB | 300 | | | | | |
| Gehärteter Stahl | 48...67 HRC | 130 | 0,1...0,7 | | 0,2...0,15 | | Oxidkeramik + TiC |

Umhüllte Stabelektroden für unlegierte Stähle und Feinkornbaustähle

vgl. DIN EN ISO 2302: 2018-03

Bezeichnungsbeispiel: DIN EN ISO 2302 - A - E 46 3 1Ni B 5 4 H5

Norm-Nummer

Kurzzeichen für umhüllte Stabelektrode

A: Schweißgut mit Streckgrenze, Kerbschlagarbeit 47 J garantiert

Kennziffer für die mechanischen Eigenschaften des Schweißgutes

| Kennziffer | Mindeststreckgrenze N/mm ² | Zugfestigkeit N/mm ² | Mindestbruchdehnung-A in % |
|------------|---------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 35 | 355 | 440 bis 570 | 22 |
| 38 | 380 | 470 bis 600 | 20 |
| 42 | 420 | 500 bis 640 | 20 |
| 46 | 460 | 530 bis 680 | 20 |
| 50 | 500 | 560 bis 720 | 18 |

Kennzeichen für die Kerbschlagarbeit des Schweißgutes

| Kennbuchstabe/Kennziffer | Mindestkerbschlagarbeit 47 J bei |
|--------------------------|----------------------------------|
| Z | keine Anforderungen |
| A | + 20 °C |
| 0 | 0 °C |
| 2 | - 20 °C |
| 3 | - 30 °C |
| 4 | - 40 °C |
| 5 | - 50 °C |
| 6 | - 60 °C |

Hinweis: Ist eine Elektrode für eine bestimmte Temperatur geeignet, ist sie auch für jede höhere Temperatur verwendbar.

Kurzzeichen für die chemische Zusammensetzung des Schweißgutes

| Legierungskurzzeichen | Chemische Zusammensetzung in % | | |
|-----------------------|--------------------------------|-------------|--------------|
| | Mn | Mo | Ni |
| Kein Kurz. | 2,0 | - | - |
| Mo | 1,4 | 0,3 bis 0,6 | - |
| MnMo | >1,4 bis 2,0 | 0,3 bis 0,6 | - |
| 1Ni | 1,4 | - | 0,6 bis 1,2 |
| 2Ni | 1,4 | - | 1,8 bis 2,6 |
| 3Ni | 1,4 | - | >2,6 bis 3,8 |
| Mn1Ni | >1,4 bis 2,0 | - | 0,6 bis 1,2 |
| 1NiMo | 1,4 | - | 0,6 bis 1,2 |
| Z | Vereinbarte Zusammensetzung | | |

Kennzeichen für den Wasserstoffgehalt

| Kennzeichen | Wasserstoffgehalt in ml/100 g Schweißgut |
|-------------|--|
| H 5 | 5 |
| H 10 | 10 |
| H 15 | 15 |

Kennziffer für die Schweißposition

| Kennziffer | Schweißposition |
|------------|---|
| 1 | Alle Positionen |
| 2 | Alle Positionen, außer Fallnaht |
| 3 | Stumpfnah in Wannenposition, Kehlnah in Wannen- u. Horizontalposition |
| 4 | Stumpf- u. Kehlnah in Wannenposition |
| 5 | Für Fallnaht und wie Ziffer 3 |

Kennziffer für Ausbringung und Stromart

| Kennziffer | Ausbringung | Stromart |
|------------|-------------|-------------------------|
| 1 | > 105 | Wechsel- u. Gleichstrom |
| 2 | > 105 | Gleichstrom |
| 3 | > 105 ≤ 125 | Wechsel- u. Gleichstrom |
| 4 | > 105 ≤ 125 | Gleichstrom |
| 5 | > 125 ≤ 160 | Wechsel- u. Gleichstrom |
| 6 | > 125 ≤ 160 | Gleichstrom |
| 7 | > 160 | Wechsel- u. Gleichstrom |
| 8 | > 160 | Gleichstrom |

Kurzzeichen für den Umhüllungstyp

| Kurzzeichen | Art der Umhüllung |
|-------------|------------------------|
| A | sauerumhüllt |
| C | zelluloseumhüllt |
| R | rutilumhüllt |
| RR | dick-rutilumhüllt |
| RC | rutilzellulose-umhüllt |
| RA | rutilsauer-umhüllt |
| RB | rutilbasisch-umhüllt |
| B | basisch-umhüllt |

⇒ DIN EN ISO 2303 - A - E 42 A RR 12: Schweißguteigenschaften: Mindeststreckgrenze = 420 N/mm², Kerbschlagarbeit bei 20 °C = 47 J; Umhüllungstyp: dick-rutil; Ausbringung > 105 %; für alle Schweißpositionen, außer für Fallnähte (senkrechte Nähte).

Abmessungen umhüllter Stabelektroden

vgl. DIN EN ISO 2302: 2018-03

| Durchmesser d in mm | Länge / in mm | | | | Durchmesser d in mm | Länge / in mm | | | | Durchmesser d in mm | Länge / in mm | | | |
|---------------------|---------------|-----|-----|-----|---------------------|---------------|-----|-----|-----|---------------------|---------------|-----|-----|--|
| | 225 | 250 | 300 | 350 | | 300 | 350 | 400 | 450 | | 350 | 400 | 450 | |
| 2,0 | 225 | 250 | 300 | 350 | 3,2 | 300 | 350 | 400 | 450 | 5,0 | 350 | 400 | 450 | |
| 2,5 | - | 250 | 300 | 350 | 4,0 | - | 350 | 450 | 450 | 6,0 | 350 | 400 | 450 | |

WF

BM

A

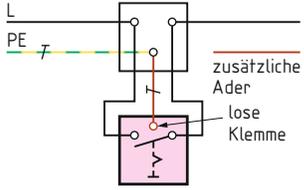
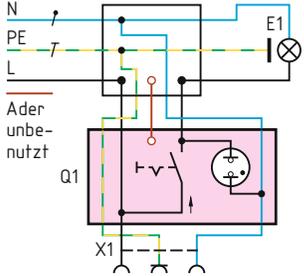
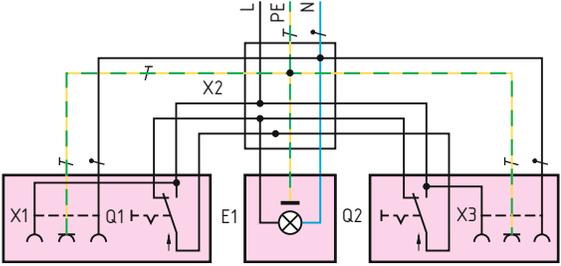
D

