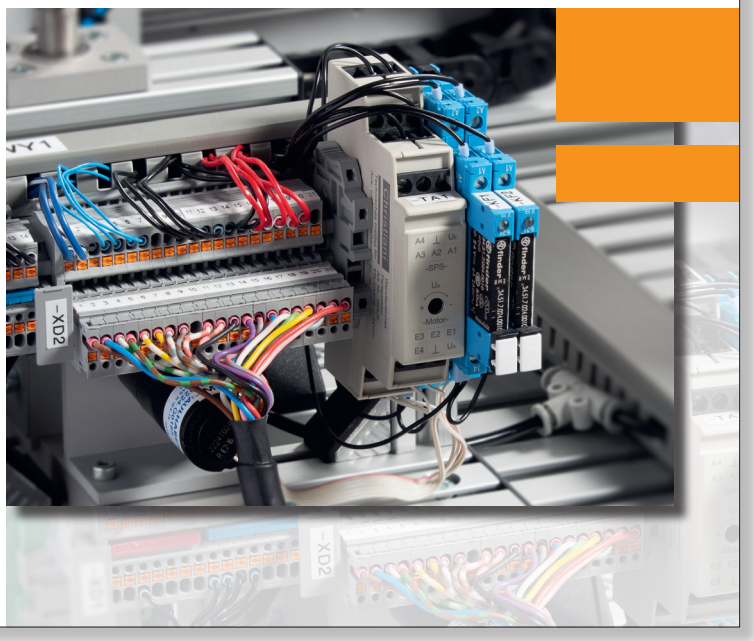
Leseprobe

Christiani

seit 1931

Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung



Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG
www.christiani.de

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

Inhalt

Grundlagen ... **22**

Mathematische Grundlagen ... **23**
Mathematische Zeichen ... 23
Dreisatzrechnung ... 23
Prozentrechnung ... 24
Radizieren (Wurzelrechnung) ... 24
Satz des Pythagoras ... 25
Höhensatz ... 25
Winkelfunktionen im rechtwinkligen Dreieck ... 25
Winkelfunktionen im schiefwinkligen Dreieck ... 25
Formelumstellung ... 26
Flächenberechnung ... 27
Schwerpunkt von Flächen ... 29
Schwerpunktberechnung ... 30
Volumenberechnung ... 30
Volumen, Oberflächen ... 31
Masse, längenbezogene Masse ... 33
Dichte von Stoffen ... 34
Zahlensysteme ... 35
Vergleich zwischen Zahlensystemen ... 35
Umwandlung von Zahlensystemen ... 36
Umrechnungstabelle Hexadezimal – Dezimal ... 36
Rechnen mit Dualzahlen ... 36
Codes ... 37

Physikalische Grundlagen ... **40**
Physikalische Größen, Einheiten und Konstanten ... 40
Römische Zahlen, griechisches Alphabet ... 41
Formelzeichen und Einheiten ... 42
Physikalische Formeln ... 44
Mechanik ... 45
Kraft, Bewegung ... 46
Mechanik ... 47
Einfache Antriebe ... 48
Hebel, Drehmoment ... 49
Arbeit ... 50
Leistung ... 52
Fluidtechnik ... 53
Wärme ... 59

Symbole der Metalltechnik ... **72**
Bildzeichen der Handhabungstechnik ... 78
Bildzeichen für NC-Werkzeugmaschinen ... 78

Elektrotechnische Grundlagen ... **81**
Formeln der Elektrotechnik ... 81
Symbole und Schaltzeichen der Elektrotechnik ... 102

Bauelemente ... **110**
Elektrische Widerstände ... 110
Nichtlineare Widerstände ... 112
Kondensatoren ... 114
Halbleiterbauelemente ... 117
Logische Verknüpfungen ... 126
Kühlung von Halbleiterbauelementen ... 132

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

4

Tabellen ... **133**
Spezifische Leitfähigkeit, Temperaturbeiwert ... 133
Beziehung zwischen Einheiten ... 134
Dielektrizitätszahlen fester und flüssiger Stoffe ... 136
Stoffabscheidung durch Elektrolyse (Galvanisieren) ... 137
Spannungsreihe der Elemente ... 137
Lote ... 138
Kunststoffe ... 138
Widerstandswerkstoffe ... 140
Heizleiterwerkstoffe ... 141
Kontaktwerkstoffe ... 141
Wichtige VDE-Vorschriften der Elektrotechnik ... 141
Energieeffizienz ... 143

Technische Dokumentation ... **144**

Normung ... **145**

Technisches Zeichnen ... **145**
Papierformate ... 145
Beschriftung ... 145

Darstellung elektrischer Objekte ... **146**
Leiter und Leiteranschlüsse ... 146
Kennzeichnung elektrischer Betriebsmittel bis 2000 ... 146
Kennzeichnung elektrischer Betriebsmittel (Objekte) – aktuelle Norm ... 147
Kennbuchstaben zur Objektklassifizierung – Eingangsklassen Tabelle 2 ... 148
Klassifizierungsschema laut Tabelle 3 (Auswahl) ... 149
Klassifizierungsschema für Räume laut Tabelle 4 (Auswahl) ... 152
Kennbuchstaben gemessener Variablen ... 153
Kennzeichnung in fluidtechnischen Systemen ... 153
Darstellung nach DIN ISO 1219 ... 154
Kennzeichnung einer pneumatischen Anlage nach Haupt- und Unterklassen ... 154
Kennzeichnung einer Hydraulikanlage nach Haupt- und Unterklassen ... 155
Stromlaufpläne ... 156
Regeln für Stromlaufpläne ... 156
Übersichtsschaltplan ... 156
Betriebsmittelanschlüsse ... 156
Darstellung mit Betriebsmittelanschlüssen ... 157
Technische Daten und Fertigungshinweise ... 157
Leitungsverbindungen ... 157
Öffner und Schließer ... 157
Klemmen ... 157
Klemmverbindungen ... 157
Lage der Betriebsmittel ... 159
Kontakttabellen ... 159
Hauptstromkreis und Steuerstromkreis ... 160
Anschlusstabelle (Klemmenplan) ... 162
Kabelplan ... 162
Anordnungsplan ... 162
Stromlaufpläne ... 163
Ortsbezogene Pläne ... 163
Programmablaufplan (Flussdiagramm) ... 164
Elementare Programmstrukturen ... 165

CAD ... **166**
Koordinatensysteme ... 166
Modellarten und deren Anwendungen ... 166

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

Feste und parametrische Modelle ... 167
Normteilbibliotheken ... 167
Datenaustauschformate ... 167

Normung ... 168
Maßstab ... 168

Technisches Zeichnen, Grundlagen ... 169
Zeichnungsvordrucke und Papierformate ... 169
Grundschriftfeld ... 170
Stückliste ... 171
Positionsnummer ... 171
Linienarten und ihre Anwendung (Mechanische Technik) ... 172
Projektionen (Isometrie, Dimetrie) ... 174
Projektionsmethoden ... 175
Ansichten in Zeichnung ... 176
Schnittansichten und Schraffuren ... 178

Bemaßung ... 179
Systeme der Maßeintragung ... 180
Arten der Maßeintragung ... 181
Bemaßung von Durchmesser, Radien, Kugel (sphärisch) und Bogen ... 183
Bemaßung von Vierkant, Schlüsselweiten, Rechtecken, Neigungen und Verjüngungen ... 184
Bemaßung von Fasen, Senkungen ... 185
Bemaßung von Nuten und Einstichen ... 186
Bemaßung wiederholte Elemente, Abwicklungen, dünne Teile ... 187
Weitere Regeln der Maßeintragung, Kennzeichnungshinweise ... 188

ISO GPS (Geometrische Produktspezifikation) ... 189
ISO GPS ... 189
Aufbau des ISO-GPS-Normensystems, Elementare Grundsätze ... 189
Modifikatoren für Toleranzzone, Geometrieelement und Merkmal – Verwendung im Toleranzindikator ... 190
Spezifikationsmodifikatoren für lineare Größenmaße ... 191
Hüllbedingung, Taylor'scher Prüfgrundsatz ... 192
Minimum-, Maximum-Materialbedingung und Reziprozitätsbedingung ... 193
Indikatoren für Ebenen- und Geometrieelemente („GE") ... 194
Zusätzliche Modifikatoren, Symbole und Abkürzungen ... 195

Form- und Lagetolerierung ... 197
Normgerechte Zeichnungeintragungen ... 197
Übersicht der Bezugsarten, Einzelbezug, Gemeinsame Bezüge, Bezugssystem ... 198
Übersicht der Form- und Lagetoleranzen ... 199
Formtoleranzen ... 199
Lagetoleranzen, Richtungstoleranzen ... 200
Lagetoleranzen, Ortstoleranzen ... 201
Toleranzen, Grundbegriffe ... 202

Allgemeintoleranzen ... 204
Allgemeintoleranzen für Längen und Winkelmaße ... 204
Allgemeintoleranzen im ISO GPS Normensystem (ISO 8015:2011) ... 205

ISO-System für Grenzmaße und Passungen ... 206
Grundbegriffe ... 206
Grundtoleranzen, Auswahl von Toleranzklassen ... 207
Grundabmaße für Wellen (Auswahl) ... 208
Grundabmaße für Bohrungen (Auswahl) ... 209
Grenzmaße, Grenzabmaße, Toleranzen, Passungsberechnung ... 210
System Einheitsbohrung ... 211
System Einheitswelle ... 213

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

6

Technische Oberflächen ... **216**
Oberflächenangaben ... 216

Senkungen, Darstellung von Sicherungsringen ... **220**
Senkungen ... 220
Darstellung von Sicherungsringen und Nuten für Sicherungsringe ... 222

Gewinde ... **223**
Metrisches Gewinde – Gewindeabmessungen, Schlüsselweite, Eckenmaß ... 223
Gewindeausläufe und Gewindefreistiche ... 224

Zentrierbohrungen ... **226**

Rändel ... **227**

Freistiche ... **228**
Freistiche, Zeichnungsangabe (Beispiele) ... 228
Freistiche ... 228

Werkstückkanten ... **229**
Werkstückkanten außen ... 229
Werkstückkanten innen ... 229
Butzen an Drehteilen ... 229
Werkstückkanten ... 230

Wärmebehandlung ... **231**
Zeichnungseintrag (Beispiel) ... 231
Kennzeichnung örtlicher begrenzter Oberflächenbereiche ... 231
Werkstückzustand, Angaben ... 231
Grenzhärten und Oberflächenmindesthärten ... 231
Angaben zur Wärmebehandlung von Werkstücken in Zeichnungen (Beispiele) ... 232
Einhärtungstiefen und Toleranzen in mm (Auswahl) ... 232

Schweißen und Löten ... **233**
Grundsymbole Schweißen und Löten ... 233
Darstellung, Kennzeichnung von Schweißnähten ... 233
Grundsymbole Schweißen und Löten ... 234
Stoßarten ... 234
Nahtarten ... 235
Schweißpositionen ... 237
Allgemeintoleranzen für Schweißkonstruktionen ... 237

Werkstofftechnik ... **238**

Allgemein ... **239**
Periodensystem der Elemente ... 239
Stoffwerte ... 240
pH-Wert ... 242
Spezifische Heizwerte für Brennstoffe ... 242
Chemische Stoffe und Formeln ... 242

Bezeichnungssystem ... **243**
Kurzbezeichnung für Stähle, Verwendungszweck ... 243
Grenzgehalte Stähle, Legierungselemente ... 246
Kurzbezeichnung für Stähle, chemische Zusammensetzung ... 247
Zusatzsymbole Stähle ... 248

Stahlsorten ... **249**
Baustähle ... 249
Automatenstähle ... 250
Einsatzstähle ... 250
Vergütungsstähle ... 251

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

7

Nitrierstähle ... 252
Federstähle ... 253
Nichtrostende Stähle ... 253
Druckbehälterstähle ... 255
Werkzeugstähle ... 256
Schnellarbeitsstähle (C-Gehalt ca. 0,9 %) ... 256
Unlegierte und legierte Kaltarbeitsstähle, Warmarbeitsstähle, Schnellarbeitsstähle ... 257

Stahl-Fertigerzeugnisse ... 258
Bleche, Bänder ... 258
Längen-/flächenbezogene Massen, Oberfläche, Gewichtskräfte ... 259
Warmgewalzter Stabstahl ... 263
Stähle, Bleche, Bänder, Profile ... 265
Rohre, Hohlprofile ... 269

Gusseisen ... 273
Bezeichnung ... 273
Gusseisen mit Lamellengrafit, Gusseisen mit Kugelgrafit, Temperguss, Stahlguss ... 274

Wärmebehandlung ... 277
Einsatz-, Vergütungs-, Automaten-, Nitrier-, Werkzeugstähle ... 277

Nicht-Eisen-Metalle ... 284
Kurzbezeichnung für Aluminium ... 284
Aluminium-Legierungen, chemische Zusammensetzung ... 286
Aluminium-Legierungen, mechanische Eigenschaften ... 289
Längen-/flächenbezogene Massen, Biegeradien ... 290
Gezogene Profile – rund, Vierkant, flach, Rohre, L, U, T ... 291
Magnesiumlegierungen ... 294
Gleitlagerwerkstoffe, Sinterwerkstoffe ... 296
Korrosion, Korrosionsschutz, Oberflächenbehandlung ... 298

Kunststoffe ... 304
Einteilung und Unterscheidungsmerkmale der Kunststoffe ... 304
Eigenschaften Kunststoffe ... 308
Abmessungen Kunststoffe ... 313
Verbundwerkstoffe ... 315

Werkstoffprüfung ... 317
Werkstoffprüfung von Metallen ... 317
Werkstoffprüfung von Kunststoffen ... 324
Zerstörungsfreie Prüfung ... 326
Einsatzbereiche zerstörungsfreie Prüfung ... 327

Mess- und Prüftechnik ... 328

Messtechnik ... 329
Grundbegriffe der elektrotechnischen Messtechnik ... 329
Darstellung von Messgrößen ... 330
Genauigkeitsklasse ... 330
Sinnbilder zur Beschriftung von Messgeräten ... 330
Zeigermessgeräte ... 331
Digitale Multimeter ... 331
Wandler/Stromzange ... 332
Messschaltungen ... 333
Elektrizitätszähler ... 334
Elektronischer Zähler ... 335
Messen mit dem Oszilloskop ... 336
Schaltzeichen von Messkettengliedern ... 338
Grundbegriffe der metalltechnischen Messtechnik ... 339

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

8

Grundsätze der Längenprüftechnik, Messgeräte und Lehren ... 342
Grundsätze der Längenprüftechnik ... 342
Messschieber ... 343
Messschrauben ... 344
Innenmessschrauben ... 345
Messuhren ... 347
Fühlhebelmessgeräte ... 348
Winkelmessgeräte ... 348
Fehlerquellen beim Messen ... 350
Maßverkörperungen ... 350
Lehren ... 352
Lehrdorne ... 353
Lehrringe ... 353
Rachenlehren ... 354
Kegellehren ... 355
Gewindeprüfung ... 355
Oberflächenprüftechnik ... 355

Elektrische Anlagen ... 356

Elektrische Anlagen bis 1000 V ... 357
Wichtige Begriffe ... 357
Netzsysteme ... 358
Widerstand des menschlichen Körpers R_K ... 360
Herzstromfaktor F ... 360
Schutzklassen der Betriebsmittel ... 360

Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag ... 361
Übersicht zu Schutzmaßnahmen ... 361
Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung ... 361
Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) ... 362
Basisschutz unter besonderen Bedingungen (überwachte Anlage) ... 362
Fehlerschutz in überwachten elektrischen Anlagen (nur für Elektrofachkräfte) ... 362
Schutz durch Schutztrennung für die Versorgung von mehr als einem Verbrauchsmittel ... 363
Maximale Abschaltzeiten beim Fehlerschutz – Schutz durch automatische Abschaltung im Fehlerfall ... 363
Anforderungen für Steckdosen in Endstromkreisen ... 363
Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung im TN-System ... 364
Fehlerschutz – Schutz durch automatische Abschaltung im Fehlerfall (Schutzklasse I) ... 364
Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung im TT-System ... 364
Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung im IT-System ... 364
Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung ... 365
Funktionskleinspannung (FELV) – Schutz durch Kleinspannung ohne sichere Trennung (Schutzklasse III) ... 365
Schutzmaßnahme: Doppelte oder verstärkte Isolierung (Schutzklasse II) ... 365
Schutzmaßnahme: Schutztrennung (Schutzklasse II) ... 366
Schutzmaßnahme: Schutz durch Kleinspannung mit SELV oder PELV (Schutzklasse III) ... 366
Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) ... 367
Zusätzlicher Schutz ... 367

Schutzeinrichtungen ... 368
Schutzeinrichtungen Übersicht ... 368
Schmelzsicherungen ... 368
Geräte- und Feinsicherungen ... 369
Niederspannungs-Hochleistungssicherung (NH-System) ... 369
Leitungsschutzschalter (LS-Schalter) ... 370
Selektiver Hauptleitungsschutzschalter (SLS-Schalter) ... 371
Motorschutzgeräte – Übersicht ... 372
Thermisches Überlastrelais (Motorschutzrelais) ... 372
Motorschutzschalter ... 373