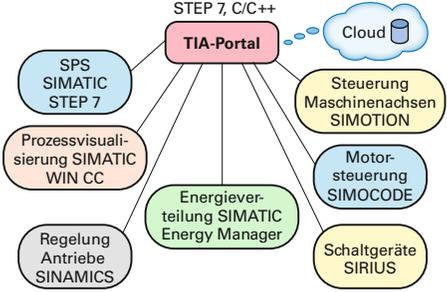
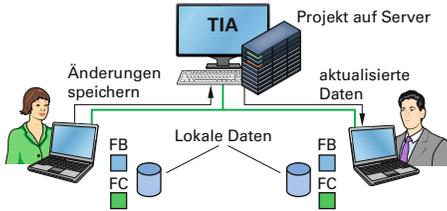
V

B

| Schaltung | Formeln | Spannungsverläufe |
|---|---|-------------------|
| <p>Invertierer, Umkehrverstärker</p> | $U_1 \approx 0$ $I_e \cdot R_K + U_a - U_1 = 0$ $I_e \cdot R_e + U_1 = U_e$ $U_a = -I_e \cdot R_K$ $U_e = I_e \cdot R_e \Rightarrow U_a/U_e = -R_K/R_e$ <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block; margin: 5px;"> $U_a = -\frac{R_K}{R_e} \cdot U_e$ $V_u = \frac{U_a}{U_e}$ </div> | |
| <p>Nichtinvertierer</p> | $U_1 \approx 0$ $U_e = I_K \cdot R_Q$ $U_a = I_K \cdot (R_Q + R_K)$ <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block; margin: 5px;"> $\frac{U_a}{U_e} = 1 + \frac{R_K}{R_Q}$ $V_u = 1 + \frac{R_K}{R_Q}$ </div> | |
| <p>Summierverstärker</p> | $U_{e1} = I_{e1} \cdot R_{e1} + U_1$ $U_{e2} = I_{e2} \cdot R_{e2} + U_1$ $U_1 = R_K (I_{e1} + I_{e2}) + U_a$ $U_1 \approx 0; I_1 \approx 0$ $U_a = -R_K (I_{e1} + I_{e2})$ <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block; margin: 5px;"> $U_a = -\left[\frac{R_K}{R_{e1}} \cdot U_{e1} + \frac{R_K}{R_{e2}} \cdot U_{e2} \right]$ </div> | |
| <p>Subtrahierverstärker</p> | $U_1 \approx 0; I_1 \approx 0$ $U_{e1} - U_{e2} = I_{e1} \cdot R_{e1} - I_{e2} \cdot R_{e2}$ $I_{e1} = (U_{e1} - U_a)/(R_{e1} + R_K)$ $I_{e2} = U_{e2}/(R_{e2} + R_Q)$ <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block; margin: 5px;"> $U_a = \frac{R_Q(R_{e1} + R_K)}{R_{e1}(R_{e2} + R_Q)} \cdot U_{e2} - \frac{R_K}{R_{e1}} \cdot U_{e1}$ </div> | |
| <p>Integrierer</p> | <p>Für nicht sinusförmige Größen:</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block; margin: 5px;"> $\Delta U_a = -\frac{U_e}{C_K \cdot R_e} \cdot \Delta t$ </div> <p>Für sinusförmige Größen:</p> $\frac{U_{a-}}{U_{e-}} = -\frac{X_C}{R_e}$ <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block; margin: 5px;"> $U_{a-} = -\frac{1}{R_e \cdot \omega \cdot C_K} \cdot U_{e-}$ </div> | |

I_e Eingangsstrom, I_K Kopplungsstrom, R_e Eingangswiderstand, R_K Rückkopplungswiderstand, R_Q Querwiderstand, U_1 Spannung zwischen invertierendem und nicht invertierendem Eingang, U_a Ausgangsspannung, U_{a-} Ausgangsspannung, U_e Eingangsspannung, U_{e-} Eingangsspannung, U_{e-} Eingangsspannung, U_{e-} Eingangsspannung, V_u Spannungsverstärkungsfaktor, X_C kapazitiver Blindwiderstand.

| Anlass, Begriff | Erklärung | Beispiel |
|---|---|---|
| <p>Grundschaltungen</p> <p>Fehlerschutz</p> | <p>Bei Installationsschaltungen wird in Prospekten und Schaltungsbüchern meist nur der für den Betriebsstrom wichtige Stromweg angegeben, also z. B. vom Außenleiter L über Schalter und Last zum Neutralleiter N. Die für den Fehlerschutz erforderlichen Leitungen sind oft nicht oder nur teilweise angegeben.</p> |  <p>Dreidriger Schalteranschluss</p> |
| <p>Forderungen von DIN VDE 0100-410</p> | <ul style="list-style-type: none"> • „In jedem Stromkreis muss ein Schutzleiter vorhanden sein“. • Bei Schutzklasse II: „Ein Schutzleiter muss in der gesamten Leitungsanlage mitgeführt werden“. | <p>Ein nicht benötigter PE ist am Schalter an einer festen oder in die Schalterdose eingeleiteten (losen) Klemme zu befestigen und an der Abzweigdose an der PE-Klemme.</p> |
| <p>Leiter für den Fehlerschutz</p> <p>Mehradraderleitung, Aderleitung</p> <p>Lagerhaltung des Materials</p> <p>grün-gelbe Ader, blaue Ader</p> <p>dreidrigere Leitung anstelle einer zweidrigeren</p> <p>PE erleichtert die Überwachung</p> <p>RCD verhindert Missbrauch</p> <p>fünfadrigere Leitung anstelle von dreidrigere</p> | <p>Der PE wird deshalb oft bei der Grundschaltung zu jeder Last und jeder Steckdose angegeben.</p> <p>Die 2. Forderung legt nahe, den PE bei Schalterleitungen mitzuführen. Das ist bei Mehradrerleitungen mit PE gegeben, während bei Aderleitungen der PE als weitere Ader eingezogen werden muss.</p> <p>Die Anzahl der vorzuhaltenden Leitungen sollte wegen der Kosten möglichst niedrig bleiben. So wird in vielen Betrieben die Aderzahl von vorrätigen Mehradrerleitungen auf 3 und 5 beschränkt. Dabei ist eine Ader grün-gelb, also nur als PE, PB oder Erde verwendbar. Die blaue Ader kann als N verwendet werden oder anderweitig, nicht aber als PE oder PEN.</p> <p>Für die Leitung zu einem Ausschalter oder Taster kann eine dreidrigere Leitung verwendet werden, wobei die grün-gelbe Ader am Ausschalter bzw. Taster nicht zur Stromleitung angeschlossen werden darf.</p> <p>Ein PE in der Schalterleitung dient der Überwachung der Leitungsanlage. Der PE ermöglicht z. B. die Messung des Isolationswiderstandes.</p> <p>Die missbräuchliche Verwendung des PE als PEN-Leiter wird verhindert, wenn der Fehlerschutz durch Abschaltung mittels RCD erfolgt.</p> <p>Ermöglicht bei der Ausschaltung eine Steckdose und außerdem die Verwendung des Ausschalters als Kontrollschalter. Eine übrig bleibende Ader ist an eine zusätzliche lose Klemme zu legen oder zu isolieren, sofern keine Klemme verfügbar ist.</p> |  <p>Ausschaltung mit fünfadrigere Schalterleitung und Steckdose</p> |
| <p>B</p> |  <p>Sparwechselschaltung mit Steckdosen an beiden Schaltern</p> | <p>Bei der üblichen Wechselschaltung ermöglichen fünfadrigere Schalterleitungen eine Steckdose nur unter dem Schalter, der an L angeschlossen ist. Als Kontrollschalter ist nur der Schalter möglich, an den der Schalterdraht angeschlossen ist. Dasselbe gilt für die Wechselschalter einer Kreuzschaltung.</p> <p>Die Sparwechselschaltung erlaubt bei fünfadrigere Schalterleitungen unter jedem Schalter eine Steckdose. Dabei geht der Außenleiter bei beiden Schaltern zu einem Anschluss für Korrespondierende (Schalter verbindende Leiter).</p> |

| Merkmal | Erklärung | Bemerkungen |
|--|---|---|
| Anwendung TIA-Portal | <p>Das TIA-Portal (Totally Integrated Automation) dient zum Verwalten und Entwickeln von Automatisierungsprojekten.</p> <p>Bestandteile sind SPS-Programmierung, Visualisierung von Steuerungs- und Regelungsprozessen, Parametrierung elektrischer Antriebssysteme sowie deren Regelungen.</p> <p>www.siemens.com</p> |  <p>Systemintegration mittels TIA-Portal</p> |
| Multi-User-Engineering Einchecken | <p>Mehrere Benutzer (User) können gleichzeitig an gleichen Projekten arbeiten. Die Projektverwaltung liegt z.B. auf einem zentralen Server. Die Anwender arbeiten unabhängig voneinander an lokalen Geräten über das TIA-Portal mit den vom zentralen Server verwalteten Daten. Über die lokalen Geräte vorgenommene Änderungen werden durch Einchecken (Anmelden) in den Server übertragen und bei anderen Bearbeitern zum Übernehmen angezeigt.</p> |  <p>Paralleles Arbeiten über das TIA-Portal</p> |
| Programmierarten | <p>Programmierung KOP, FUP, AWL, SCL und Graph für Steuerungen SIMATIC S7 mit STEP 7. C/C++ ist integrierbar.</p> | <p>Programmieren mit Variablen (symbolische Adressierung) → bessere Lesbarkeit, globales Verwenden. Merker und absolute Adressen sind im Ablaufprogramm nicht programmierbar.</p> |
| Ablauf der Programmierung (nach Projektanlage, Hardwareauswahl) | <ul style="list-style-type: none"> • Vereinbarung der SPS (PLC)-Variablen in der PLC-Variablen-tabelle. • Bausteine erstellen, → Organisationsbausteine, Funktionsbausteine, Funktionen. • Bausteinschnittstellen vereinbaren, d.h. Eingangsvariablen, Ausgangsvariablen festlegen (deklarieren). • Bausteine programmieren. • Bausteinaufrufe ggf. im OB1 (MAIN). | <p>Die PLC-Variablen-tabelle enthält die Variablennamen, Datentypen und Adressen der Variablen. Beispiel: Variablenname, Datentyp, Adresse → EIN, Bool, %E2.4 (% für absolute Adresse).</p> <p>Den Bausteinen müssen die jeweiligen Datenbausteine zugeordnet werden.</p> <p>Mittels Beobachtungstabelle sind die Speicherinhalte der Adressbereiche beim Programmtest ansehbar.</p> |
| Allgemeine Datentypen Siehe auch Seite 282 Datentyp Variant Datentyp Struct PLC-Datentyp | <p>Ganzzahl (Integer, Int) von 8 bit bis 64 bit Breite, Gleitpunktzahl (Real) mit 32 bit oder 64 bit Breite, Wort (Word) von 16 bit bis 64 bit Breite. Datentypen für Systemzeit, Zeiten mit 64 bit Breite. Ferner Datentypen Bool, Char, String.</p> <p>Kann mit Variablen verschiedener Datentypen umgehen.</p> <p>Umfasst Datenstruktur mit Elementen verschiedener Datentypen.</p> <p>Dient zum Zusammenfassen von zusammengehörigen Daten, z. B. Drehrichtung, Sollwerte Drehzahl, Temperatur.</p> | <p>UInt, SInt, USInt, UDInt, ULInt, LInt, Real, LReal, DWord, LWord, U unsigned, S signed, L long, D double, Date, Date-Time-Long, Time, LTime, WChar, WString für Unicode-Zeichen, W wide.</p> <p>Anwendung z. B. als Eingangs-, Ausgangsparameter von Anwendungen zum Datenaustausch.</p> <p>Die Definition der Datenstruktur erfolgt im entsprechenden Baustein.</p> <p>Die Definition erfolgt zentral im Ordner PLC-Datentypen des TIA-Portals. Zentrales Ändern möglich.</p> |
| Besondere Anweisungen | <p>CALCULATE für mathematische Berechnungen.</p> <p>RUNTIME zum Messen der Programm-laufzeit eines Bausteins.</p> | <p>Beispiele sind Grundrechenarten, trigonometrische Funktionen, Runden, Logarithmus.</p> <p>Es können auch minimale, maximale Baustein-Laufzeiten ermittelt werden.</p> |
| Bibliotheken | <p>Zu unterscheiden Projekt-Bibliothek und Globale Bibliothek für z. B. Anweisungen und Funktionen.</p> | <p>Projektbibliothek ist Bestandteil eines Projektes und wird mit diesem Projekt verwaltet. Wiederverwendung nur innerhalb dieses Projektes möglich.</p> |

BM

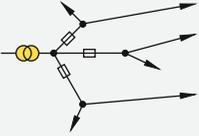
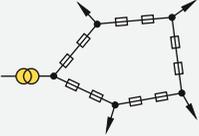
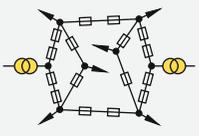
A