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

9

Schaltungen ... 373
Besonderheiten ... 373
Thermischer Motorvollschutz – Thermistor (PTC-Widerstand) ... 373
Thermischer Motorvollschutz – Thermostat ... 374
Elektronische Motormanagementsysteme ... 374
Fehlerstromschutzeinrichtung – Residual Current Protective Device (RCD) ... 375
Brandschutzschalter ... 378

Leitungen und Kabel ... 380
Wichtige Begriffe ... 380
Übersicht der elektrischen Leitungen ... 380
Leiterform und Leiteraufbau ... 380
Kennzeichnung der Adern von Kabeln und Leitungen ... 381
Code zur Farbkennzeichnung ... 381
Kennzeichnung von Leitern durch Farben oder alphanumerische Anschlusszeichen ... 382
Empfohlene Farbcodierungen in Schaltanlagen und Verteilern ... 382
Empfohlene Farbcodierungen in Verteilungsnetz und Verbraucheranlagen ... 383
Spannungsangaben von Starkstromleitungen ... 383
Bauartkurzzeichen für Starkstromkabel mit Kunststoffisolierung ... 384
Leitungsnormen (nationale/harmonisierte) ... 385
Häufig verwendete isolierte Starkstromleitungen für feste Verlegung ... 386
Häufig verwendete isolierte Starkstromleitungen für ortsveränderliche Geräte ... 390
Häufig verwendete Fernmeldeleitungen und -kabel ... 394
Fernmeldeleitungen und -kabel ... 396
Bemessung elektrischer Leitungen – Erläuterungen ... 397
Ermittlung des notwendigen Leitungsquerschnittes *A* mit Einflussfaktoren ... 398
Referenzverlegeart von isolierten Leitungen und Kabeln ... 401
Bemessungsstrom I_N der vorgeschalteten Überstromschutzeinrichtung in A ... 402
I_r maximale Strombelastbarkeit von flexiblen Leitungen bei 30 °C ... 402
Einflussfaktoren für Häufung ... 403
I_r Strombelastbarkeit von Leitungen für feste Verlegung in Gebäuden ... 404
I_r maximale Strombelastbarkeit im Erdboden bei 20 °C ... 404
Spannungsfall ... 405
Höchstzulässige Kabel- und Leitungslängen l_{max} für Dreh- und Wechselstromkreise ... 406
Höchstzulässige Leitungslängen für Drehstrom nach Auslösezeit ... 407
Ermittlung des notwendigen Leitungsquerschnittes bei Oberschwingungen ... 408
Strombelastbarkeit von Leitungen/Kabeln bei Oberschwingungen ... 408

Installationstechnik ... 410
Installationsschaltungen ... 410
Installationszonen in Wohnräumen ... 413
Räume mit Badewanne oder Dusche ... 413
Anlagen im Freien ... 415
Feuergefährdete Betriebsstätten ... 415
Explosionsgefährdete Bereiche ... 415
Einteilung der explosionsartigen Atmosphäre ... 416
Geräteschutzniveau ... 416

Prüfung von Anlagen und elektrischen Betriebsmitteln ... 417
Erstprüfung ... 417
Messung der Durchgängigkeit des Schutzleiters – R_{Low} ... 417
Messung des Isolationswiderstandes R_{ISO} ... 418
Isolationswiderstandsmessung von Fußböden und Wänden (Anlagen unter der Überwachung durch Elektrofachkräfte) ... 419
Prüfung der Spannungspolarität ... 419
Prüfung der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) ... 420
Messung des Netzinnenwiderstandes Z_i ... 422
Messung der Schleifenimpedanz Z_{Sch} ... 422

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

10

Messung des Erderwiderstandes ... 424
Prüfung des Drehfeldes ... 424
Spannungsprüfung ... 425
Schutz gegen Restspannung ... 425
Prüfung elektrischer Geräte ... 426
Schutzleiterprüfung ... 426
Messung des Isolationswiderstandes ... 427
Messung des Schutzleiterstromes ... 428
Messung des Berührungsstromes ... 428
Nachweis der sicheren Trennung bei SELV und PELV ... 429
Funktionsprüfung ... 429
Auswertung, Beurteilung, Dokumentation ... 429
Wiederkehrende Prüfungen ... 430
E-Check IT ... 430
Blitzschutz ... 431
Überspannungsschutz ... 432

Energieversorgung ... 433
Spannungsebenen ... 433
Netzformen der Versorgungsnetze ... 433
Intelligente Stromnetze ... 434
Ortsnetz-Trafostation mit Mittelspannungs-Schaltanlage ... 435
MS-Schaltanlage für Ortsnetzstationen ... 435
Mechanische Schalter ... 436
Lasttrennschalter ... 437
Schalter – Schaltzeichen ... 437
Netzschutz – Schutztechnik ... 438
Überstromschutz ... 438
Vergleichsschutz ... 439
Distanzschutz ... 439
Buchholzschutz ... 440
Sternpunktbehandlung in Mittel- und Hochspannungsnetzen ... 440
Schienenverteilersystem ... 441
Steckvorrichtungen ... 442

Kompensation der induktiven Blindleistung ... 445
Parallel- und Reihenkompensation ... 445
Vorgehensweise am Beispiel der Einzelkompensation in Dreieckschaltung eines Motors ... 446
Arten der Blindleistungskompensation ... 446
Aufbau einer dynamischen Blindleistungskompensationsanlage (6-stufig) ... 447
Filterkreisdrossel – verdrosselte Kondensatoren ... 448
Wichtige Hinweise zur Kompensation ... 449

Transformatoren ... 450
Aufbau und Funktion ... 450
Wichtige Größen eines Transformators ... 450
Bemessungsgrößen ... 451
Ersatzschaltbild ... 451
Kurzschlussspannung ... 451
Drehstromtransformatoren ... 452
Schaltgruppen von Drehstromtransformatoren ... 452
Leistungsschild ... 454
Parallelschaltung von Drehstromtransformatoren ... 454
Wirkungsgrad von Transformatoren ... 457
Prüfen von Transformatoren (Trockentransformatoren) ... 457
Drehende Generatoren ... 458
Brennstoffzellen ... 458

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

Primärelemente ... 459

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ... 460
Wichtige Begriffe ... 460
Netzqualität ... 463

Elektrische Maschinen ... 464

Mechanische Projektierung ... 465
Translations- und Rotationsbewegungen ... 465
Kinetische Größen und Gesetze der Translation und Rotation ... 466
Mechanische Übertragungselemente ... 468
Mechanische Übertragungselemente ... 472
Ermittlung mechanischer Drehmomente und Leistungen ... 472

Allgemeines zu elektrischen Maschinen ... 479
Bestandteile einer elektrischen Maschine ... 479
Energieeffizienz ... 479
Leistungsschild ... 480
Verschaltung der Statorwicklung von Drehfeldmaschinen ... 480
Drehrichtung einer elektrischen Maschine ... 480
Bauformen ... 481
Nennbetriebsarten ... 483
Erwärmung elektrischer Maschinen ... 485
Thermische Klassen ... 485
Kühlung ... 485
Erstprüfung von elektrischen Maschinen ... 486
Wirkungsgrad ... 486
Grundlegende Formeln ... 487
Maschinenrichtlinie ... 488
Mögliche Fehler an elektrischen Maschinen ... 488

Elektrische Maschinen am Netz ... 489
Drehfeldmaschinen ... 489
Synchronmaschinen am Netz ... 490
Asynchronmaschinen am Netz ... 496
Schaltungen ... 500
Wechselstrommotoren ... 502
Gleichstrommotoren ... 504

Elektrische Maschinen am Frequenzumrichter ... 506
Asynchronmaschinen am Umrichter mit U/f-Betrieb ... 506
Servosynchronmaschinen (Bürstenlose Motoren) ... 513
Reluktanzmaschine ... 532
Schrittmotor ... 533

Maschinenelemente ... 534

Gewinde ... 535
Gewindeparameter ... 540
Grenzmaße für Außen- und Innengewinde ... 541
Einschraubgruppen, Einschraublängen ... 541

Schrauben, Gewindestifte ... 542
Kennzeichnung von Schrauben und Muttern ... 542
Kopfformen von Schrauben ... 542
Produktklassen für Schrauben und Muttern ... 542
Festigkeitsklassen von Stahlschrauben ... 543
Mindesteinschraubtiefen ... 543
Durchgangsbohrungen für Schrauben ... 543

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

12

Sicherungselemente ... 544
Sechskantschrauben ... 544
Zylinderschrauben ... 548
Senkschrauben ... 549
Linsenschrauben ... 549
Sonderschrauben ... 550
Verschlussschrauben ... 551
Linsen-, Senk-, Linsensenk-Blechschrauben ... 551
Blechschrauben mit Schlitz ... 552
Gewindeschneidschrauben ... 552
Gewindefurchende Schrauben ... 553
Gewindestift mit Schlitz ... 553
Gewindestift mit Innensechskant ... 553
Gewindebolzen ... 554
Anschweißenden ... 554

Schraubenberechnungen ... 555
Betriebskraft ... 555
Vorspannkraft Montage ... 555
Anziehdrehmoment, Flächenpressung ... 556
Flächenpressung am Schraubenkopf- und Auflagerfläche der Mutter ... 556

Muttern ... 559
Bezeichnung von Muttern ... 559
Festigkeitsklassen ... 559
Abstreiffestigkeit von Muttern ... 560
Sechskantmuttern ... 561
Nutmuttern ... 565
Flügelmuttern (Herstellerangaben) ... 566
Ringschrauben und Ringmuttern ... 566
Sicherungsmuttern ... 567
Sicherungsbleche mit Innennase für Nutmutter ... 567

Scheiben ... 568
Kennzeichnung ... 568
Flache Scheiben ... 568
Kugelscheiben und Kegelpfannen ... 570
Zahnscheiben, Fächerscheiben zurückgezogen ... 571
Pass- und Stützscheiben ... 571

Sicherungsringe, Sicherungsscheiben ... 572
Sicherungsringe für Wellen, Regelausführung ... 572
Sicherungsscheiben für Wellen ... 572
Sicherungsringe für Bohrungen, Regelausführung ... 572
Sicherungsbleche mit zwei Lappen ... 573
Runddraht-Sprengringe ... 573

Stifte und Bolzen ... 574
Übersicht ... 574
Kerbstifte ... 574
Kerbnägel ... 574
Zylinderstifte ... 575
Kegelstifte ... 576
Spannstifte, Kerbstifte ... 577

Kerbnägel, Nieten ... 579
Kerbnägel ... 579
Kerbnägel, Blindniete ... 580
Blindniet mit Sollbruchdorn ... 580

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

13

Dichtelemente ... **581**
Filzringe ... 581
Radial-Wellendichtung (WDR) ... 581
V-Ringdichtung ... 582
O-Ringe ... 583

Welle-Nabe-Verbindungen ... **585**
Übersicht ... 585
Passfedern ... 586
Flächenpressung an Passfeder, Welle und Nabe der Passfederverbindung ... 586
Scheibenfedern ... 587
Keile ... 587
Keilwellenverbindungen mit geraden Flanken ... 588
Toleranzklassen für Keilwellen-Verbindungen ... 588

Wälzlager ... **589**
Übersicht ... 589
Bezeichnung ... 591
Toleranzklassen von Wälzlagern (Loslager) ... 594
Rillenkugellager, Berechnung dynamische Tragfähigkeit der Lebensdauer ... 595
Axial-Rillenkugellager ... 596
Rillenkugellager ... 596
Schrägkugellager ... 597
Pendelkugellager ... 597
Zylinderrollenlager ... 598
Kegelrollenlager ... 599
Nadellager ... 599
Tonnenlager, Pendelrollenlager ... 600
Darstellung von Wälzlagern ... 600

Gleitlager ... **601**
Eigenschaften ... 601
Gleitlagerbuchsen ... 602

Federn ... **605**
Zylindrische Schrauben-Zugfedern ... 605
Zylindrische Schrauben-Druckfedern ... 606
Tellerfedern ... 608
Scheibenkupplungen ... 609
Schalenkupplung ... 609

Riementriebe ... **610**
Berechnungen ... 610
Riemengeschwindigkeit, Umfangskraft, Wirklänge ... 610
Riemenzahl (Standard) ... 610
Riemenzahl bei SPZ ... 610
Riemenbiegungen ... 610
Wirklänge des Riemens ... 610
Leistungswerte für Schmalkeilriemen ... 611
Auswahl des Riemenprofils nach Drehzahl und Leistung ... 611
Synchronriementriebe mit metrischer Teilung ... 611
Zahnlückenprofil für Synchronscheiben ... 611
Bauformen von Keilriemen und Synchronriemen ... 612
Keilriemen, Keilriemenscheiben ... 613
Keilriemenscheibe für Schmalkeilriemen ... 613

Zahnradtriebe, Schneckentriebe ... **614**
Geradverzahnte Stirnräder ... 614
Schrägverzahnte Stirnräder ... 615

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

14

Geradverzahnte Kegelräder ... 615
Schneckentrieb ... 616
Modulreihe für Schneckenräder ... 616
Übersetzungen ... 616
Zahnradtrieb ... 617
Riementrieb ... 617

Fertigungstechnik, Instandhaltung ... 618

Fertigungsverfahren ... 619

Urformen ... 619
Gießen ... 619
Additive Fertigung (3D-Druck) ... 621

Umformen ... 625
Biegen ... 625
Tiefziehen ... 628

Trennen ... 629
Spanungsvorgang ... 630
Begriffe des Spanens ... 631
Spanungsgeometrie ... 631
Spanformen ... 633
Schneidstoffe ... 633
Spezifische Schnittkraft ... 644
Bohren ... 646
Drehen ... 657
Fräsen ... 672
Schleifen ... 687
Läppen ... 693
Honen ... 694
Sägen ... 694
Zerteilen ... 698
Thermische Trennverfahren ... 702
Trennverfahren ... 708

Fügen ... 710
Fügen durch Umformen ... 711
Schweißen ... 718
Löten ... 734
Kleben ... 738
Kunststoffschweißen ... 741
Schmierstoffe ... 743

Beschichten ... 751
Übersicht der Beschichtungsverfahren und Eigenschaften ... 751

Stoffeigenschaften ändern ... 754
Wärmebehandlungsverfahren ... 754

CNC-Fertigung ... 761
CNC-Werkzeugmaschinen ... 761
Aufbau von CNC-Programmen ... 762
Programmierverfahren ... 784
Flexible Fertigungssysteme ... 787

Instandhaltung ... 788
Zweck und Aufgaben der Instandhaltung ... 788
Instandhaltungsstrategien ... 790
Total Productive Maintenance (TPM) ... 791

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

15

Automatisierungstechnik ... **792**

Grundlagen Steuerungstechnik – Definitionen ... **793**
Merkmale einer Regelung und Steuerung ... 793
Eingabe-Verarbeitung-Ausgabe (EVA-Prinzip) ... 793
Merkmale eines Sensors ... 793
Merkmale eines Aktors ... 794

Sensoren ... **795**
Pegel und Analogsignale ... 795
Befehlsgeber inkl. Farben ... 795
Aktive und passive Sensoren ... 796
Grenztaster/Endlagentaster ... 796
Näherungssensoren/Näherungsschalter ... 796
Reedkontakt/magnetischer Näherungsschalter ... 796
Magnetoresistive Näherungsschalter ... 797
Indudktive Näherungsschalter ... 797
Kapazitive Näherungsschalter ... 797
Übersicht Näherungsschalter ... 798
Schaltabstände ... 799
Einbaubedingungen von Näherungssensoren ... 800
Anschluss von Näherungssensoren ... 800
Reihen- und Parallelschaltung von Sensoren ... 801
Allgemeine Spezifikationen von Sensoren ... 801
Optoelektronische Sensoren und Lichtschranken ... 802
Lichtschranken ... 802
Lichtvorhänge ... 804
Kontrastsensoren ... 804
Lichtleiter ... 805
Ultraschallsensoren ... 805
Temperatursensoren ... 806
PTC/PTC-Thermistor ... 806
NTC ... 807
Thermoelement ... 807
Pyrometer ... 808
Weg- und Winkelmessung ... 808
Ohm'scher Wegaufnehmer ... 808
Magnetischer Wegaufnehmer ... 809
Induktiver Wegaufnehmer ... 809
Kapazitiver Wegaufnehmer ... 809
Optischer Wegaufnehmer ... 809
Drehzahlmessung ... 810
Dehnungsmessung ... 811
DMS-Messschaltungen (Messbrücken) ... 812
Erfassung von Kraft, Moment und Beschleunigung ... 813
Drucksensoren ... 814
Füllstandsmessung ... 815
Durchflussmessung ... 816
RFID ... 817

Aktoren ... **818**
Ventile (elektropneumatisch) ... 818
Visualisierung/Panels (HMI) ... 818
Elektromagnetisch betätigte Schalter: Übersicht, Aufbau und Wirkungsweise ... 819
Auswahlkriterien eines Schützes für die Anwendung ... 819
Leistungsschütz: Anschluss- und Kontaktbezeichnungen ... 820
Gebrauchskategorien Leistungsschütz ... 820