D

V

B

Netzformen (Topologie)

| Art | Kennzeichen | Anwendung | Vorteile und Nachteile |
|--|---|--|--|
|  <p>Strahlennetz</p> | Die Energieversorgung verteilt sich strahlenförmig von einem gemeinsamen Einspeisepunkt aus. An jedem Strahl sind ein oder mehrere Verbraucher angeschlossen. | In Mittel- und Niederspannungsnetzen. Zur Energieversorgung von Reihendörfern oder Siedlungen in engen Tälern. | Hoher Spannungsfall am Ende der Leitung. Große Spannungsschwankungen abhängig von den Anschlusswerten der Verbraucher. Sichere Energieversorgung ist nicht gewährleistet. Große Leiterquerschnitte sind erforderlich. |
|  <p>Ringnetz</p> | Das Ende eines Versorgungsstrahls wird an den Einspeisepunkt zurückgeführt. Mehrere Einspeisungen sind möglich. | Bei flächenförmiger Anordnung weniger Verbraucher, die weit auseinander liegen, z.B. Aussiedlerhöfe oder verteilte Industrieanlagen. Mittel- und Niederspannungsnetze. | Aufwendiger als das Strahlennetz, da Rückführung erforderlich. Größerer Aufwand am Einspeisepunkt. Hohe Versorgungssicherheit, da von beiden Seiten eingespeist werden kann, falls in einem Teilstück eine Störung vorliegt. |
|  <p>Maschennetz</p> | Mehrere Einspeisepunkte. Diagonalverbindungen versorgen die in der Masche liegenden Verbraucheranlagen. | Für Hoch-, Mittel- und Niederspannungsanlagen. Versorgung von Großstädten. | Hohe Spannungs Konstanz. Kleine Leitungsverluste. Große Versorgungssicherheit. Hoher Aufwand für Schutzgeräte und Netzschaltanlagen durch hohe Kurzschlussströme. |

Unterscheidung nach Spannung

| Bezeichnung | Bemessungsspannung in kV | Anwendung | Mastbauart | Spannweite in m |
|---|----------------------------|---|--------------------------|-----------------|
| Niederspannungsnetz | 0,23/0,4 | Energieversorgung von Wohnungen, Gewerbebetrieben und Landwirtschaft. | Holz, Beton, Stahlrohr | 40 bis 80 |
| Mittelspannungsnetz | 6, 10, 20, 30, 60 (66, 69) | Energieversorgung von Ortsnetzstationen, Industriebetrieben und großen Wohneinheiten. Regionalnetz. | Holz, Beton, Stahlgitter | 80 bis 220 |
| Hochspannungsnetz 1 | 110, 220, 380 | Energieversorgung von Großstädten, großen Industriebetrieben. Kraftwerksverbund. | Stahlgitter, Stahlbeton | 200 bis 350 |
| Hochspannungsnetz 2 (Höchstspannungsnetz) HGÜ | 500, 750 | Energieübertragung über große Strecken, z.B. von Offshore-Windenergie-Anlagen zum Verbundnetz. | Stahlgitter, Stahlbeton | bis 750 |

Unterscheidung nach Leitungsart

| Bezeichnung | Spannungsbereich | Anwendung | Bemerkungen |
|------------------|------------------|---|---|
| Freileitungsnetz | Niederspannung | Ortsnetze | Alte Anlagen u. Erweiterungen. Billiger als Kabelnetze. |
| | Mittelspannung | Regionale und überregionale Energieversorgung. Europäisches Verbundnetz zur Absicherung nationaler Versorgung. | Preisgünstiger als Kabelnetz. Weniger Verluste. Kleinere Kapazität. Leicht überwachbar. |
| | Hochspannung | | |
| Kabelnetz | Niederspannung | Ortsnetze | Kunststoffisolierte Kabel (PVC oder VPE) |
| | Mittelspannung | Verbindungskabel zu den Umspannstationen in Ortsnetzen oder großen Industrieanlagen. Über 110 kV sind nur kurze Verbindungsstrecken möglich. | Anlagen bis 1980 erstellt: bis 60 kV Massekabel, darüber Gasdruck- und Öldruckkabel. Neue Anlagen: Meist VPE-Kabel. |
| | Hochspannung | | |

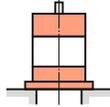
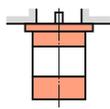
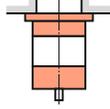
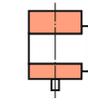
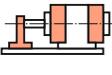
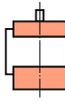
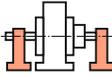
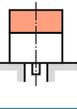
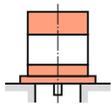
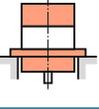
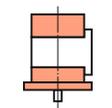
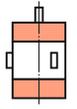
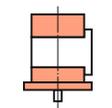
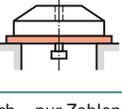
| Benennung | Schaltplan | Spannungsverlauf | Formeln | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| Einwingschaltung E1 | | | $P_T/P_d = 3,1$ Ohne C: $U_{di}/U_1 = 0,45$ Mit C: $U_{di}/U_1 = 1,41$ $I_Z = I_d$ | Belastung mit Gegenspannung, z.B. mit C, verdoppelt die Sperrspannung. |
| Zweipuls-Mittelpunkt-schaltung M2 | | | $U_{di}/U_1 = 0,45$ $P_T/P_d = 1,5$ $I_Z = I_d/2$ | Transformator muss einen Mittelabgriff haben. |
| Dreipuls-Mittelpunkt-schaltung (Sternschaltung) M3 | | | $U_{di}/U_1 = 0,676$ $P_T/P_d = 1,5$ $I_Z = I_d/3$ | Im Sternpunktleiter fließt der gesamte Gleichstrom. |
| Zweipuls-Brückenschaltung B2 | | | $U_{di}/U_1 = 0,9$ $P_T/P_d = 1,23$ $I_Z = I_d/2$ | Für niedrige Spannungen (< 5 V) weniger geeignet, weil U_d um das Doppelte der Schleusenspannung kleiner ist als U_{di} . Dadurch wäre der Wirkungsgrad klein. |
| Sechspuls-Brückenschaltung B6 | | | $U_{di}/U_1 = 1,35$ $P_T/P_d = 1,1$ $I_Z = I_d/3$ | Anmerkung: Gleichrichter-Bauelemente sind Schaltungen mit einzelnen Bauelementen zu bevorzugen. |
| Einpuls-Verdopplerschaltung D1 (Ladungspumpe) | | | $U_{di}/U_1 = 2,82$ $P_T/P_d = 1,55$ $I_Z = I_d$ | Sperrspannung ist gleich der Summe von der abgegebenen Gleichspannung U_d und Anschlusswechselspannung. |
| Zweipuls-Verdopplerschaltung D2 (Ladungspumpe) | | | $U_{di}/U_1 = 2,82$ $P_T/P_d = 1,55$ $I_Z = I_d$ | |
| Gesteuerte Stromrichterschaltungen, z.B. B2C, B2H | Die ungesteuerten (fremdgeführten) Schaltungen E1, M2, M3, B2 und B6 werden zu gesteuerten Stromrichterschaltungen, wenn Dioden durch IGBTs oder Einrichtungsthyristoren ersetzt werden. Dabei gilt für die Schaltungen: Bei voll gesteuerten Schaltungen (Kennzeichen C) sind in E1, M2, M3, B2 und B6 alle Dioden ersetzt durch IGBTs oder Einrichtungsthyristoren. Bei halbgesteuerten Schaltungen (Kennzeichen H) sind in B2 und B6 die Hälfte der Dioden ersetzt durch IGBTs oder Einrichtungsthyristoren. | | | |
| C Kapazität | P_T Transformatorbauleistung | U_1 Anschlussspannung | | |
| I_d Gleichstrom | T Periodendauer | U_{di} Gleichspannung | | |
| I_Z Stromstärke im Zweig | t Zeit | U_{di} ideale Leerlauf-Gleichspannung | | |
| P_d Gleichstromleistung | u Spannung | | | |

A

D

V

B

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

IM-Code I (alphanumerisch = Buchstabe + Zahl)

Grundzeichen: IM 1 + 2

Buchstabe 1: B mit Lagerschildern, Welle horizontal
V mit Lagerschildern, Welle vertikal

Bauformen mit A, C, D, W nur in alten Anlagen.