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

16

Hilfsschütz: Anschluss- und Kontaktbezeichnungen ... 821
Gebauchskategorien Hilfsschütz ... 821
Anschlussbezeichnung von Antrieben, Auslösern und Leuchtmeldern ... 821
Anschlussbezeichnung Hauptschaltglieder und Überstrom-Schutzeinrichtungen ... 822
Anschlussbezeichnungen für Hilfsschaltglieder ... 822
Kennbuchstaben und Anschlussbezeichnungen für Hilfsschütze ... 822
Kennzahlen der Hilfsschaltblöcke von Schützen ... 823
Relais, Relaiskontakte, Schutzarten, Kontaktprellen ... 823
Relaisarten: Mono, Bi, Reed ... 823
Zeitrelais: Multifunktionsrelais ... 824
Schutzbeschaltung von Erregerspulen ... 824

Steuerungstechnik ... 825
VPS ... 825
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS / PLC) ... 834
Adressierung der Ein- und Ausgänge – Bit, Byte, Wort und Doppelwort ... 846
Ablaufsprache (AS) ... 854
Verzweigungen in Ablaufsprache (AS) und GRAFCET ... 857
GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande Etapes Transitions) ... 859
Gegenüberstellung von Ablaufsprache (AS) und GRAFCET ... 865

Pneumatik ... 866
Allgemeine Gasgleichung ... 866
Druckluftерzeugung ... 866
Druckluftaufbereitung ... 868
Pneumatikzylinder ... 869
Pneumatikventile ... 872
Logikverknüpfungen ... 875
Kennzeichnung von Schaltplänen ... 875
Steuerungsarten ... 877
Funktionsdiagramme ... 879
Weg-Schritt-Diagramm ... 881
Elektropneumatik ... 881

Hydraulik ... 884
Hydrauliköle ... 884
Hydraulikflüssigkeiten ... 884
Berechnung hydraulischer Anlagen ... 885
Vor- und Nachteile der Hydraulik ... 888
Bauelemente einer Hydraulikanlage ... 888
Hydraulikzylinder ... 889
Hydraulikventile ... 890
Hydrospeicher ... 895
Hydraulіksteuerungen ... 896
Proportionalventile ... 901

Regelungstechnik ... 902
Regelkreis, Beispiel Drehzahlregelung mit FU und SPS ... 902
Wichtige Elemente einer Regelstrecke ... 902
Größen der Regelungstechnik ... 902
Zeitverhalten von Regelkreisgliedern ... 903
Zeitverhalten von Führungsgrößen ... 903
Stetige Regeleinrichtungen ... 903
Stetige Regeleinrichtungen mit Operationsverstärker ... 907
Regelstrecken ... 908
Strecken ohne und mit Ausgleich ... 908
Zeitverhalten von Regelstrecken ... 908
Einstellung von Reglern ... 909

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

17

Verlauf eines Regelvorgangs ... 909
Reglereinstellung nach Ziegler und Nichols ... 909
Reglereinstellung nach Chien, Hrones und Reswick ... 910
Zweipunktregeleinrichtung ... 910
Dreipunktregeleinrichtung ... 911
Digitale Regelung ... 911
Digitaler PID-Regler ... 912

Bussysteme ... 913
Industriebussysteme ... 913
Feldbussysteme ... 914
Informationsaustausch in der Automatisierungstechnik ... 914
ISO/OSI-Referenzmodell ... 915
Datenübertragungsmedien ... 915
Netzwerktopologien ... 916
Industrielle Bussysteme Überblick ... 916
Aktor-Sensor-Interface (ASI) ... 917
ASI-Safety (AS-Interface Safety at Work) ... 919
PROFIBUS (Process Field Bus) ... 919
PROFIBUS DP ... 919
MODBUS RTU ... 922
PROFINET ... 923
PROFINET IO ... 925
CAN-Bus ... 928

Prozessleittechnik ... 930
EMSR-Technik ... 930
Symbole für Bezugslinie, Wirkungsweg und Messort ... 930
Kennbuchstaben für die Darstellung von PCE-Aufgaben ... 931
Kennbuchstaben der PCE-Kategorie und PCE-Verarbeitungsfunktionen für Aktoren ... 931
Alte und neue Normenübersicht von PCE-Kategorien ... 932
Grafische Symbole für die Darstellung von Einzelheiten ... 933
Grafische Fließbildsymbole ... 935

Robotik ... 938
Allgemein ... 938
Fachbegriffe ... 938
Freiheitsgrade ... 939
Industrieroboter ... 939
Robotertypen und ihre Kategorisierung ... 940
Bauarten von Industrierobotern ... 940
Aufbau ... 942
Wirkschema ... 942
Arbeitsraum ... 943
Kategorisierung von Arbeitsplätzen mit Robotern ... 944
Bewegungsformen ... 945
Industrieroboter – Bewegungsarten ... 946
Industrieroboter – Sensorik (Auswahl) ... 947
Industrierobotik – Aktorik (Auswahl) ... 948
Industrierobotik – Endeffektoren ... 949
Programmiermethoden ... 950

Sicherheit von Steuerungen ... 952
Grundbegriffe, Normen, Gesetze ... 952
Risikoanalyse nach DIN EN ISO 12100 ... 952
Performancelevel nach DIN EN ISO 13849-1 ... 956
Sicherheitsschaltgerät ... 959
Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen ... 961

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

18

Informationstechnik und Industrie 4.0 ... **962**

Hardware ... **963**
Aufbau eines Computers ... 963
Schnittstellen ... 964
Stecker – USB 3.0/3.2 ... 965
eSATA und SATA ... 966
Bluetooth ... 967
Infrarot-Schnittstelle (IrDA) ... 967
Speichermedium ... 967
Optische Speicher ... 969
Datenausgabesysteme ... 970
Drucker ... 971

Netzwerktechnik ... **972**
LANs und WANs ... 972
Das Internet ... 973
Intranet und Extranet ... 973
Technologien für den Internetzugang ... 973
Netzwerkarchitektur ... 974
Netzwerkmedien ... 975
Bezeichnung von Lichtwellenleitern ... 984
Netzwerkprotokolle ... 988
Datenpaket IPv6 ... 992
IT-Sicherheit ... 1000

Python 3 ... **1002**
Eigenschaften ... 1002
Datentypen ... 1002
Reservierte Wörter ... 1002
Operatoren ... 1002
Interaktives Python ... 1003
Unveränderbare und veränderbare Datentypen ... 1003
Zuweisungsoperatoren ... 1003
Boolesche Operatoren und Wahrheitswerte ... 1003
Implementierungen Boolescher Operatoren ... 1004
Logische Operatoren ... 1004
Kontrollstrukturen ... 1005
Python Package Installer (pip) ... 1008
Virtuelle Python-Umgebungen ... 1008
Objektorientierte Programmierung ... 1009
Vererbung, Polymorphie und Überschreibung ... 1009
Abstrakte Klassen und abstrakte Methoden ... 1010
Mehrfachvererbung ... 1010
Kapselung ... 1011
Dateioperationen ... 1011
Weitere Funktionen und Methoden von Listen ... 1012
Slicing ... 1013
Slicing für Strings ... 1014
Dictionary ... 1014
Set ... 1014
Frozenset ... 1015
List- und Dictionary-Comprehension ... 1015

Datenschutz, Datensicherheit ... **1017**
Datenschutz ... 1017
Datensicherheit ... 1017
IT-Grundschutz ... 1018

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

19

Datenschutzstrategie ... 1019
Datenschutz-Grundverordnung ... 1020
Personenbezogene Daten ... 1021
DSGVO – TOM ... 1022

Industrie 4.0 ... 1023
Definition Industrie 4.0 ... 1023
Industrial Internet of Things (IIoT) ... 1023
Smart Factory ... 1024
Big Data ... 1026
RAMI 4.0 ... 1027
Horizontale und vertikale Integration ... 1028
Supply Chain Management ... 1029
Simulation/Digitale Zwillinge (Digital Twins) ... 1030
Autonome Roboter ... 1031
Cybersicherheit ... 1031

Berufsübergreifende Qualifikationen ... 1032

Wirtschaft, Recht, Unternehmen ... 1033
Produktionsfaktoren, Betrieb und Unternehmung ... 1033
Rechtsformen der Unternehmung ... 1034
Umwelt und Betrieb ... 1035
Arbeitsvertrag ... 1035
Arbeitszeit ... 1036
Arbeitszeugnis ... 1036
Arbeitsschutz ... 1036
Kündigung ... 1037
Weiterbildung ... 1037
Kernqualifikationen ... 1037
Arbeitsgericht ... 1038
Sozialgericht ... 1038
Tarifrecht ... 1038
Tarifverhandlung ... 1038
Tarifvertragsarten ... 1038
Entgelt ... 1039
Entgeltabrechnung ... 1039
Versicherungsarten, Versicherungsprinzipien ... 1039
Gesetzliche Sozialversicherung ... 1040
Betriebsrat (BR) ... 1041
Rechtsfähigkeit ... 1042
Rechtsgeschäfte ... 1042
Geschäftsfähigkeit ... 1042
Besitz und Eigentum ... 1042
Betriebliche Kennzahlen ... 1043
Kalkulation ... 1043
Kaufvertrag ... 1045
Abschreibung ... 1045

Qualitätsmanagement ... 1046
Qualitätssicherung ... 1046
Qualitätsmerkmale ... 1046
Qualitätssicherungsmaßnahmen ... 1046
Qualitätslenkung ... 1047
Ursachen-Wirkungs-Diagramm (Ishikawa-Diagramm) ... 1047
Paretodiagramm ... 1047
Fehlersammelliste ... 1048
Histogramm ... 1048

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

20

Korrelationsdiagramm ... 1048
Qualitätsmerkmale ... 1048
Statistik ... 1049
Grundbegriffe des QM ... 1053

Projektmanagement ... 1056
Definition Projekt ... 1056
Definition Projektmanagement ... 1056
Projektorganisation ... 1056
(Magisches) Projektdreieck ... 1056
Vorgehensmodelle ... 1056
Anforderungsdokumentation ... 1057
Abwicklung eines Projektes ... 1057
Projektmanagementmethoden ... 1058
Stakeholderanalyse ... 1059
SWOT-Analyse ... 1059
Risikomanagement ... 1059

Arbeitssicherheit ... 1060
Arbeiten an elektrischen Anlagen ... 1060
Unterspannungsetzen nach beendeter Arbeit ... 1060
Arbeiten unter Spannung ... 1061
Arbeiten in der Nähe von unter Spannung stehenden Teilen ... 1061
Maschinenrichtlinie 2006/42/EG ... 1062
Sicherheitskennzeichen ... 1063
Warnzeichen ... 1063
Verbotszeichen ... 1064
Gebotszeichen ... 1065
Brandschutzzeichen ... 1066
Rettungszeichen ... 1066
Kennzeichnung von Druckgasflaschen ... 1066
Piktogramme Leitern ... 1066
Prüfzeichen ... 1067
Risikosätze für Gefahrstoffe (H-Sätze) ... 1067
Sicherheitsratschläge für Gefahrstoffe (P-Sätze) ... 1068
GHS/CLP ... 1069
GHS-Symbole/GHS-Signalwörter ... 1069
GHS – Hinweise ... 1069
Gefahrenkennzeichnungen nach GHS ... 1069
Löschmittel-Klassen ... 1070
Brandklassen ... 1070
Explosionsschutz ... 1071
AED ... 1072
Unfälle durch elektrischen Strom ... 1072
Kennzeichnung von Rohrleitungen ... 1073
Gefahrstoffe am Arbeitsplatz ... 1073
Schutz vor Gefahrstoffen am Arbeitsplatz ... 1074
Lärmschutz ... 1074
Persönliche Schutzausrüstung ... 1075
Qualifikationen ... 1075
Verhalten in Notfällen ... 1076
Brandschutzordnung ... 1077
Gliederungsschema einer Brandschutzordnung nach DIN 14096 ... 1077

Lasten ... 1078
Heben und Tragen ... 1078
Lastaufnahmeeinrichtungen ... 1079

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

21

Anschlagen (Verständigung zwischen Anschläger und Kranführer) ... 1088
Grundzeichen ... 1088
Zeichen für senkrechten Bewegungsablauf ... 1089
Zeichen für waagerechten Bewegungsablauf ... 1089

Regeln beim Hantieren mit Hebezeugen und Anschlagmitteln ... 1090

Umweltschutz ... 1091
Entsorgung von Abfällen ... 1091
Tätigkeiten mit Asbest ... 1091
Nachhaltigkeit ... 1092
Verwertung, Entsorgung, Elektroschrott ... 1094
Verpackungsgesetz ... 1095
Recycling von Kunststoffen und Metallen ... 1095

Sachwortverzeichnis ... 1096

Normenverzeichnis ... 1117

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

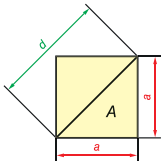
Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

Mathematische Grundlagen

Flächenberechnung

Quadrat

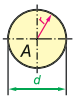


1 $A = a^2$

2 $U = 4 \cdot a$

3 $d = \sqrt{2} \cdot a$

Kreis

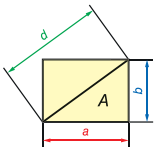


14 $A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = d^2 \cdot 0{,}785$

15 $A = \pi \cdot r^2$

16 $U = \pi \cdot d$

Rechteck

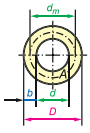


4 $A = a \cdot b$

5 $U = 2 \cdot a + 2 \cdot b$
$= 2 \cdot (a + b)$

6 $d = \sqrt{a^2 + b^2}$

Kreisring



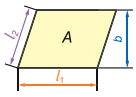
17 $d_m = \frac{d + D}{2}$

$d_m = d + b$ $\quad d_m = D - b$

18 $L = \pi \cdot d_m$ (gestreckte Länge)

19 $A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$

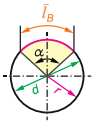
Parallelogramm



7 $A = l_1 \cdot b$

8 $U = 2 \cdot (l_1 + l_1)$

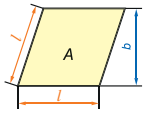
Kreisbogen



20 $l_B = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360°}$

$l_B = \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{180°}$

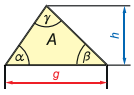
Raute



9 $A = l \cdot b$

10 $U = 4 \cdot l$

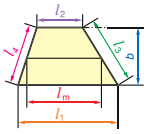
Dreieck



21 $A = \frac{g \cdot h}{2}$

$\alpha + \beta + \gamma = 180°$

Trapez



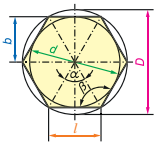
11 $l_m = \frac{l_1 + l_2}{2}$

12 $A = \frac{l_1 + l_2}{2} \cdot b$

$A = l_m \cdot b$

13 $U = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$

Regelmäßiges Vieleck



n = Eckenzahl

22 $l = D \cdot \sin\left(\frac{180°}{n}\right)$

23 $D = \sqrt{d^2 + l^2}$

24 $U = l \cdot n$

25 $\alpha = \frac{360°}{n}$

26 $\beta = 180° - \alpha$ $\quad \beta = \frac{(n-2) \cdot 180°}{n}$

27 $A = \frac{l \cdot b}{2} \cdot n$ $\quad A = \frac{l \cdot d}{4} \cdot n$

Berechnungshilfe für regelmäßige Vielecke

Anzahl der Ecken	Außendurchmesser Eckenmaß $D = e$		Innendurchmesser Schlüsselweite $d = s$		Seitenlänge l		Fläche A		
3	$1{,}154 \cdot l$	$2{,}000 \cdot d$	$0{,}578 \cdot l$	$0{,}500 \cdot D$	$0{,}867 \cdot D$	$1{,}732 \cdot d$	$0{,}325 \cdot D^2$	$1{,}299 \cdot d^2$	$0{,}433 \cdot l^2$
4	$1{,}414 \cdot l$	$1{,}414 \cdot d$	$1{,}000 \cdot l$	$0{,}707 \cdot D$	$0{,}707 \cdot D$	$1{,}000 \cdot d$	$0{,}500 \cdot D^2$	$1{,}000 \cdot d^2$	$1{,}000 \cdot l^2$
5	$1{,}702 \cdot l$	$1{,}236 \cdot d$	$1{,}376 \cdot l$	$0{,}809 \cdot D$	$0{,}588 \cdot D$	$0{,}727 \cdot d$	$0{,}595 \cdot D^2$	$0{,}908 \cdot d^2$	$1{,}721 \cdot l^2$
6	$2{,}000 \cdot l$	$1{,}155 \cdot d$	$1{,}732 \cdot l$	$0{,}866 \cdot D$	$0{,}500 \cdot D$	$0{,}577 \cdot d$	$0{,}649 \cdot D^2$	$0{,}866 \cdot d^2$	$2{,}598 \cdot l^2$
8	$2{,}614 \cdot l$	$1{,}082 \cdot d$	$2{,}414 \cdot l$	$0{,}924 \cdot D$	$0{,}383 \cdot D$	$0{,}414 \cdot d$	$0{,}707 \cdot D^2$	$0{,}829 \cdot d^2$	$4{,}828 \cdot l^2$
10	$3{,}236 \cdot l$	$1{,}052 \cdot d$	$3{,}078 \cdot l$	$0{,}951 \cdot D$	$0{,}309 \cdot D$	$0{,}325 \cdot d$	$0{,}735 \cdot D^2$	$0{,}812 \cdot d^2$	$7{,}694 \cdot l^2$
12	$3{,}864 \cdot l$	$1{,}035 \cdot d$	$3{,}732 \cdot l$	$0{,}966 \cdot D$	$0{,}259 \cdot D$	$0{,}268 \cdot d$	$0{,}750 \cdot D^2$	$0{,}804 \cdot d^2$	$11{,}196 \cdot l^2$

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

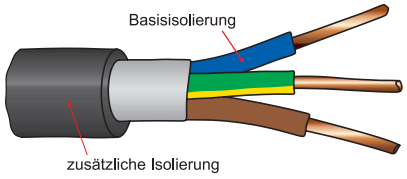
Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag — DIN VDE 0100-410

Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren)

Aufgabe: Basisisolierung, Abdeckungen und Umhüllungen verhindern das direkte Berühren aktiver Teile.

Basisisolierung aktiver Teile

Alle aktiven Teile sind vollständig mit einer Isolierung abgedeckt, welche nur durch Zerstörung entfernt werden kann.



Abdeckungen und Umhüllungen (Gehäuse)

- mindestens Schutzart IP2X, bei horizontalen Oberflächen mind. IP4X
- nur mit Schlüssel oder Werkzeug entfernbar
- Sie müssen eine ausreichende Festigkeit, Stabilität und Haltbarkeit haben.



Basisschutz unter besonderen Bedingungen (überwachte Anlage)

Dieser Basisschutz ist nur zulässig in elektrischen Anlagen, die ausschließlich von Elektrofachkräften oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen betrieben und überwacht werden.

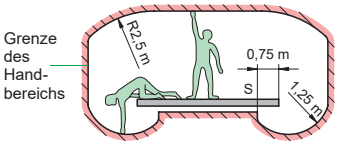
Schutz durch Hindernisse	Schutz durch Anordnung außerhalb des Handbereichs

Aufgabe: Hindernisse und Anordnungen außerhalb des Handbereichs müssen unbeabsichtigtes Berühren aktiver Teile verhindern – nicht jedoch beabsichtigtes Berühren.

- Hindernisse (z. B. Barrieren oder Abschrankungen) dürfen nicht ohne Werkzeug entfernbar sein.
- Unbeabsichtigtes Entfernen darf nicht möglich sein.



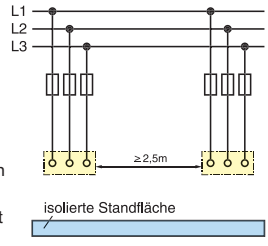
- Im Handbereich müssen aktive Teile unterschiedlichen Potenzials einen Mindestabstand von 2,5 m aufweisen, um unbeabsichtigtes gleichzeitiges Berühren zu verhindern.



Fehlerschutz in überwachten elektrischen Anlagen (nur für Elektrofachkräfte)

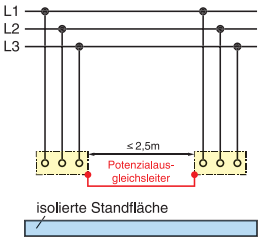
Schutz durch nicht leitende Umgebung	Schutz durch erdfreien örtlichen Potenzialausgleich

- Verhindert das gleichzeitige Berühren von Teilen, die infolge eines Isolationsfehlers unterschiedliche Potenziale annehmen können
- Ein Schutzleiteranschluss ist nicht zulässig



- Zulässig nur in begründeten Sonderfällen
- Widerstands-Mindestwerte der isolierenden Böden und Wände:
  ≦ 500 V AC: 50 kΩ
  ≧ 500 V AC: 100 kΩ

- Verhindert das Auftreten gefährlicher Berührungsspannungen durch Potenzialausgleich
- Alle elektrischen Objekte müssen eine Schutzvorkehrung für den Basisschutz besitzen.
- Alle gleichzeitig berührbaren leitfähigen Teile und fremde leitfähige Körper sind mit dem Schutzpotenzialausgleich zu verbinden.



© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

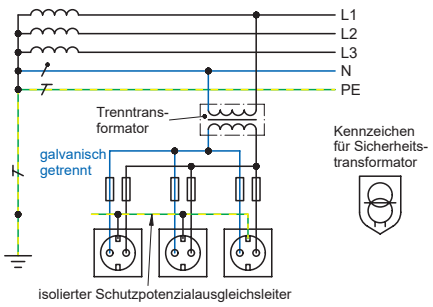
Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag — DIN VDE 0100-410

Schutz durch Schutztrennung für die Versorgung von mehr als einem Verbrauchsmittel

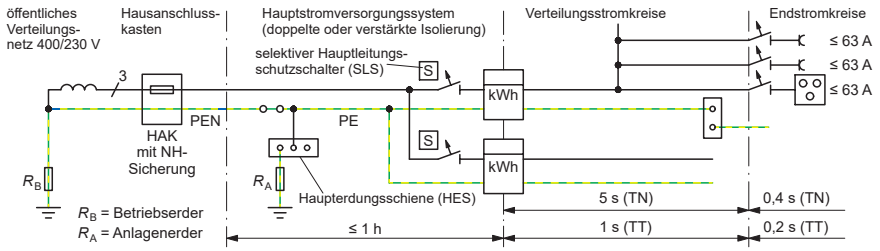
Elektrische Objekte sind durch einen Trenntransformator vom Netz galvanisch getrennt. Eine Potenzialdifferenz gegen Erde kann nicht bestehen. Ein gefährlicher Strom kann somit bei defekter Basisisolierung nicht fließen.

Anforderungen

- Der getrennte Stromkreis ist durch geeignete Maßnahmen gegen Isolationsfehler und mechanische Beschädigung zu schützen.
- Alle gleichzeitig berührbaren leitfähigen Teile müssen über einen isolierten Schutzpotenzialausgleich miteinander verbunden sein, der nicht mit fremden Schutzleitern verbunden ist.
- Wichtig: Schutzleiter in flexiblen Anschlussleitungen erforderlich, außer bei Anschluss von Schutzklasse-II-Betriebsmitteln.
- Um sicherzustellen, dass im Fehlerfall keine unzulässig hohe Berührungsspannung auftritt, gilt für die Leitungslänge zwischen Trenntransformator und Verbrauchsmitteln folgende Begrenzung:
  U in V · l in m < 100 000 V m



Maximale Abschaltzeiten beim Fehlerschutz *Schutz durch automatische Abschaltung im Fehlerfall*



Spannungsbereiche U_0	50 V < U_0 ≤ 120 V		**120 V < U_0 ≤ 230 V**		230 V < U_0 ≤ 400 V		U_0 > 400 V	
	U_0: Spannung Außenleiter gegen Erde (im 230/400 V-Netz gilt: U_0 = 230 V)							
Stromart	AC	DC	**AC**	**DC**	AC	DC	AC	DC
TN: t in s	0,8	*	**0,4**	**1,0**	0,2	0,4	0,1	0,1
TT: t in s	0,3	*	**0,2**	**0,4**	0,07	0,2	0,04	0,1

*Abschaltung aus anderen Gründen als Schutz gegen elektrischen Schlag erforderlich.

Anforderungen für Steckdosen in Endstromkreisen

Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) mit $I_{\Delta N} \leq 30$ mA sind verpflichtend für AC-Endstromkreise mit:

- Steckdosen mit einem Bemessungsstrom bis einschließlich 32 A, sofern diese allgemein zugänglich oder durch Laien nutzbar sind
- fest angeschlossenen ortsveränderlichen Betriebsmitteln im Außenbereich mit einem Bemessungsstrom bis einschließlich 32 A

Zusätzliche Anforderungen für Leuchtenstromkreise (TN- und TT-System)

- Für alle Endstromkreise (AC) mit Leuchten sind ebenfalls RCDs mit $I_{\Delta N} \leq 30$ mA vorgeschrieben.



Quelle: Siemens AG, 2024

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag — DIN VDE 0100-410

Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung im TN-System
Fehlerschutz *Schutz durch automatische Abschaltung im Fehlerfall (Schutzklasse I)*

Voraussetzung: wirksame Verbindung des PEN-Leiters/Schutzleiters mit Erdung der elektrischen Anlage und niederohmige Verbindung des Trafo-Sternpunktes

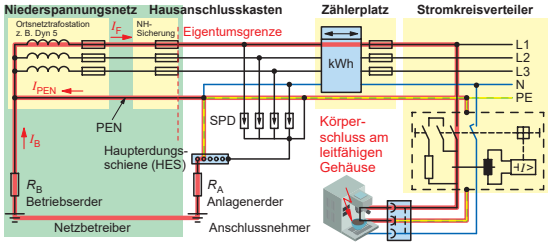
Prinzip: Fehlerstrom I_F fließt als Kurzschlussstrom über PE/Schutzleiter zum Sternpunkt und bewirkt Abschaltung der Fehlerstrom (RCD)- oder Überstromschutzeinrichtung

Abschaltbedingung:

1 $$Z_S \le \frac{U_0}{I_a} = \frac{U_0}{I_{\Delta N}}$$

Z_S Fehlerschleifenimpedanz
I_a Auslösestrom
$I_{\Delta N}$ Bemessungsdifferenzstrom RCD
U_0 Bemessungsspannung Außenleiter gegen Erde

Normaler RCD: $I_a = I_{\Delta N}$
Selektiver RCD: $I_a = 2 \cdot I_{\Delta N}$



Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung im TT-System

Voraussetzung: Erdung des Trafo-Sternpunktes. Die Körper aller Betriebsmittel sind entweder direkt geerdet oder über Schutzleiter mit einem lokalen Erder verbunden. Alle gleichzeitig berührbaren leitfähigen Teile sind in den örtlichen Schutzpotenzialausgleich einzubeziehen.

Prinzip: Fehlerstrom I_F fließt als Erdschlussstrom über den Anlagenerder R_A zum geerdeten Trafo-Sternpunkt. Auslösung der Fehlerstrom- oder Überstromschutzeinrichtung.

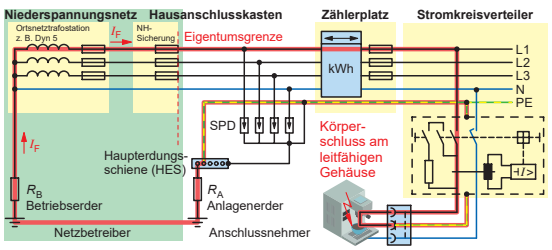
Abschaltbedingung bei RCD:

2 $$R_a \cdot I_a \le U_L$$

R_A Erdungswiderstand
$I_a = I_{\Delta N}$ Auslösestrom
U_L Berührungsspannung (AC: 50 V; DC: 120 V)

Abschaltbedingung bei Überstromschutzeinrichtung:

3 $$Z_S \cdot I_a \le U_0$$



Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung im IT-System

Voraussetzung:

- Isolationsüberwachungseinrichtung (IMD meldet Fehler durch akustisches oder optisches Signal)
- keine direkte Erdung des Trafo-Sternpunkts; nur hochohmige Erdung zulässig
- Stromversorgung über eigenen Transformator oder Generator
- Alle Körper sind mit eigenem PE zu verbinden.

Prinzip:

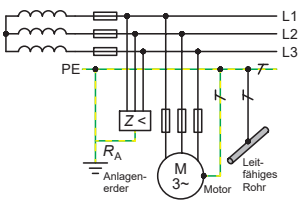
1. Fehler: miteinander verbundene Körper nehmen gleiches Potential an, keine Gefährliche Berührungsspannung.
2. Fehler: Schutzeinrichtungen (RCD oder Überstromschutz) schalten Stromversorgung ab.

Abschaltbedingung:

4 $$R_A \cdot I_d \le U_L$$

R_A Erdungswiderstand
I_d Erst-Fehlerstrom
U_L Berührungsspannungsgrenzen
U_0 Spannung gegen N bzw. PE

U_0/U	zul. Abschaltzeiten	
	ohne N	mit N
230/400 V	0,4 s	0,8 s
400/690 V	0,2 s	0,4 s
580/1000 V	0,1 s	0,2 s



Ohne N-Leiter

5 $$Z_S \le \frac{U}{2 \cdot I_a}$$

Mit N-Leiter

6 $$Z_S \le \frac{U_0}{2 \cdot I_a}$$

Z_S zulässige Schleifen-impedanz

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag — DIN VDE 0100-410

Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung

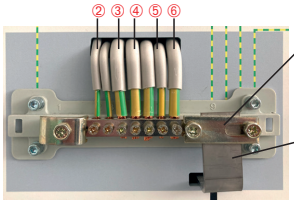
Fehlerschutz Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene

Der Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene ist eine zweite Teilmaßnahme der Schutzvorkehrung **„automatische Abschaltung im Fehlerfall“**. Er minimiert die Berührungsspannung bei einem Körperschluss, damit in der Auslösezeit der Schutzeinrichtungen keine gefährlichen Berührungsspannungen entstehen können.

Voraussetzung:

Für die wirksame Funktion müssen über die Haupterdungsschiene (HES) verbunden sein:

- Schutzleiter im Gebäude
- Schutzleiter des einspeisenden Netzes
- alle leitfähigen Teile, die von außen in das Gebäude führen, wie:
  - ① Fundamenterder
  - ② Rohrleitungen
  - ③ Blitzschutzanlage
  - ④ Heizungsanlage
  - ⑤ Antennenanlage
  - ⑥ sämtliche Metallteile der Gebäudekonstruktion



Mindestquerschnitt Schutzpotenzialausgleichsleiter:

- A_{Kupfer} = 6 mm² Kupfer
- $A_{Aluminium}$ = 16 mm² Aluminium
- A_{Stahl} = 50 mm² Stahl (siehe DIN VDE 0100-540)

Funktionskleinspannung (FELV) – Schutz durch Kleinspannung ohne sichere Trennung (Schutzklasse III)

Allgemeines: Wenn aus Funktionsgründen die Bemessungsspannungen $U \leq 50$ V (AC) und $U \leq 120$ V (DC) betragen und nicht alle Anforderungen für die eigenständigen Schutzmaßnahmen SELV oder PELV erfüllt sind, gelten ergänzende Vorkehrungen für Basisschutz und Fehlerschutz. Diese Vorkehrung heißt **FELV** (**F**unktional **E**xtra **L**ow **V**oltage). Transformatoren mit mindestens einfacher Trennung sind notwendig. **FELV-Steckvorrichtungen** dürfen nicht in Systemen höherer Spannung und nicht bei SELV und PELV einführbar sein. Steckdosen benötigen einen Schutzkontakt.

Funktion: Fehler ①: noch keine gefährliche Berührungsspannung; Fehler ②: Eine gefährliche Berührungsspannung kann nicht bestehen.

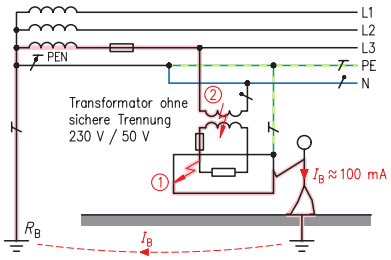
Anwendung: Steuerungen von Maschinen

Anforderungen Basisschutz:

- Basisisolierung oder
- Abdeckungen oder Umhüllungen

Anforderungen Fehlerschutz:

- Betriebsmittel der Schutzklasse I des FELV-Stromkreises müssen mit dem Schutzleiter des Primärstromkreises der Stromquelle verbunden sein.
- Der Primärstromkreis muss mit Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung abgesichert sein.



Schutzmaßnahme: Doppelte oder verstärkte Isolierung (Schutzklasse II)

Allgemeines:

- Basisschutz durch Basisisolierung und Fehlerschutz durch eine zusätzliche Isolierung oder
- Basisschutz und Fehlerschutz durch verstärkte Isolierung zwischen aktiven und berührbaren Teilen

Funktion: Verhindert das Auftreten einer gefährlichen Spannung an berührbaren Teilen bei Fehlern in der Basisisolierung. Anwendbar in allen Situationen, mit Ausnahmen gemäß Gruppe 700 der DIN VDE 0100.

Anforderungen:

- Die doppelte Isolierung besteht aus zwei voneinander unabhängigen Isolierungen: einer Basisisolierung und einer zusätzlichen Isolierung.
- Die verstärkte Isolierung ist eine Isolierung von gefährlichen aktiven Teilen, welche einen gleichwertigen Schutz gegen elektrischen Schlag wie die doppelte Isolierung bietet.

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag — DIN VDE 0100-410

Schutzmaßnahme: Doppelte oder verstärkte Isolierung (Schutzklasse II)

Betriebsmittel müssen typgeprüft und nach einschlägigen Normen gekennzeichnet sein.

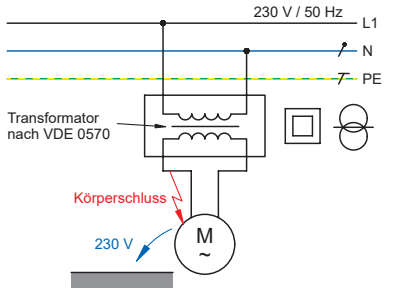
Bauart

- Betriebsmittel mit doppelter oder verstärkter Isolierung (Schutzklasse II)
- Betriebsmittel, welche nach der entsprechenden Norm mit Schutzklasse II als gleichwertig gelten

Schutzmaßnahme: Schutztrennung (Schutzklasse II)

Allgemeines

- Basisschutz durch Basisisolierung der aktiven Teile oder durch Abdeckungen oder Umhüllungen
- Fehlerschutz durch einfache Trennung des Stromkreises mit Schutztrennung von anderen Stromkreisen und Erde. Schutztrennung: ungeerdete Stromquelle (Trenntransformator) mit einfacher Trennung betreibt ein Betriebsmittel
- Bemessungsspannung mit Schutztrennung max. 500 V
- Aktive Teile dürfen nicht mit anderen Stromkreisen/ Schutzleiter verbunden sein.
- Flexible Leitungen müssen in Bereichen mit mechanischer Beansprachung sichtbar sein.