Zahl 2: codiert Lager, Befestigung, Wellenende

IM-Code II (numerisch = nur Zahlen)

Grundzeichen: 1 + 2 + 3 + 4

1 Fußanbau, Flanschbau, Lager (codiert)

2 Befestigung, Lager

3 Lage Wellenende und Befestigung

4 Art Wellenende

A

D

V

B

Getriebe von Kleinstmotoren



Stirnradgetriebe

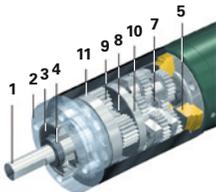
Oft sollen Kleinstmotoren ein größeres Drehmoment abgeben als ihrer Baugröße entspricht. Mechanische Getriebe setzen die Drehzahl herunter, das Drehmoment aber fast im umgekehrten Verhältnis herauf.

Wird z. B. die Drehzahl auf 1/10 herabgesetzt, steigt das Drehmoment auf das 10-Fache. Besonders große Untersetzungsverhältnisse bis 6000 : 1 sind mit Planetengetrieben möglich (siehe folgende Seite). Diese besitzen mehrere Planetenzahnräder, die um ein Sonnenzahnrad kreisen.

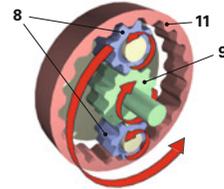
1 Abgangswelle, 2 Flansch, 3 Lager Abgangswelle, 4 axiale Sicherung, 5 Zwischenplatte, 6 Zahnrad, 7 Motorritzel, 8 Planetenräder, 9 Sonnenrad, 10 Planetenträger, 11 Hohlräder

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

www.maxonmotor.com



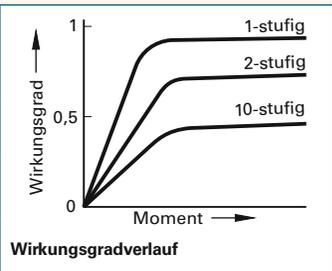
Planetengetriebe



Prinzip des Planetengetriebes

Getriebedaten

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



Daten von Kleinstantrieben

| Typ | ∅ in mm | Länge in mm | Kommütierung | Typenleistung in W | Masse in g | maximaler Wirkungsgrad in % |
|------------|---------|-------------|--------------|--------------------|------------|-----------------------------|
| RE8 | 8 | 16 | EB | 0,5 | 4,1 | 68 |
| RE13 | 13 | 19,2/21,6 | EB | 1,2 | 12/15 | 68/70 |
| RE13 | 13 | 31,4/33,8 | EB | 2,5 | 12-15 | 78/80 |
| RE15 | 15 | 22,3 | EB CLL | 1,6 | 20 | 71 bis 74 |
| RE35 | 35 | 70,9 | GB | 90 | 340 | 66 bis 68 |
| RE40 | 40 | 71 | GB | 150 | 480 | 83 bis 92 |
| RE75 | 75 | 201,5 | GB | 250 | 2800 | 77 bis 84 |
| EC6 | 6 | 21 | BL | 1,2 | 2,8 | 41 bis 50 |
| EC16 | 16 | 40,2 | BL | 15 | 34 | 67 bis 68 |
| EC22 | 22 | bis 67,7 | BL | bis 50 | 85 bis 130 | 73 bis 86 |
| EC6 flach | 6 | 2,2 | BL | 0,03 | 0,32 | - |
| EC14 flach | 13,6 | 11,7 | BL | 1,5 | 8,5 | 39,4 |
| EC20 flach | 20 | 9,5 | BL | 3 | 15 | 62,5 |
| EC90 flach | 90 | 27,1 | BL | 90 | 648 | 86 |

Schaltung zur Stromversorgung
www.maxonmotor.com

4-Q-Servoverstärker

DC-Motor

4-Q-EC-Servoverstärker

EC-Motor

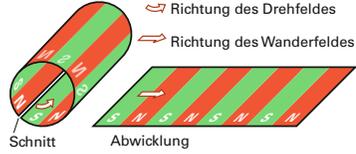
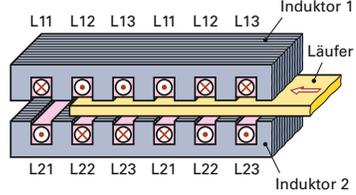
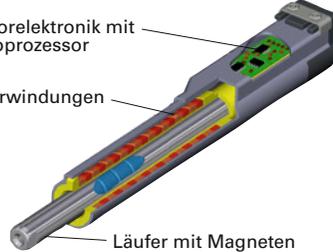
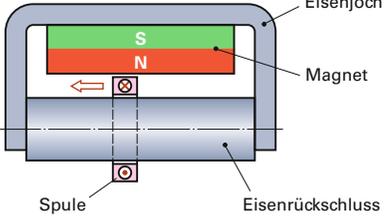
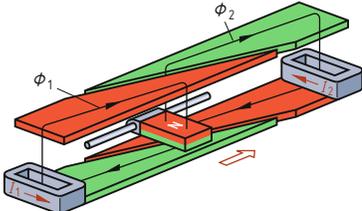
| | | | | | |
|-----|---------------------|--------|-------------------------|--------|------------------------------|
| BL | bürstenlos | EC | elektronisch kommutiert | RE | Rotor, eisenlos (rare earth) |
| CLL | Capacitor Long Life | GB | Gratitbürsten | SG, GS | Stirnradgetriebe |
| DC | Gleichstrom | K | Kunststoffausführung | Q | Quadrant |
| EB | Edelmetallbürsten | PG, GP | Planetengetriebe | | |

A

D

V

B

| Aufbau, Bezeichnung | Wirkungsweise | Bemerkungen |
|--|---|---|
|  <p>Entstehung des Linearmotors aus dem Kurzschlussläufermotor</p> | <p>Linearmotoren sind Antriebsmaschinen, die eine lineare (gerade) Bewegungskraft hervorrufen. Lineare Maschinen besitzen fast die gleichen Baukomponenten wie herkömmliche Elektromotoren. Sie unterscheiden sich lediglich in ihrem geometrischen Aufbau.</p> | <p>Als Motorprinzipien werden Asynchron-Linearmotoren, permanenterrregte Synchron-Linearmotoren und Gleichstrom-Linearmotoren verwendet. Bei linearen Maschinen muss man zwischen zwei Ausführungsmöglichkeiten unterscheiden:</p> |
|  <p>Wechselstrom-Linearmotor mit zwei Induktoren</p> | <p>Normale Elektromotoren besitzen einen Ständer und einen sich darin drehenden Läufer. Zum Verständnis des Linearmotors denkt man sich den Ständer eines Drehstrommotors am Umfang aufgeschnitten und gestreckt. Wird die in eine Ebene gestreckte Drehstromwicklung mit Drehstrom gespeist, so bewegt sich das Magnetfeld in eine Richtung. Somit wird die elektrische Energie direkt in eine lineare Bewegung umgewandelt.</p> | <p>Langstatorbauweise: Wird der Ständer längs der Strecke verlegt, so spricht man bei Linearmotoren von der Langstatorbauweise. Hier wird der Stator direkt mit einer Drehstromquelle versorgt, sodass bewegte Kontakte zum Läufer vollständig entfallen.</p> <p>Kurzstatorbauweise: Wird der Rotor längs der Strecke verlegt, so spricht man von der Kurzstatorbauweise. Bei dieser Variante werden Schleifringe, die den bewegten Ständer mit elektrischer Energie versorgen, benötigt.</p> |
|  <p>Schnittmodell eines Synchron-Linearmotors</p> | <p>Statt eines Drehfeldes entsteht also ein Wanderfeld.</p> <p>Während der Läufer eines Asynchron-Linearmotors aus einer leitenden Metallplatte besteht, besitzt der Läufer eines Synchron-Linearmotors Elektro- oder Permanentmagnete.</p> | <p>Linearmotoren werden in unterschiedlichen Anwendungen eingesetzt und lösen Aufgaben, die zuvor mit Pneumatikzylindern, Servomotoren oder mechanischen Kurvenscheiben gelöst wurden.</p> |
|  <p>Gleichstrom-Linearmotor in Gleichpolausführung</p> | <p>Gleichstrom-Linearmotoren besitzen ein mit Gleichstrom durchflossenes Spulensystem und Permanentmagnete. Der Gleichstrom muss bei Bewegungsänderung umgepolt werden.</p> <p>Bei der Gleichpolausführung sind die Dauermagnete im Stator und die Spulen im Läufer angebracht (Stromzuführung über Schleppkabel, Schleifkontakte).</p> | <p>Vorteile von Linearmotoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • hohe Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, • dynamische und präzise Positionierung der Last, • hohe Dauerkräfte, • überlastsicher, • keine Haft- und Gleitreibung, • geringer Verschleiß, • hohe Energieausbeute, • hohe Verfügbarkeit. |
|  <p>Gleichstrom-Linearmotor in Wechsepolausführung (obere Polbleche angehoben dargestellt)</p> | <p>Bei der Wechsepolausführung ist die Anordnung umgekehrt (keine Stromzuführung zu beweglichen Teilen).</p> <p>Linearmotoren werden über ein Motorkabel zusammen mit der zugehörigen Regelelektronik betrieben. Ein Lagemesssystem misst und überwacht die aktuelle Position des Linearmotors nicht nur im Stillstand, sondern auch während der Bewegung.</p> | <p>Nachteile des Linearmotors:</p> <ul style="list-style-type: none"> • hohe Kosten (Betriebskosten der Anlage können aber geringer sein), • sensibler und aufwendiger bezüglich der Regelung, • wenige Möglichkeiten zur Kraftübersetzung. <p>Typische Anwendungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transport- und Positioniersysteme, • Magnetschwebbahn, • Automatisierungstechnik. |

A

D

V

B

Wichtige Motorarten für Antriebe

| Art | Vorteile | Nachteile |
|-------------------------------------|---|--|
| Drehstrom-Kurzschlussläufer | Wartungsarm, robust, preiswert, funktstreu. | Großer Einschaltstrom. Drehzahl beim polumschaltbaren Motor in 2 (selten in 3 oder 4) Stufen steuerbar. Sonst nur über Umrichter steuerbar. |
| Synchronmotor | Konstante Drehzahl. Drehmoment von Spannungsschwankung wenig abhängig. Bei Permanentmagneten großer Wirkungsgrad bis IE5. | Drehzahl über Umrichter steuerbar, z.B. Zwischenkreisumrichter mit Pulsweitenmodulation. Moderner Antriebsmotor mit angebautelem Umrichter für AC, 3AC und DC. Reluktanzmotor bis IE5. |
| Drehstrom-Schleifringläufer | Sehr großes Anzugsmoment bei kleinem Anlaufstrom. Drehzahl beschränkt steuerbar. | Anlasser erforderlich, Kohlebürsten brauchen Wartung. Im Betrieb Bürstenfeuer. Gesteuerte Drehzahl ist lastabhängig. |
| Fremderregter Motor für Gleichstrom | Drehzahl sehr gut steuerbar. Nutzbremsung unter Energierücklieferung möglich. Häufiges Einschalten möglich. | Gleichstrom nötig. Erfordert sorgfältige Wartung. Anlasseinrichtung, z.B. steuerbarer Gleichrichter, notwendig. Teuer in der Anschaffung. Im Betrieb Bürstenfeuer. |
| Reihenschlussmotor für Gleichstrom | Sehr großes Anzugsmoment. Mit gebrechtem Ständer Universalmotor (für Gleich- und Wechselstrom geeignet). | Wie bei den anderen Gleichstrommotoren. Ferner: Geht im Leerlauf durch, daher sind Riemetrieb oder Kettentrieb unzulässig. Drehzahl ist stark lastabhängig. |