Funktion: Durch die galvanische Trennung kann bei einem Körperschluss kein gefährlicher Fehlerstrom fließen.

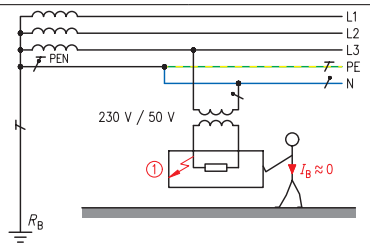
Schutzmaßnahme: Schutz durch Kleinspannung mit SELV oder PELV (Schutzklasse III)

Bedingungen

- Bemessungsspannungen bis maximal AC: 50 V (Effektivwert) oder DC: 120 V
- sichere Trennung des SELV- oder PELV-Systems von allen anderen Stromkreisen und Basisisolierung zwischen SELV-/PELV-System und anderen SELV-/PELV-Systemen
- Stromquellen: Sicherheitstransformator nach VDE 0570-2-6, elektrochemische Stromquelle
- **Anforderungen:** Basisisolierung zwischen aktiven Teilen, sichere Trennung von aktiven Teilen anderer Stromkreise durch doppelte oder verstärkte Isolierung und Schutzschirmung. Stecker/Steckdose dürfen nicht mit Steckdosen/Stecker anderer Spannungssysteme kompatibel sein.

Safety Extra Low Voltage (SELV)

- Körper dürfen **nicht** mit Erde/Schutzleiter oder mit Körpern anderer Stromkreise verbunden sein.
- Stecker/ Steckdosen dürfen keinen Schutzleiterkontakt haben.
- Basisisolierung zwischen aktiven Teilen und Erde haben.
- Bei einem Körperschluss ① ist ein relevanter Fehlerstrom über den menschlichen Körper nicht möglich.

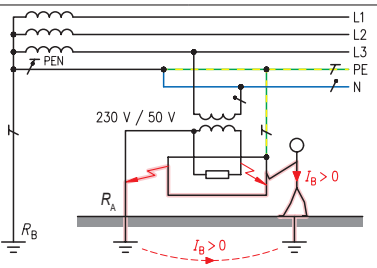


Protection Extra Low Voltage (PELV)

- Ein Leiter des Systems darf geerdet sein.
- Im Fehlerfall mit einem direkten Körperschluss fließt ein nicht gefährlicher Strom durch die Körperimpedanz Z_T in Höhe von

$$I_B = \frac{U}{Z_T} = \frac{50\ V}{1450\ \Omega} = 34{,}5\ mA$$

Dieser Strom liegt unter dem Bereich AC 3 und lässt keine organischen Schäden erwarten.



© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag — DIN VDE 0100-410

Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) — VDE 0470-1

IP-Code (**I**nternational **P**rotection) ist ein Kurzzeichen und kennzeichnet die Stärke des Schutzes gegen das Eindringen von Staub und Wasser mit 2 Ziffern.

- **Kennziffer 1:** Schutz vor Berührung gefährlicher Gehäuseteile und Eindringen fester Fremdkörper.
- **Kennziffer 2:** Schutz vor Wassereintritt.

Der **zusätzliche** und der **ergänzende Buchstabe** dienen der Erläuterung der Kennziffern und werden selten verwendet (optional).

1. Ziffer	Berührungs- und Fremdkörperschutz	Bild-zeichen
Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser …		
IP0X	Nicht geschützt	
IP1X	≥ 50 mm	–
IP2X	≥ 12,5 mm	–
IP3X	≥ 2,5 mm	–
IP4X	≥ 1 mm	–
IP5X	staubgeschützt	
IP6X	staubdicht	

2. Ziffer	Wasserschutz	Bild-zeichen
Schutz gegen ...		
IPX0	Nicht geschützt	
IPX1	Senkrecht tropfendes Wasser	
IPX2	senkrecht tropfendes Wasser, Betriebsmittel bis 15° geneigt	–
IPX3	Sprühwasser (Regen) bis zu einem Winkel von 60° zur senkrechten	
IPX4	Spritzwasser aus allen Richtungen	
IPX5	Strahlwasser (Düse) aus allen Richtungen	
IPX6	starker Wasserstrahl oder schwere See aus allen Richtungen	–
IPX7	Wasser beim Eintauchen unter Druck – Zeitbedingungen	
IPX8	andauerndes Untertauchen des Betriebsmittels	 ... bar
IPX9	Hochdruck und hohe Strahlwassertemperaturen	–

3. Ziffer: Schutz gegen Zugang mit ...	4. Ziffer: Speziell für…
A Handrücken	H Betriebsmittel für Hochspannung
B Finger	M Bewegung während Wasserprüfung
C Werkzeug	S Stillstand während Wasserprüfung
D Draht	W Wetterbedingungen

Zusätzlicher Schutz — DIN VDE 0100-410

Ein **zusätzlicher Schutz** ist unter bestimmten Bedingungen von äußeren Einflüssen und in besonderen Bereichen nach DIN VDE 0100 Gruppe 700 erforderlich.

Zusätzlicher Schutz durch: Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit $I_{\Delta N} \leq 30$ mA

RCD **ergänzt** die vorhandene Schutzmaßnahme und begrenzt die Einwirkdauer des Stroms auf den menschlichen Körper. Ein RCD $I_{\Delta N} \leq 30$ mA am Eingang eines Endstromkreises darf gleichzeitig **Fehlerschutz** und **zusätzlichen Schutz** gewährleisten. Zulässig sind: RCD ohne integrierten Überstromschutz (RCCB) oder mit integrierten Überstromschutz (RCBO) nach VDE 0664-10.

Zusätzlicher Schutz durch: zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich

- Es umfasst die elektrische Verbindung aller gleichzeitig berührbaren leitfähigen Teile, einschließlich der Körper fest installierter elektrischer Betriebsmittel und fremder leitfähiger Teile wie metallischer Rohrleitungen und, soweit möglich, der metallischen Hauptbewehrung des Stahlbetons bis hin zu den Schutzleitern aller elektrischen Betriebsmittel und Schutzleitern der Steckdosen.
- in speziellen Betriebsbereichen z. B. Schwimmbädern gefordert
- Querschnitt der Leitung (DIN VDE 0100-701):
  geschützte Verlegung: $A_{Kupfer} \geq 2{,}5\ mm^2$
  ungeschützte Verlegung: $A_{Kupfer} \geq 4\ mm^2$

Der Widerstand R zwischen gleichzeitig berührbaren Körpern und fremden leitfähigen Teilen muss folgende Bedingung erfüllen:

Wechselspannung (AC)

1 $R \leq \frac{50\ V}{I_a}$

Gleichspannung (DC)

2 $R \leq \frac{120\ V}{I_a}$

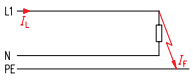
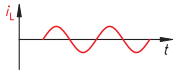
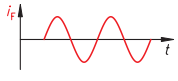
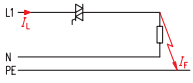
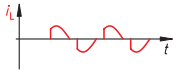
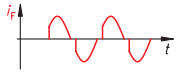
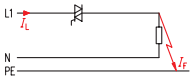
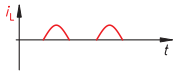
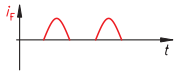
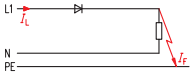
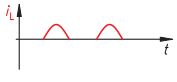
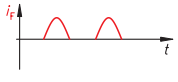
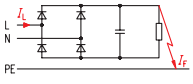
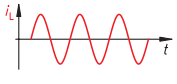
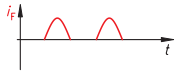
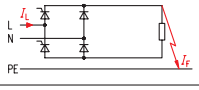
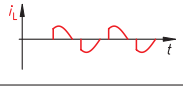
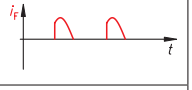
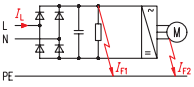
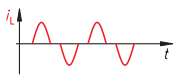
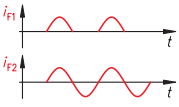
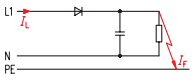
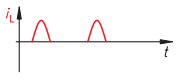
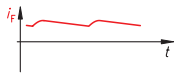
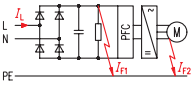
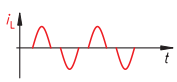
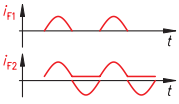
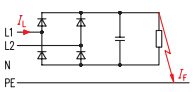
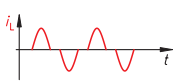
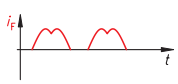
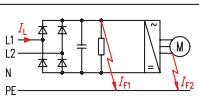
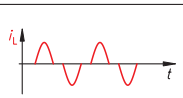
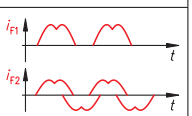
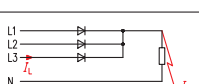
© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

Schutzeinrichtungen

Fehlerstromformen und geeignete Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs)

RCD-Typen A	F	B	B+	Ersatzschaltbild mit Fehlerstrom	Laststrom i_L	Fehlerstrom i_F
●	●	○	●	 einphasig ohne Gleichrichtung		
●	●	○	●	 Phasenanschnitt-steuerung		
●	●	○	●	 Burst-Steuerung		
●	●	○	●	 einphasig		
●	●	○	●	 Zweipulsbrücken-schaltung		
●	●	○	●	 Zweipulsbrücken-schaltung halbgesteuert		
	●	○	●	 Frequenzumrichter mit Zweipuls-brückenschaltung		
		○	●	 einphasig mit Glättung		
		○	●	 Frequenzumrichter mit Zweipuls-brückenschaltung und PFC-Stufe		
		○	●	 Zweipulsbrücken-schaltung zwischen Außenleitern		
		○	●	 Frequenzumrichter mit Zweipulsbrücken-schaltung zwischen Außenleitern		
		○	●	 Drehstrom-Sternschaltung		

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

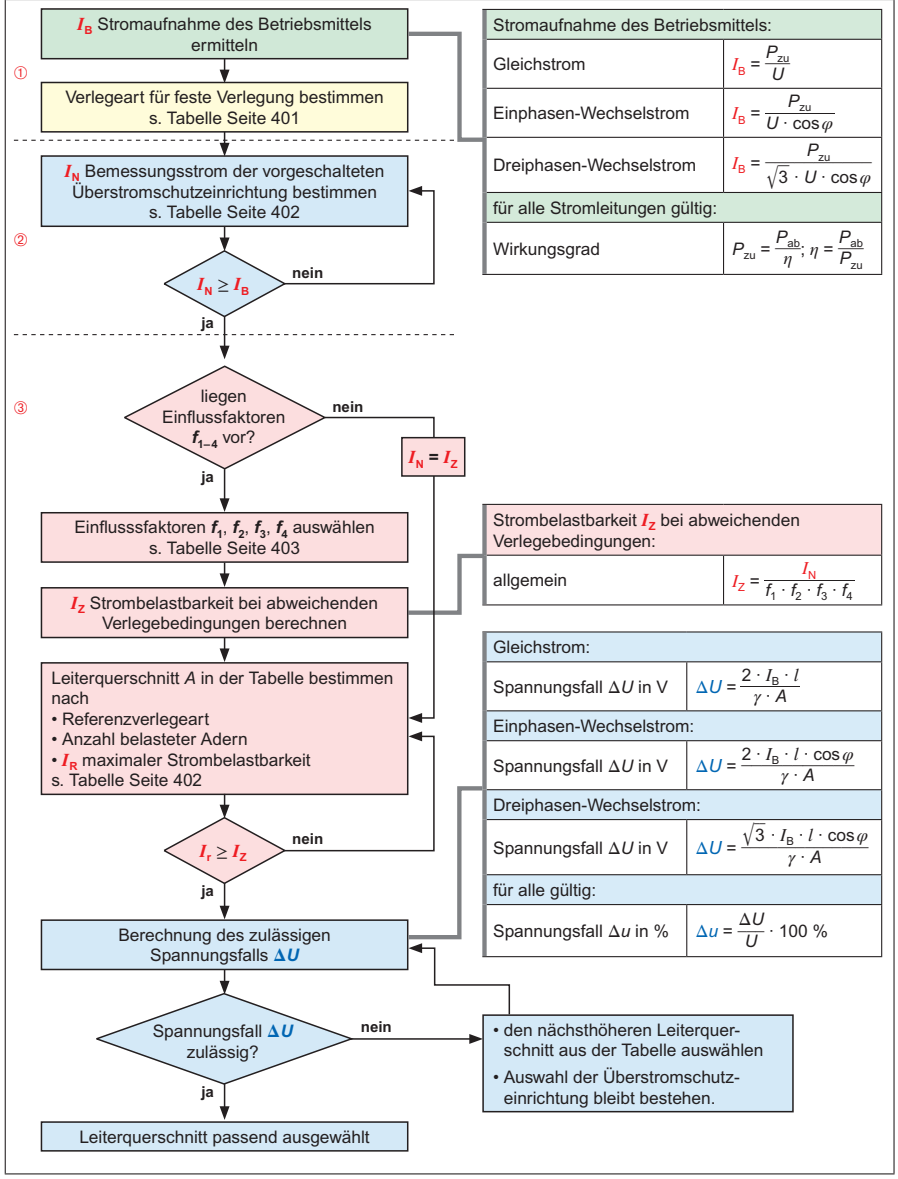
Christiani
seit 1931

Leitungen und Kabel

Ermittlung des notwendigen Leitungsquerschnittes *A* mit Einflussfaktoren

Ablaufplan

Bedingung: $I_B \le I_N \le I_Z\ (I_R)$
① ② ③



Stromaufnahme des Betriebsmittels:	
Gleichstrom	$I_B = \frac{P_{zu}}{U}$
Einphasen-Wechselstrom	$I_B = \frac{P_{zu}}{U \cdot \cos\varphi}$
Dreiphasen-Wechselstrom	$I_B = \frac{P_{zu}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}$
für alle Stromleitungen gültig:	
Wirkungsgrad	$P_{zu} = \frac{P_{ab}}{\eta};\ \eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$

Strombelastbarkeit I_Z bei abweichenden Verlegebedingungen:	
allgemein	$I_Z = \frac{I_N}{f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4}$

Gleichstrom:	
Spannungsfall ΔU in V	$\Delta U = \frac{2 \cdot I_B \cdot l}{\gamma \cdot A}$
Einphasen-Wechselstrom:	
Spannungsfall ΔU in V	$\Delta U = \frac{2 \cdot I_B \cdot l \cdot \cos\varphi}{\gamma \cdot A}$
Dreiphasen-Wechselstrom:	
Spannungsfall ΔU in V	$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_B \cdot l \cdot \cos\varphi}{\gamma \cdot A}$
für alle gültig:	
Spannungsfall Δu in %	$\Delta u = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\ \%$

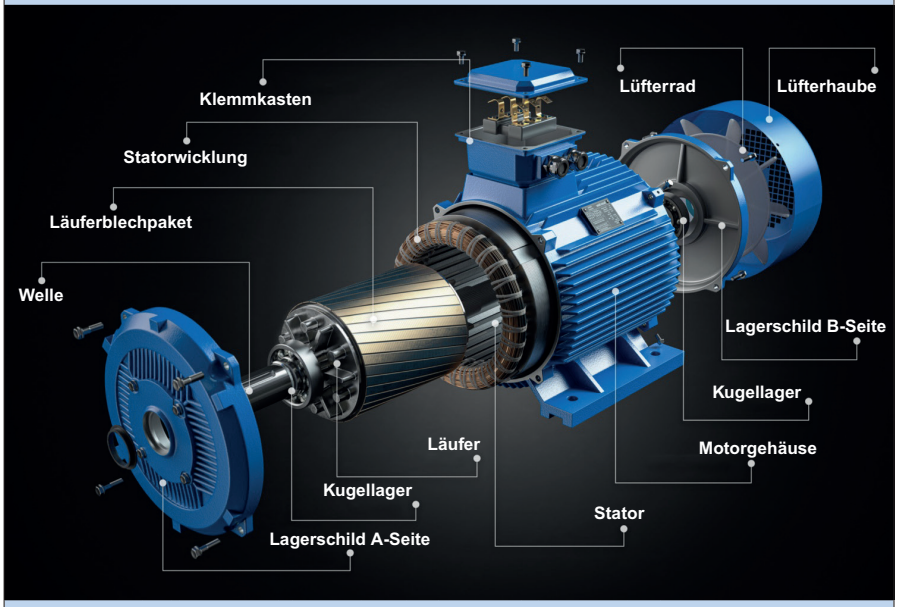
© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

Allgemeines zu elektrischen Maschinen

Bestandteile einer elektrischen Maschine



Energieeffizienz

IEC 60034-30-1

Die Energieeffizienz einer elektrischen Maschine wird als das Verhältnis der mechanischen Ausgangsleistung zur elektrischen Eingangsleistung bezeichnet und bezieht sich auf den Wirkungsgrad. Das Energieeffizienzniveau wird in internationalen Energieeffizienzklassen (IE) angegeben, wobei IE1 das niedrigste und IE5 das höchste Niveau ist.