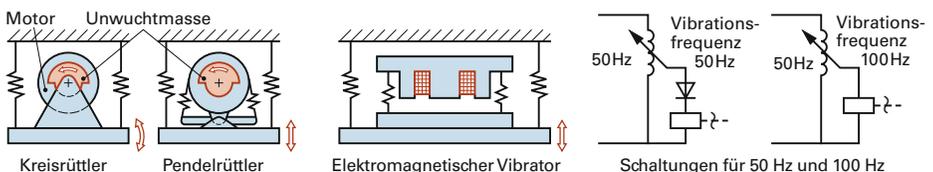
Motordaten für Antriebe

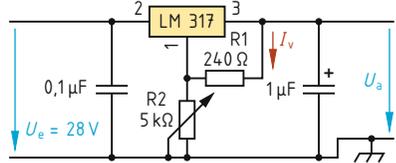
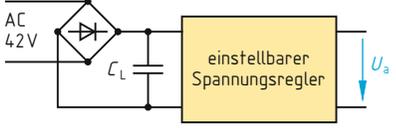
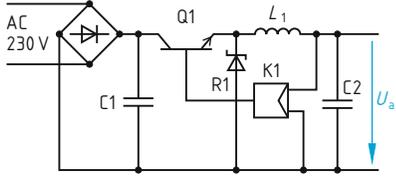
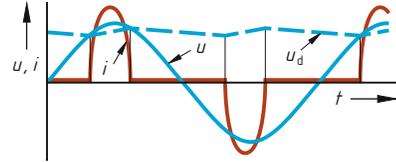
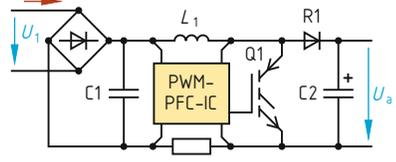
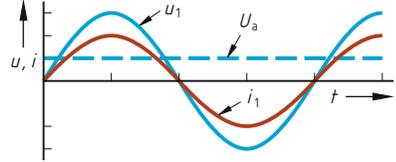
| Art der Arbeitsmaschine | Motorart | Betriebsart | Bem.leistung in kW | Art der Arbeitsmaschine | Motorart | Betriebsart | Bem.leistung in kW |
|--|------------------|---------------------------|--------------------|---|------------------|-----------------------|------------------------------|
| Aufzüge Speiseaufzug sonstige Aufzüge mit Gegengewicht | Dk, Dkp | S 2 30 min | 0,55 bis 1,1 | Lüfter | Dk, S, Dkp | S 1 | bis 1,1 |
| | | S 2 60 min | 2,2 bis 11 | | | | |
| Baumaschinen Betonmischmaschine | Dk | S 1 | 3 bis 7,5 | Metallbearbeitungsmaschinen Bohrmaschine Drehmaschine Fräsmaschine Kaltsäge Schlagschere Schleifbock | Dk, Dkp, S | S 1 | 0,12 bis 5,5 |
| Hebezeuge Kran, Hubwerk Kranfahrwerk Drehwerk | Dk, S | S 3 60 % ED 40 % ED | 3 bis 30 | | | | 0,55 bis 45 |
| | | | 4 bis 15 | | | | 0,75 bis 45 |
| | | | 0,75 bis 5,5 | | | | 1,1 bis 7,5 |
| | | | | | | | 1,1 bis 11 1 bis 3 |
| Holzbearbeitungsmaschinen Bandsäge Hobelmaschine Fräsmaschine Kreissäge | Dk, Dkp, S | S 1 | 2,2 bis 5,5 | Nahrungsmittelmaschinen Fleischwolf Teigknetmaschine | Dk, S | S 1 | 0,75 bis 5,5 |
| | | | 3 bis 15 | | | | 1,1 bis 7,7 |
| | | | 3 bis 11 | | | | |
| Landwirtschaftsmaschinen Gebläsehäckselmaschine Heubelüfter Melkmaschine | Dk | S 1 | 15 bis 22 | Pumpen Kolben- und Kreiselpumpe | Sy, Dk, S | S 1, selten S 2 | 0,12 bis 200 |
| | | | 4 bis 11 | | | | |
| | | | 1,1 bis 2,2 | | | | |
| | | | | Textilmaschinen Spinnereimaschine Webmaschine Flachstrickmaschine | Dk, S, Sy | S 1 | 0,55 bis 3 |
| | | | | | | | 0,25 bis 5,5 0,55 bis 1,1 |

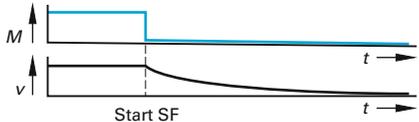
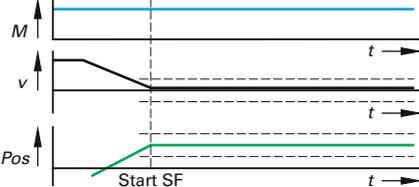
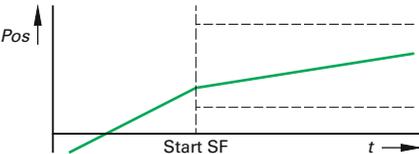
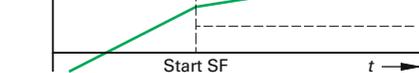
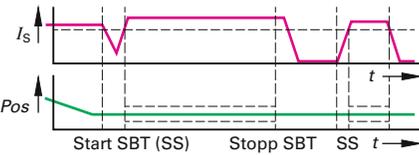
Dk Drehstromkurzschlussläufer; Dkp Drehstromkurzschlussläufer, polumschaltbar; S über Stromrichter gespeister Drehstrommotor oder Stromwendermotor für Gleichstrom; Sy Synchronmotor. Betriebsarten Seite 309.

Vibrationsantriebe

Vibrationsantriebe verwendet man für Rüttler, Förderer, Sortierer, Entwässerer, Siebe.



| Name | Erklärung | Schaltung, Bemerkungen |
|---|---|---|
| Lineare Spannungsregler | Lineare Spannungsregler geben eine fast konstante Ausgangsspannung U_2 ab, auch bei sich ändernder Eingangsspannung U_1 und Last. Die Regelung erfolgt durch Ändern des Spannungsfalls vom Regler, z. B. bei zunehmendem Laststrom durch abnehmenden Spannungsfall. Die Regler bestehen aus mit Kondensatoren und Widerständen beschalteten ICs. Da U_1 größer als U_2 sein muss, ist der Wirkungsgrad klein. |  <p>Einstellbarer Spannungsregler 1,2V bis 25 V</p> |
| Netzteil mit linearem Spannungsregler | Das Netzteil besteht im Prinzip aus einem Transformator, einer Gleichrichterschaltung, einem Ladekondensator und dem Spannungsregler. Der Ladekondensator C_L wird immer dann nachgeladen, wenn die Gleichrichterspannung die Kondensatorspannung übersteigt. Der Netzstrom ist nicht sinusförmig und enthält starke Oberschwingungen. Nach EN 61000 nur zulässig bis Bemessungsleistung 75 W. |  <p>Prinzipschaltung eines Netzteils mit linearem Spannungsregler</p> |
| Schaltregler, Schaltnetzteil ohne PFC (PFC von Power Factor Correction) | Schaltregler bzw. Schaltnetzteile arbeiten mit Energiespeicherung in Kondensatoren und Spulen. Die Netzspannung wird gleichgerichtet und über Q1 und L_1 an C2 gelegt. Die Schaltspannung von Q1 wird durch K1 auf U_a geregelt. Sobald diese an C2 erreicht ist, öffnet Q1. Die Last wird über R1, L_1 , C2 weiter versorgt, bis die Spannung an C2 abnimmt und Q1 leitet. Wirkungsgrade bis 0,92, jedoch ist wegen C1 und C2 der Netzstrom nicht sinusförmig. Nur zulässig bis Bemessungsleistung 75 W. |  <p>Prinzipschaltung eines Netzteils mit Sperrwandler (Schaltnetzteil)</p> |
| Schaltnetzteil mit PFC (Schaltnetzteil mit Leistungsfaktor-Korrektur) | Das Schaltnetzteil mit PFC enthält einen <i>Sperrwandler</i> aus L_1 , elektronischen Schalter Q1 und R1. Schließt Q1, nimmt L_1 Strom auf und lädt sein Magnetfeld auf. Öffnet Q1, so wird in L_1 eine Spannung induziert, die über R1 den Ladekondensator C2 auflädt. Man nennt den Sperrwandler <i>Hochsetzsteller</i> oder <i>Boost-Converter</i> (engl. to boost = hochschieben). Q1 kann mit hoher Frequenz in PWM (Pulsweitenmodulation) so angesteuert werden, dass der Gleichrichter einen Strom aufnimmt, dessen Sinuslinie gegen die Spannung keine Phasenverschiebung hat. Es erfolgt also Leistungsfaktor-Korrektur PFC. Die Ansteuerung von Q1 erfolgt durch einen PWM-PFC-IC. PFC ist für elektrische Geräte über 75 W bis 16 A je Leiter erforderlich, nicht bei Anlagen mit Transformatorstation (DIN EN 61000). |  <p>Netzstrom bei Gerät mit Gleichrichter und Glättungskondensator ohne PFC</p> |
| Stromversorgung mit Weitbereichs-Eingangsspannung und PFC | Ein Sperrwandler erlaubt auch den Aufbau einer Stromversorgung für den <i>Weitbereichs-Eingang</i> (Eingang mit verschiedenen Eingangsspannungen). Die Bemessungs-Eingangsspannung von z. B. 110 V bis 260 V ergibt mit einer Schaltung B2U eine Bemessungs-Zwischenkreisspannung von DC 130 V bis 373 V. Mit einem Sperrwandler wird diese Spannung mittels PWM über einen Transformator und eine Gleichrichterschaltung auf eine Spannung von DC 24 V heruntergesetzt. Die Regelung erfolgt mittels eines PWM-IC, der von einem analogen Spannungsregler am Ausgang angesteuert wird. Der Sperrwandler wird so lange an Spannung gelegt, bis beim jeweiligen Laststrom die Ausgangsspannung DC 24 V beträgt. Anwendung: Netzteile für Notebooks www.deutronic.de |  <p>Prinzipschaltung eines Schaltnetzteils mit PFC</p>  <p>Eingangsspannung, Eingangsstrom und Ausgangsspannung beim Schaltnetzteil mit PFC</p> |

| Funktion | Erklärung | Diagramme, Bemerkungen |
|-----------------------------------|---|--|
| STO (Stopp-Kategorie SK 0) | Safe Torque Off. Bei der Sicherheitsfunktion ¹ (SF) wird die Energieversorgung des Antriebs sofort unterbrochen, der Antrieb ungesteuert stillgesetzt. Kein Erzeugen von Drehmoment oder Bremsmoment, daher mechanische Bremse erforderlich. Anwendung bei NOT-AUS. |  <p>Start SF</p> <p>Drehmoment und Geschwindigkeit bei STO</p> |
| SS1 (SK 1) | Safe Stop 1. Antrieb wird geregelt zum Stillstand gebracht, dann Aktivieren von STO. |  <p>Start SF</p> <p>Drehmoment und Geschwindigkeit bei SS1</p> |
| SS2 (SK 2) | Safe Stop 2. Antrieb wird geregelt stillgesetzt und im Stillstand geregelt. Stillstand wird sicher überwacht. Kleine Lageänderung um den Sollwert ist erlaubt. Zwischenkreis von Umrichtern wird nicht entladen, Antrieb ist sofort betriebsbereit. Darf nicht für NOT-HALT eingesetzt werden. |  <p>Start SF</p> <p>Drehmoment und Geschwindigkeit bei SS1</p> |
| SOS | Safe Operation Stop. Antrieb wird auf sicheres Nicht-Verlassen einer Position überwacht. Bewegung in definiertem Positionsbereich erlaubt, andernfalls Abschalten nach z.B. STO. Es kann auf Stillstand oder Verbleiben in bestimmtem Positionsbereich überwacht werden. Der Antrieb bleibt mit Energie versorgt, Drehmoment kann erhalten bleiben. |  <p>Start SF</p> <p>Drehmoment, Geschwindigkeit, Position bei SOS</p> |
| SLS | Safely Limited Speed. Antrieb wird auf Überschreiten einer Maximalgeschwindigkeit überwacht, andernfalls erfolgt Fehlerreaktion z.B. nach STO, SS1. |  <p>Start SF</p> <p>Geschwindigkeitsverlauf bei SLS</p> |
| SSM | Safe Speed Monitor. Überwachen auf Unterschreiten einer Minimalgeschwindigkeit. | <p>Geschwindigkeitsverlauf bei SLS</p> |
| SLP | Safely Limited Position. Antrieb wird auf Nicht-Überschreiten definierter Endlagen überwacht → Endschalterfunktion. |  <p>Start SF</p> <p>Positionsüberwachung bei SLP</p> |
| SP | Safe Position. Über sicheren Feldbus werden Positionsdaten des Antriebs zur Verfügung gestellt, die von einer Sicherheitssteuerung verwendbar sind, z.B. zur Endlagenüberwachung, für positionsabhängiges Aktivieren von Sicherheitsfunktionen. |  <p>Start SF</p> <p>Positionsüberwachung bei SLP</p> |
| SDI | Safe Direction. Sichere Bewegungsrichtung, Antrieb wird auf freigegebene Richtung überwacht, z.B. Drehen im Uhrzeigersinn. | SDI kann z.B. zusammen mit SLS wirken, d.h. bei Geschwindigkeitsüberwachung in einer Bewegungsrichtung. |
| SBC/SBT | Safe Brake Control/Safe BrakeTest. Beide Funktionen werden meist gemeinsam eingesetzt. SBC steuert eine Bremse an. Damit Sicherstellung, dass z.B. angehobene Lasten nach STO nicht absinken. SBT testet die Bremse z.B. mit Statorstrom. Bei Durchrutschen der Bremse wird Fehlerreaktion eingeleitet, z.B. Anfahren einer sicheren Position. |  <p>Start SBT (SS) Stopp SBT SS</p> <p>Bremsentest über Stromänderung (SBT)</p> |

¹ Die Sicherheitsfunktionen SF sind in Steuerungen oder Umrichtern realisiert. Sie dienen der Risikominimierung an Maschinen, z. B. im Anlauf bei geöffneter Schutztüre.

I_s Statorstrom, M Drehmoment, Pos Position, t Zeit, v Geschwindigkeit

A

D

V

B