Ab 1. Juli 2023 gelten folgende Vorgaben:

IE2 für explosionsgeschützte 3-Phasen-Asynchronmotoren

- für den Netzbetrieb
- Nennleistungen zwischen 0,12 und 1000 kW
- gemäß Zündschutzart Ex eb – Erhöhte Sicherheit

IE4 für 3-Phasen-Asynchronmotoren

- 2-, 4- oder 6-polige Motoren
- Für den Netzbetrieb
- Nennleistungen zwischen 75 und 200 kW

IE2 für 1-Phasen-Asynchronmotoren

- für den Netzbetrieb
- Nennleistungen ab 0,12 kW

Die Leistungsschilder der elektrischen Maschinen müssen Auskunft über die Nenneffizienz bei 100 %, 75 % und 50 % der Nennlast geben. Energieeffizientere Maschinen können deutlich größer ausfallen.

Ausgenommen von der IEC 60034-30-1:

- Motoren, die dafür ausgelegt sind, komplett in einer Flüssigkeit eingetaucht betrieben zu werden
- Polumschaltbare Motoren
- Motoren für spezielle Betriebsbedingungen wie z. B. in Höhen von 4000 m, bei Umgebungstemperaturen über 60 °C
- Bremsmotoren
- Motoren mit integriertem Frequenzumrichter
- Motoren, die vollständig in eine Maschine integriert sind (z. B. Pumpen, Lüfter, Kompressoren) und nicht einzeln geprüft werden können
- Motoren mit mechanischem Kommutator

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

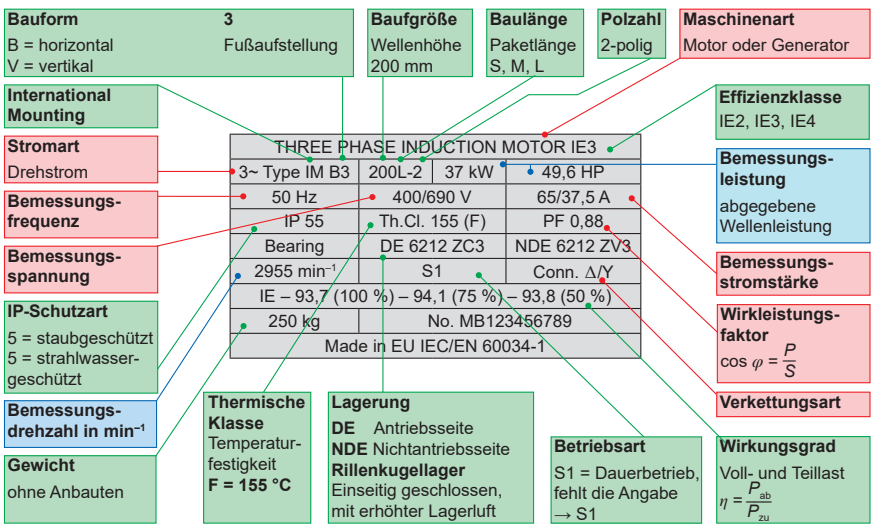
Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

Allgemeines zu elektrischen Maschinen

Leistungsschild

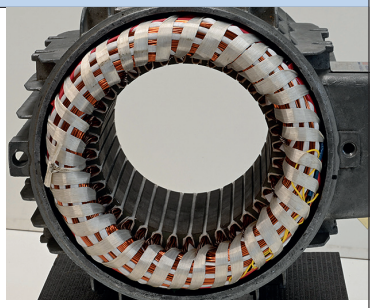
DIN EN 60034-1



■ elektrische Größen ■ mechanische Größen ■ stromunabhängige und sonstige Größen

Verschaltung der Statorwicklung von Drehfeldmaschinen

Angaben auf dem Leistungsschild zur Bemessungsspannung und Verkettungsart	Schaltungsart der Statorwicklung		
	230 V	400 V	690 V
230 / 400 V	Δ	Y	–
400 V Y	–	Y	–
230 V Y	Y	–	–
400 V Δ / 690 V Y	–	Δ	Y
230 V Δ / 400 V Y	Δ	Y	–
690 V Y	–	Δ	Y
400 / 690 V	–	Δ	Y



Eingelegte und verdrahtete Spulen im Stator einer Drehfeldmaschine. Die Verschaltung erfolgt über das Klemmbrett auf der rechten Seite.

Drehrichtung einer elektrischen Maschine

DIN EN 60034-8

Die Drehrichtung bzw. der Drehsinn ergibt sich beim Blick auf die Seite der Maschine, an die die Last angekoppelt wird (A-Seite/Antriebsseite):

Maschine dreht im Uhrzeigersinn → Rechtslauf ■

Maschine dreht gegen den Uhrzeigersinn → Linkslauf ■



Quelle: aleksanderdn / 123RF.com

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Allgemeines zu elektrischen Maschinen

Bauformen

DIN EN 60034-7

Die Bauform beschreibt die Anordnung der Maschinenbauteile in Bezug auf Befestigung, Lageranordnung und Wellenende.

Die Aufstellung beschreibt die Lage der Maschine als Ganzes am Aufstellungsort in Bezug auf Befestigung und Wellenausrichtung.

Lagerschilde sind die hinteren und vorderen Abdeckungen, die das Maschineninnere an den Stirnseiten abdichten und die Lager der Welle aufnehmen. Die A-Seite einer elektrischen Maschine bezeichnet die Abtriebsseite und die B-Seite die gegenüberliegende Seite.

Zur Beschreibung wird der IM-Code (**I**nternational **M**ounting) verwendet.

Code I (z. B. IM B3)

Betrifft nur umlaufende elektrische Maschinen mit Lagerschilden und einem Wellenende. Das Kurzzeichen besteht aus den Buchstaben IM, denen ein weiterer Buchstabe und eine Zahl folgt.

Code II (z. B. IM 1001)

Deckt einen größeren Bereich der Maschinen unter Einschluss von Code I ab und besteht ebenfalls aus den Buchstaben IM und vier folgenden Ziffern

B	Mit Lagerschilden, waagerechte Anordnung	V	Mit Lagerschilden, senkrechte Anordnung	1	Fußanbau, mit Schildlager
2	Fuß- und Flanschanbau, Schildlager	3	Flanschanbau, Schildlager, Flansch am Lagerschild	4	Flanschanbau, Schildlager, Flansch am Gehäuse
5	Ohne Lager	6	Schildlager und Stehlager	7	Nur Stehlager
8	Vertikal, nicht durch 1–4 beschrieben	9	Mit besonderer Aufstellung		

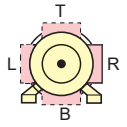
Lage des Klemmkastens

Sicht auf die A-Seite der Maschine und

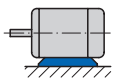
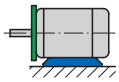
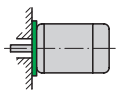
- bei Fußausführung relativ zu den Füßen in der 6-Uhr-Stellung
- bei Flanschausführung: relativ zur Entwässerungsöffnung in der 6-Uhr-Stellung

Der Kennbuchstabe wird dem IM-Code angehängt.

Kennbuchstabe	Klemmkastenlage	
R	rechts	3 Uhr
B	unten	6 Uhr
L	links	9 Uhr
T	oben	12 Uhr



Bauformen, Beispiele

Kurzzeichen	Bild	Erklärung
Waagerechte Anordnung		Farbliche Darstellung: ■ Maschinenfuß ■ Maschinenflansch
IM B3 IM 1001		2 Lagerschilde, freies Wellenende, Gehäuse mit Füßen, Aufstellung auf Unterbau
IM B35 IM 2001		2 Lagerschilde, freies Wellenende, Gehäuse mit Füßen, Befestigungsflansch in Lagernähe, Zugang von Gehäuseseite, Aufstellung auf Unterbau mit zusätzlichem Flansch
IM B5 IM 3001		2 Lagerschilde, freies Wellenende, Gehäuse ohne Füße, Befestigungsflansch in Lagernähe, Zugang von Gehäuseseite, Flanschanbau

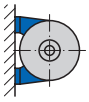
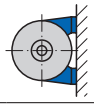
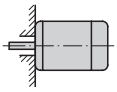
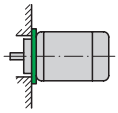
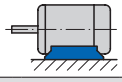
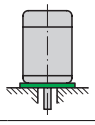
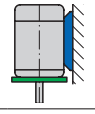
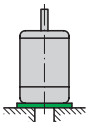
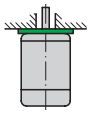
© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Allgemeines zu elektrischen Maschinen

Bauformen DIN EN 60034-7

Bauformen, Beispiele

Kurzzeichen	Bild	Erklärung
Waagerechte Anordnung		Farbliche Darstellung: ■ Maschinenfuß ■ Maschinenflansch
IM B6 IM 1051		2 Lagerschilde, freies Wellenende, Gehäuse ohne Füße, wie Bauform B3, nötigenfalls Lagerschilde um 90° gedreht, Befestigung an der Wand, Füße auf A-Seite gesehen links
IM B7 IM 1061		wie Bauform 6, Füße jedoch auf A-Seite gesehen rechts
IM B8 IM 1071		2 Lagerschilde, freies Wellenende, Gehäuse mit Füßen, wie Bauform B3, nötigenfalls Lagerschilde um 180° gedreht, Befestigung an der Decke
IM B9 IM 9101		1 Lagerschild, freies Wellenende, Gehäuse ohne Füße, wie Bauform B5 oder B14, jedoch ohne Lagerschild und ohne Wälzlager auf A-Seite, Anbau an Gehäusestirnfläche auf A-Seite
IM B10 IM 4001		2 Lagerschilde, freies Wellenende, Gehäuse ohne Füße, Befestigungsflansch in Gehäusenähe auf A-Seite, Zugang von Gehäuseseite, Flanschanbau
IM B20 IM 1101		2 Lagerschilde, freies Wellenende, Gehäuse mit hochgezogenen Füßen, zum Einlassen in den Unterbau
Kurzzeichen	**Bild**	**Erklärung**
Senkrechte Anordnung		Farbliche Darstellung: ■ Maschinenfuß ■ Maschinenflansch
IM V1 IM 3011		2 Lagerschilde, freies Wellenende unten, Gehäuse ohne Füße, Befestigungsflansch in Lagernähe auf A-Seite, Zugang von Gehäuseseite, Flanschanbau unten
IM V15 IM 2011		2 Lagerschilde, freies Wellenende unten, Gehäuse mit Füßen, Befestigungsflansch in Lagernähe auf A-Seite, Zugang oder kein Zugang von Gehäuseseite, Befestigung an der Wand und zusätzlicher Flansch unten
IM V2 IM 3231		2 Lagerschilde, freies Wellenende oben, Gehäuse ohne Füße, Befestigungsflansch in Lagernähe entgegen der A-Seite, Zugang von Gehäuseseite, Flanschanbau unten
IM V3 IM 3031		2 Lagerschilde, freies Wellenende oben, Gehäuse ohne Füße, Befestigungsflansch in Lagernähe auf A-Seite, Zugang von Gehäuseseite, Flanschanbau oben

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

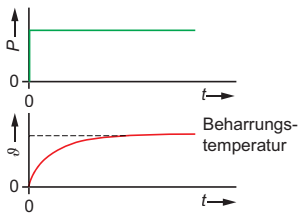
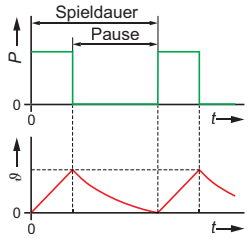
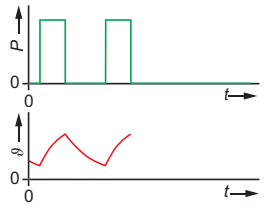
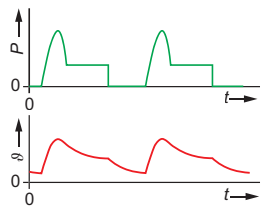
Allgemeines zu elektrischen Maschinen

Nennbetriebsarten

DIN EN 60034-1 / DIN VDE 0530-1

Die Nennbetriebsart charakterisiert die zeitliche Aufeinanderfolge und Dauer der Betriebszustände von elektrischen Maschinen (Anlaufen, konstante Last, elektrisches Bremsen, Leerlauf und Stillstand).
Diese Betriebszustände und deren Dauer tragen unterschiedlich zur Erwärmung der Wicklungen bei. Elektrische Maschinen werden für zehn charakteristische Nennbetriebsarten ausgelegt.

Die Nennbetriebsart wird duch Kurzzeichen angegeben. Trägt das Leistungsschild einer Maschine keine Angaben der Betriebsart, so gilt **S1**.

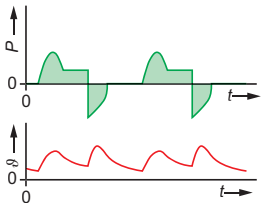
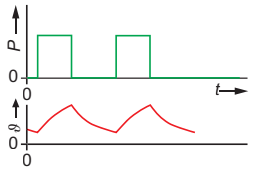
Nennbetriebsart	Definition	Kennlinien
S1 **Dauerbetrieb** Oder keine Angabe auf dem Leistungsschild	Maschine kann ihre Bemessungsleistung dauerhaft abgeben. Die Erwärmung erreicht ihre Endtemperatur. Eine Beharrungstemperatur wird erreicht. Bezeichnung: S1 oder DB.	
S2 **Kurzzeitbetrieb**	Die Maschine darf ihre Bemessungsleistung nur für die auf dem Leistungsschild angegebene Zeit abgeben; sonst würde sie sich zu stark erwärmen. Eine Beharrungstemperatur wird nicht erreicht. Während der Pause kühlt sich der Motor auf Ausgangstemperatur ab. *Zum Beispiel:* S2 – 30 min	
S3 **Aussetzbetrieb, periodisch**	Die Maschine wird in einer Folge gleichartiger Belastungs- und Ausschaltvorgänge betrieben. Der Anlaufstrom beeinflusst dabei die Erwärmung nicht merklich. *Zum Beispiel:* S3 50 % 60 min	
S4 **Aussetzbetrieb, periodisch mit Einfluss des Anlaufvorganges**	Die Maschine wird in einer Folge gleichartiger Belastungs- und Ausschaltvorgänge betrieben. *Zum Beispiel:* S4 40 % $J_M = 0{,}3\ \mathrm{kg\,m^2}$ $J_{ext} = 0{,}6\ \mathrm{kg\,m^2}$ Angegeben werden die Trägheitsmomente von Motor (J_M) und Last (J_{ext}).	

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Allgemeines zu elektrischen Maschinen

Nennbetriebsarten — DIN EN 60034-1 / DIN VDE 0530-1

Nennbetriebsart	Definition	Kennlinien
S5 **Aussetzbetrieb, periodisch mit elektrischer Bremsung**	Die Maschine wird in einer Folge gleichartiger Belastungs- und Ausschaltvorgänge betrieben. Anlauf und Bremsung verursachen eine merkliche Erwärmung. *Zum Beispiel:* S6 40 % $J_M = 1\ kg\ m^2$ $J_{ext} = 6\ kg\ m^2$	
S6 **Unterbrochener periodischer Betrieb**	Maschine wird in einer Folge gleichartiger Spiele betrieben, von denen jedes eine Anlaufzeit, eine Zeit konstanter Belastung, eine Zeit schneller elektrischer Bremsung und eine Pause umfasst. *Zum Beispiel:* S6 30 % 30 min	

Weitere Betriebsarten sind:

- **S7** ununterbrochener periodischer Betrieb mit Anlauf und Bremsung
- **S8** ununterbrochener periodischer Betrieb mit Last-/Drehzahländerungen
- **S9** Betrieb mit nicht periodischen Last-/Drehzahländerungen
- **S10** Betrieb mit einzelnen konstanten Belastungen

Auf den Leistungsschildern elektrischer Maschinen ist häufig eine Nennbetriebsart (s.o.) und eine Einschaltdauer (ED) angegeben.

Beispiel: Nennbetriebsart S6, Einschaltdauer ED_1 = 40 %, Spieldauer 10 Minuten

In diesem Falle darf die elektrische Maschine **4 Minuten** unter Last betrieben werden und muss anschließend **6 Minuten** im Leerlauf abkühlen. Werden diese Zeiten nicht eingehalten, kann die Maschine überhitzen.

Eine Angabe für Kurzzeitbetrieb lässt sich in einen möglichen Dauerbetrieb umrechnen:

$$P_2 = P_1 \cdot \sqrt{\frac{ED_1}{ED_2}} \quad (1)$$

Für einen 3-kW-Motor mit den Daten aus dem oben genannten Beispiel (S6/ED 40 %) ergibt sich eine maximale Last im Dauerbetrieb (ED = 100 %) von 1,9 kW.

$$P_2 = 3\ kW \cdot \sqrt{\frac{40\ \%}{100\ \%}} = 1{,}9\ kW$$

P_1 Leistung bei Kurzzeitbetrieb
P_2 Leistung bei Dauerbetrieb
ED_1 Einschaltdauer bei Kurzzeitbetrieb
ED_2 Einschaltdauer bei Dauerbetrieb (100 %)

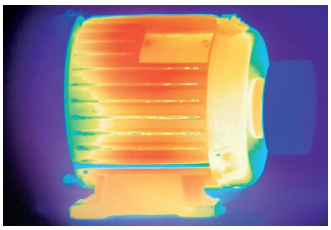
© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Allgemeines zu elektrischen Maschinen

Erwärmung elektrischer Maschinen

Die Temperatur in elektrischen Maschinen ist meistens der ausschlaggebende Faktor für die Alterung der Isolierstoffe (Isolierung der Wicklungen im Stator und Läufer). Bei einer Erhöhung der Temperatur in den Wicklungen um 10 K oberhalb der zulässigen Höchsttemperatur halbiert sich die statistische Lebensdauer der Maschine. Die Wärmeabfuhr bedingt durch Wärmestrahlung kann bei elektrischen Maschinen vernachlässigt werden. Es sind zusätzliche Maßnahmen zur Abfuhr der Wärme notwendig.



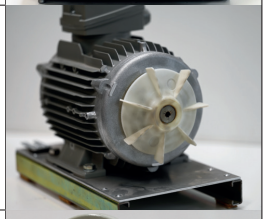
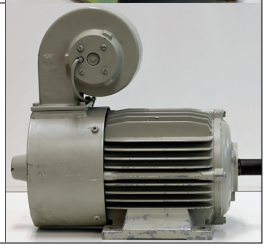
Thermische Klassen

Die Isolierstoffklassen geben die zulässigen Höchsttemperaturen für den Bemessungsbetrieb an.

Klasse	Y	A	E	B	F	H	C
Grenztemperatur	90 °C	105 °C	120 °C	130 °C	155 °C	180 °C	> 180 °C
An Transformatoren um Heißpunktwert reduzierte Grenztemperatur	–	100 °C	115 °C	120 °C	140 °C	165 °C	–

Die üblichen Materialien für Isolierstoffe sind: Holzverbundstoffe, Kunststoffe, Faser- und Folienverbundstoffe, Glasfaser, Baumwolle, Seide, Kunstharze, Drahtlacke, Cellulose, Quarz, Glimmer.
Temperaturen über 180 °C werden in der Klasse C zusammengefasst.

Kühlung

Selbstkühlung	Die Kühlung erfolgt über den natürlichen Luftstrom und die Oberflächenvergrößerung des Gehäuses. Diese Maschinen sind im Verhältnis größer und schwerer eigen- und fremdgekühlte Maschinen und verschmutzen aufgrund des geringen Luftstromes leicht.	
Eigenkühlung	Die Maschine treibt einen Lüfter oder ein Pumpenaggregat an. Die Kühlung ist abhängig von der Motordrehzahl.	
Fremdkühlung	Die Kühlung erfolgt mithilfe eines Anbauteils mit eigenem Antrieb (z. B. Fremdlüfter). Die Kühlung ist somit unabhängig von der Motordrehzahl.	

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

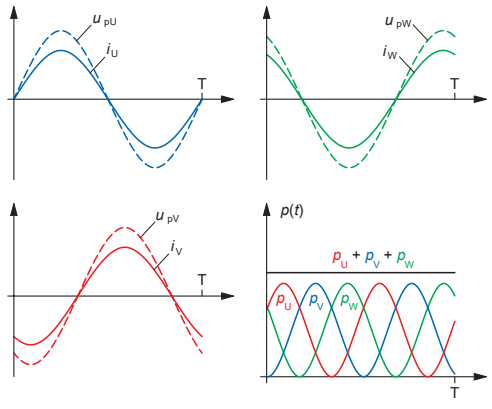
Christiani
seit 1931

Elektrische Maschinen am Frequenzumrichter

Servosynchronmaschinen (Bürstenlose Motoren)

Servosynchronmaschinen mit Sinuskommutierung

Charakteristische Verläufe und Leistungsübertragung

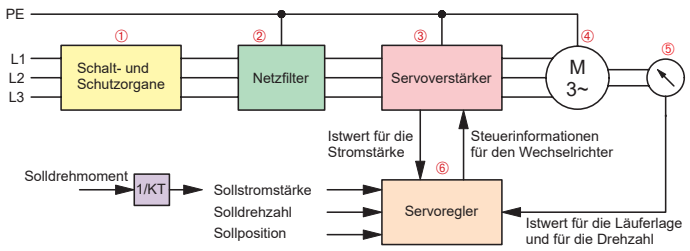


1 $M = K_T \cdot I$

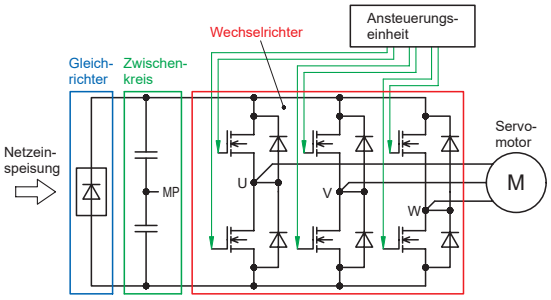
- In die Ständerwicklungen wird über das Steuergerät ein sinusförmiger Stromverlauf eingeprägt.
- Durch die Gestaltung der Ständerwicklung und der Dauermagnete am Läufer ist die in den Ständer induzierte Spannung u_p ebenfalls nahezu sinusförmig.
- Der jeweilige Strangstrom wird meist so eingestellt, dass er in Phase zur induzierten Läuferspannung liegt.
- Dadurch wird eine konstante Leistung und ein konstantes Drehmoment auf den Läufer übertragen.
- Das Drehmoment ist somit proportional zum Strangstrom.

M Motordrehmoment in N m
K_T Drehmomentkonstante in N m/A
I Effektivwert des Strangstroms in A

Blockschaltbild des Antriebssystems



- Der Servoverstärker ③ wird zumeist über einen dreipoligen Netzschalter an das Drehstromnetz angeschlossen. Die Leitungen werden netzseitig über ein Schutzorgan ① vor thermischer Überlast und Kurzschluss abgesichert. In vielen Fällen wird ein Netzfilter ② installiert, um die vom Antriebssystem verursachten elektromagnetischen Störungen zu reduzieren.
- Der Servoverstärker ③ besteht wie bei der Blockkommutierung aus einem Gleichrichter, einem Zwischenkreiskondensator und einem dreiphasigen Wechselrichter.
- Er fungiert als Energiequelle oder -senke für den Servomotor ④. Die Steuerinformationen vom Servoregler ⑥ schalten die IGBTs im Wechselrichter und erzeugen Ausgangsspannungen, die die Stärke und Positionierung des Statormagnetfeldes bestimmen.



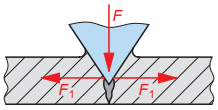
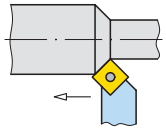
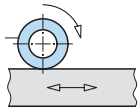
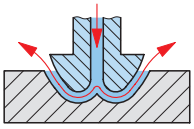
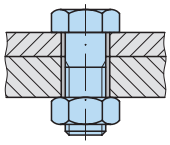
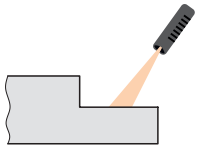
Elektrische Maschinen

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Trennen

Die Unterteilung der Trennverfahren erfolgt nach DIN 8580 in die folgenden Gruppen:

Zerteilen	Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide	Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide
 Beispiel: Messerschneiden	 Beispiel: Drehen	 Beispiel: Schleifen
weitere Verfahren: • Beißschneiden • Scherschneiden • Spalten • Brechen • Reißen	weitere Verfahren: • Fräsen • Bohren, Senken, Reiben • Hobeln, Stoßen • Feilen, Raspeln • Sägen	weitere Verfahren: • Läppen • Hubschleifen • Bandschleifen • Honen • Gleitschleifen • Strahlspanen
Abtragen	**Zerlegen**	**Reinigen**
 Beispiel: Erodieren	 Beispiel: Abschrauben	 Beispiel: Reinigungsstrahlen
weitere Verfahren: • Thermische-Entgrat-Methode (TEM) • Plasma- und Laserstrahl-schneiden • Autogenes Brennschneiden • Elektrothermisches Schneiden • Elysieren	weitere Verfahren: • Zerlegen von durch Umformen oder Urformen gefügte Teile • Entleeren • Auseinandernehmen • Lösen von kraftschlüssigen Verbindungen • Lösen von Klebeverbindungen • Ablöten	weitere Verfahren: • Lösungsmittelreinigen • Mechanisches Reinigen • Reinigungsstrahlen • Strömungstechnisches Reinigen • Thermisches Reinigen • Chemisches Reinigen

Trennen ist Fertigen durch Ändern der Form eines festen Körpers, wobei der Zusammenhalt örtlich aufgehoben, d. h. im Ganzen vermindert wird. Dabei ist die Endform des Werkstücks in der Ausgangsform enthalten.
Zum Trennen wird auch das Zerlegen zusammengesetzter Körper zugerechnet (DIN 8580). Die Hauptgruppe Trennen ist in die oben stehenden sechs Gruppen unterteilt, von denen die Gruppen Zerteilen, Spanen mit geometrisch bestimmten und unbestimmten Schneiden und Abtragen in der Technik die wichtigsten Verfahren darstellen.

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

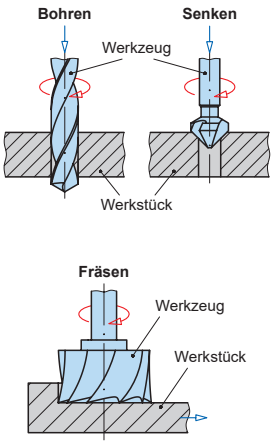
Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

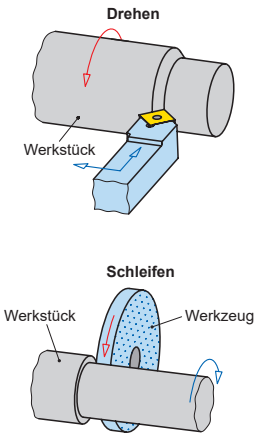
Trennen

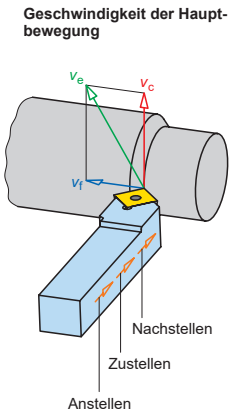
Spanungsvorgang

Spanungsbewegungen

Bewegung	Definition	Geschwindigkeit
Schnittbewegung 	Die **Schnittbewegung** beschreibt die Spanungsbewegung in Schnittrichtung. Zusammen mit der Vorschubbewegung ergibt sie die Wirkbewegung, die die trennende Bewegung der Werkzeugschneide durch den Werkstoff darstellt.	**Schnittgeschwindigkeit** Die Schnittgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit, mit der die Schneide eines Schneidwerkzeugs über das zu bearbeitende Werkstück geführt wird.
Vorschubbewegung	Die **Vorschubbewegung** ist die Bewegung zwischen Werkzeugschneide und Werkstück, welche zusammen mit der Schnittgeschwindigkeit eine stetige oder mehrmalige Spanabnahme während mehrerer Umdrehungen oder Hübe ermöglicht.	**Vorschubgeschwindigkeit** Die Vorschubgeschwindigkeit berechnet sich aus dem Weg, den das Werkzeug (Drehen) oder das Werkstück (Fräsen) in Vorschubrichtung, in Abhängigkeit von der zu leistenden Umdrehungsfrequenz, pro Zeitspanne zurücklegt.
Positionierbewegungen • Anstellbewegung • Zustellbewegung • Nachstellbewegung	Die **Positionierbewegungen** bestimmen neben der Startposition die Spanungsdicke *h* und die Spanungsbreite *b*.	**Positioniergeschwindigkeit** Die Geschwindigkeit, mit welcher die Maschine Positionen im Eilgang anfährt.
Wirkbewegung	Die **Wirkbewegung** ergibt sich als Spanungsbewegung in Wirkrichtung aus der Schnitt- und Vorschubbewegung.	**Wirkgeschwindigkeit** Die Geschwindigkeit eines bestimmten Schneidenpunkts in Wirkrichtung







© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

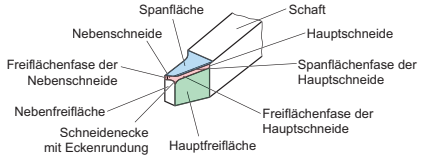
Trennen

Begriffe des Spanens

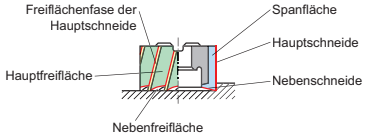
Geometrie am Schneidkeil

Dargestellt sind Flächen, Schneiden und Schneidenecken am Schneidkeil des Werkzeugs am Beispiel des Dreh- oder Hobelmeißels, Spiralbohrers und Walzenstirnfräsers.

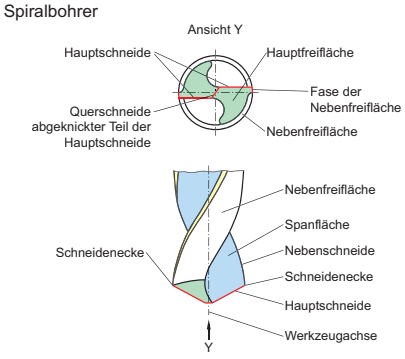
Dreh- und Hobelmeißel



Walzenstirnfräser

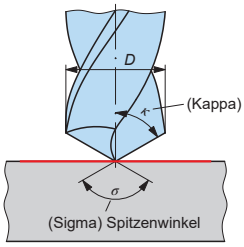
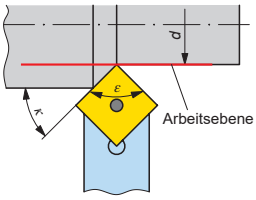
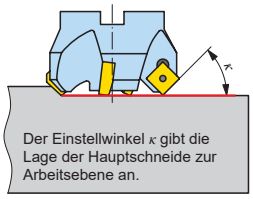


Spiralbohrer



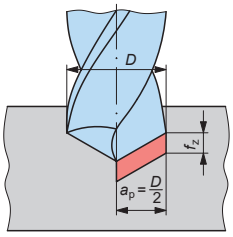
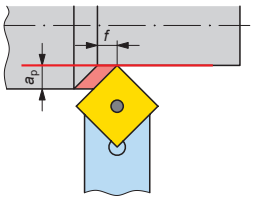
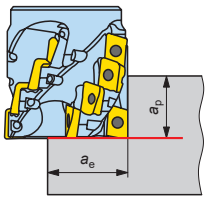
Spanungsgeometrie

Einstellwinkel

Bohren	Drehen	Fräsen
		
	κ (Kappa) Einstellwinkel ε (Epsilon) Eckenwinkel	Der Einstellwinkel κ gibt die Lage der Hauptschneide zur Arbeitsebene an.

Schnittgrößen

Schnittgrößen sind technologische Kenngrößen, die zur Spanabnahme eingestellt werden müssen.

Vorschub	Schnitttiefe	Schnittbreite
Der **Vorschub *f*** wird in Millimetern pro Umdrehung angegeben, er entspricht der Distanz, die sich das Werkzeug bzw. das Werkstück pro Umdrehung in das Material hinein bewegt.	Die **Schnitttiefe a_p** entspricht der Eingriffstiefe der Hauptschneide, sie ist also die Differenz zwischen der unbearbeiteten und der bearbeiteten Oberfläche in axialer Richtung. Sie wird immer im rechten Winkel zur Vorschubrichtung des Werkzeugs gemessen.	Die **Schnittbreite a_e** entspricht dem Arbeitseingriff, also der Eingriffsbreite der Hauptschneide. Sie wird in Millimetern in radialer Werkzeugrichtung parallel zur Arbeitsebene gemessen.
		

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

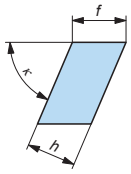
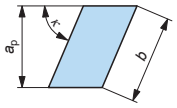
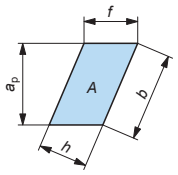
Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Trennen

Spanungsgeometrie

Spanungsgrößen

Die aus den Schnittgrößen abgeleiteten Spanungsgrößen bestimmen die Größe und Form des abzutrennenden Spans.

Spanungsdicke	Spanungsbreite	Spanungsquerschnitt
Die **Spanungsdicke *h*** entspricht der Dicke des Spans senkrecht zur Schnittrichtung gemessen.	Die **Spanungsbreite *b*** gibt die Breite des Spans in Millimetern an.	Der **Spanungsquerschnitt *A*** gibt den Querschnitt des abzunehmenden Spans in Quadratmillimetern an.
		
$h = f \cdot \sin \kappa$	$b = \frac{a_p}{\sin \kappa}$	$A = a_p \cdot f = b \cdot h$

Geometrie am Schneidkeil

Schneidkeil

Der Schneidkeil ist die Grundform aller zerspanenden Werkzeuge. Die scharfe Keilkante wird auf ein weicheres Werkstück gepresst und in Bewegung gesetzt. Hierdurch entsteht der Span am Werkstück. Die Schnittlinien der den Keil begrenzenden Flächen sind **Schneiden**. Die Schneiden können gerade, gekrümmt oder geknickt sein.

Flächen am Schneidkeil

Freiflächen sind den entstehenden Schnittflächen zugekehrt. **Schnittflächen** sind die am Werkstück von den Schneiden momentan erzeugten Flächen.

Unterschieden wird zwischen den **Hauptfreiflächen** an den Hauptschneiden und den Nebenfreiflächen an den Nebenschneiden.

Die **Spanfläche** ist die Fläche am Schneidkeil, auf der der Span abläuft.

Schneiden am Schneidkeil

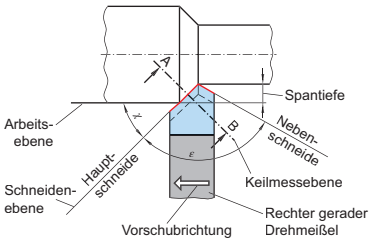
Die **Hauptschneiden** sind Schneiden, deren Schneidwinkel bei Betrachtung in der Arbeitsebene in Vorschubrichtung weist.

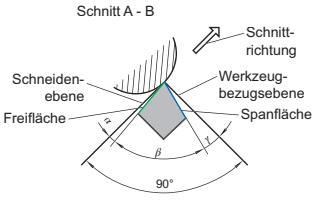
Die **Nebenschneiden** sind Schneiden, deren Schneidkeil bei Betrachtung in der Arbeitsebene nicht in Vorschubrichtung weist.

An der **Schneidenecke** treffen eine Hauptschneide und eine Nebenschneide mit gemeinsamer Spanfläche zusammen.

Winkel am Schneidkeil

Angewendet wird ein rechtwinkliges Bezugssystem. Es besteht aus Werkzeugbezugsebene, der Schneidenebene und der Keilmessebene. Diese drei Ebenen bilden das **Werkzeugbezugssystem** für das nicht im Einsatz befindliche Werkzeug.





Die Werkzeugbezugsebene liegt parallel zur Auflagefläche. Die Schneidenebene steht senkrecht auf der Werkzeugsbezugsebene. Die Keilmessebene steht senkrecht auf Werkzeugbezugs- und Schneidenebene.

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Trennen

Spanungsgeometrie

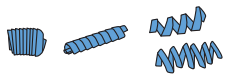
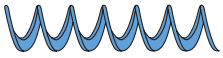
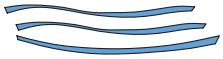
Geometrie am Schneidkeil

Winkel am Schneidkeil

Werkzeugwinkel (Werkzeugbezugssystem) am Schneidkeil

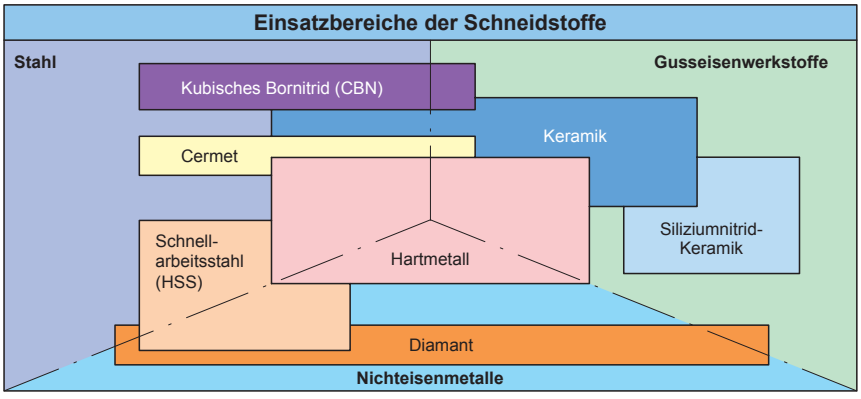
Benennung	Formelzeichen	Gemessen in der	Erläuterung
Einstellwinkel	κ (Kappa)	Werkzeug-bezugsebene	Winkel zwischen Schneiden-ebene und Arbeitsebene
Eckenwinkel	ε (Epsilon)	Werkzeug-bezugsebene	Winkel zwischen Haupt- und Nebenschneide
Neigungs-winkel	λ (Lambda)	Schneidenebene	Winkel zwischen Schneide und Werkzeugbezugsebene
Freiwinkel	α (Alpha)	Keilmessebene	Winkel zwischen Freifläche und Schneidenebene
Keilwinkel	β (Beta)	Keilmessebene	Winkel zwischen Freifläche und Spanfläche
Spanwinkel	γ (Gamma)	Keilmessebene	Winkel zwischen Spanfläche und Werkzeugbezugsebene

Spanformen

Günstige Spanformen	Brauchbare Spanformen	Ungünstige Spanformen
Kurze zylindrische Wendelspäne 	Spanlocken, Bröckelspäne 	Wirrspäne 
Spiralspäne 	Schrägwendelspäne 	Flachwendelspäne 
Spiralwendelspäne 	Lange zylindrische Wendelspäne 	Bandspäne 

Schneidstoffe

Schneidstoffe für die Zerspanung



© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Trennen

Schneidstoffe

Richtwerte für physikalische Eigenschaften der Schneidstoffe

Eigenschaft	Schnellarbeitsstahl HSS	Hartmetall HM	Cermet	Keramik	Bornitrid BN	Polykristalliner Diamant
Dichte in kg/dm³	8,0 … 9,0	9,0 … 15,0	6,0 … 7,5	3,2 … 4,5	3,4 … 3,6	3,5
Vickershärte HV30	700 … 850	1350 … 1800	1600 … 2000	1500 … 2500 1500 … 1700	3200 … 4200	8000 … 10000
Druckfestigkeit in N/mm² (MPa)	2500 … 4000	4500 … 6000	4500 … 5000	4000 … 4500 3500 … 4000	4000 … 4500	2000 … 2700
Max. Einsatztemperatur in °C	600 … 800	900 … 1000	1000 … 1100	1300 … 1600 1000	1300	600 … 700
minimaler Schneidkantenradius r_ε in µm	10 … 20	20 … 30 beschichtet: 30 … 40	3 … 6	10 … 20	5 … 12	DM < 1 DP 3 … 10
Einsatzbereiche in der Metallzerspanung	Unlegierter Stahl, Nichteisenmetalle, Ni-, Cu-, Al-Legierungen, Kunststoffe	Legierter und gehärteter Stahl, Gusseisen, Nichteisenmetalle, Kunststoffe	Schlichtbearbeitung bei hartem Stahl, nicht rostende Stähle, weicher Guss	Gusseisen, harter und gehärteter Stahl	harter und gehärteter Stahl, Sinterstahl, Co-, Ni-Legierungen, Feinbearbeitung Gusseisen	Nichteisenmetalle, Feinbearbeitung Gusseisen, Verbundwerkstoffe und Kunststoffe

Einfluss der Arbeitsbedingungen

\+ = großer Einfluss o = mittlerer Einfluss – = geringer Einfluss

auf ←	Einfluss von	Schnitttiefe a_p	Schnittgeschwindigkeit v_c	Vorschub f	Spanwinkel γ	Freiwinkel α	Einstellwinkel κ
Schnittkraft	Schruppen	+	+	+	o	o	o
	Schlichten	o	o	o	o	–	o
Zerspantemperatur	Schruppen	+	+	+	o	o	o
	Schlichten	+	o	o	o	–	–
Werkzeugverschleiß		o	+	+	o	o	o
Oberflächengüte	Schlichten	o	+	+	o	–	o

Herstellung von Hartmetall

Die Herstellung von Hartmetall erfolgt in den folgenden Schritten:

1. Auswahl der Ausgangsmaterialien: Hartmetall besteht hauptsächlich aus Wolframcarbid (WC), Titancarbid (TiC) oder Tantalcarbid (TaC).
2. Mahlen der Ausgangsmaterialien: Das Wolframcarbid und das Bindemittel (Kobalt) werden separat gemahlen, um eine feine Pulverform zu erhalten.
3. Mischen der Pulver: Das gemahlene Wolframcarbid und das Bindemittel werden in einem bestimmten Verhältnis gemischt.
4. Pressen: Das Pulvergemisch wird unter hohem Druck in eine Form gepresst, um die gewünschte Form des Hartmetalls zu erhalten.
5. Sintern: Die gepressten Teile werden in einem Ofen gesintert, wobei sie bei hoher Temperatur erhitzt werden. Während des Sinterns verschmelzen die Partikel des Wolframcarbids und des Bindemittels miteinander, wodurch das Hartmetall entsteht. Das Bindemittel umhüllt die Wolframcarbidpartikel und bildet eine feste Matrix.
6. Nachbearbeitung: Nach dem Sintern werden die Hartmetallteile oft nachbearbeitet, um die gewünschte Form, Größe und Oberflächenbeschaffenheit zu erreichen.
7. Beschichtung (optional): In einigen Fällen werden Hartmetallteile mit einer Beschichtung versehen, um ihre Verschleißfestigkeit, Härte oder andere Eigenschaften zu verbessern. Dies kann durch Aufdampfen oder Auftragen einer dünnen Schicht aus einem anderen Material wie Titannitrid oder Diamant erfolgen.

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

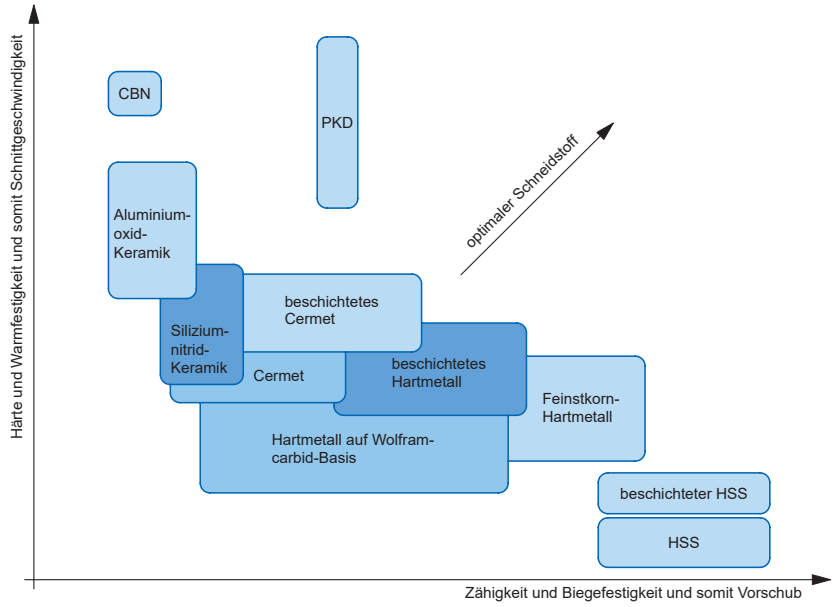
Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Trennen

Schneidstoffe

Abkürzungen der Schneidstoffe — DIN ISO 513

HW	Hartmetall, WC-Basis	CC	Keramiken, wie oben, jedoch beschichtet
HF	Feinkorn-Hartmetall	DM	monokristalliner Diamant
HT	Cermet TiC/TiN-Basis	DP	polykristalliner Diamant-Verbundschneidstoff
HC	Hartmetall/Cermet, wie oben, jedoch beschichtet	PD	polykristalliner CVD-Diamant
CA	Oxidkeramik, Al_2O_3-Basis	BL	polykristallines kubisches Bornitrid, mit niedrigem CBN-Anteil (40 % bis 65 %)
CM	Mischkeramik, Al_2O_3 und andere Komponenten ohne Oxide	BH	polykristallines kubisches Bornitrid, mit hohem CBN-Anteil (70 % bis 95 %)
CN	Nitridkeramik, Si_3N_4-Basis	BC	CBN, wie oben, jedoch beschichtet
CR	Oxidkeramik, Al_2O_3-Basis, mikrofaserverstärkt		



CBN = Kubisches Bornitrid
PKD = Polykristalliner Diamant
HSS = High Speed Steel (Schnellarbeitsstahl)

Schneidstoffe — ISO 513

Gruppe	Kennung	Bestandteile	Eigenschaften
Hartmetalle	**HW, HF**	HW: Korngröße > 1 µm HF: Korngröße < 1 µm Hartmetall (unbeschichtet), Hauptbestandteil Wolframcarbid (WC)	Große Warmhärte bis 1 000 °C, hohe Verschleiß- und Druckfestigkeit, schwingungsdämpfend. Einsatz bei Wendeschneidplatten für Bohr-, Dreh- und Fräswerkzeuge
	HT	Hartmetall (unbeschichtet) aus Titancarbid (TiC), Titannitrid (TiN) oder aus beiden (Cermet)	Wendeschneidplatten zum Schlichten bei hoher Schnittgeschwindigkeit
	HC	Wie HW und HT, beschichtet mit Titancarbonitrid (TiCN)	Erhöhte Verschleißfestigkeit

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

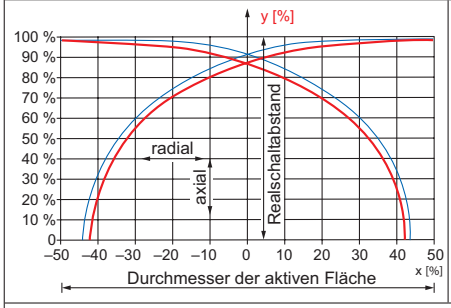
Sensoren

Schaltabstände

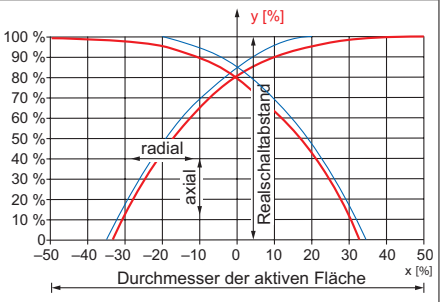
Seitliche Annäherung an einen Näherungsschalter

Nähert sich das zu erfassende Objekt dem Sensor nicht von vorne (axial), sondern von der Seite (radial), verändern sich auch die Schaltabstände *s*. Dieser Zusammenhang ist in den normierten Ansprechkurven dargestellt.

kapazitive Näherungssensoren



induktive Näherungssensoren

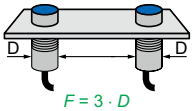


Hysterese — Schaltpunkt

Einbaubedingungen von Näherungssensoren

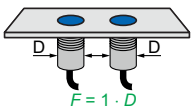
- Die Einbaubedingungen beeinflussen den Schaltabstand.
- Nichtbündig eingebaute Näherungsschalter erzielen größtmöglichen Schaltabstand.
- Bündig einbaubare Näherungssensoren können plan mit der umgebenden Fläche montiert werden. Vorteil: mechanischer Schutz.

nicht bündiger Einbau



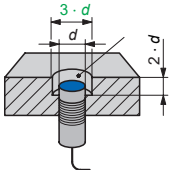
$F = 3 \cdot D$

bündiger Einbau



$F = 1 \cdot D$

- Nichtbündig zu montierende Sensoren benötigen einen Freiraum von etwa dreifachem Sensordurchmesser um den Sensorkopf, um nicht negativ beeinflusst zu werden (Seiteneffekt).

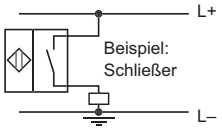


- Gegenseitige Beeinflussung der Näherungssensoren können durch Wahl unterschiedlicher Feldfrequenzen gemindert werden.
- Näherungssensoren mit stark erhöhtem Schaltabstand können nicht bündig in Metallkonstruktionen montiert werden. Im Datenblatt des Sensors wird angegeben, wie weit der Kopf über der Montagekonstruktion stehen muss.

Anschluss von Näherungssensoren

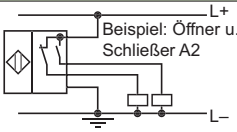
2-Draht-Anschluss

- meist in Reihe mit der Last
- kurzschlussfest
- meist verpolungssicher
- Öffner (NO) oder Schließer (NC)
- oft mit geringem Ruhestrom



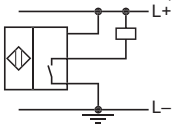
4-Draht-Anschluss

- separate Anschl. für die Spannungsversorgung
- Öffner (NC) oder Schließer (NO) plusschaltend (pnp) oder minusschaltend (npn)

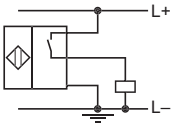


3-Draht-Anschluss

- separate Anschl. für die Spannungsversorgung
- Öffner (NC) oder Schließer (NO) plusschaltend (pnp) oder minusschaltend (npn)



minusschaltend



plusschaltend

NAMUR-Sensor

- NAMUR = **N**ormen**a**rbeitsgemeinschaft für **M**ess- und **R**egelungstechnik der chemischen Industrie
- Zweidrahtsensoren mit stetiger oder nichtstetiger Weg-Strom-Kennlinie
- Öffner (NO), Schließer (NC) oder zweikanaliger Öffner
- Sensoren werden über Schaltverstärker betrieben, die ein binäres Signal erzeugen.

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

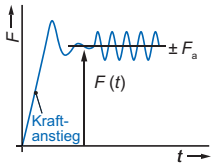
Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Sensoren

Erfassung von Kraft, Moment und Beschleunigung

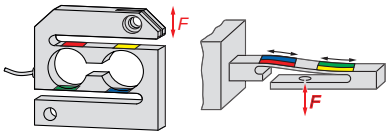
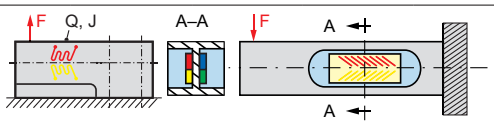
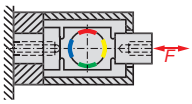
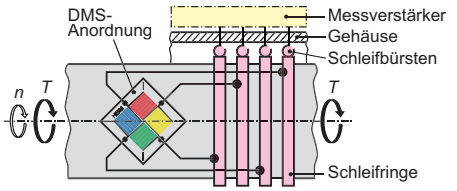
Zur Erfassung werden Aufnehmer auf DMS-Basis, piezoelektrischer Basis und magnetoelastischer Basis eingesetzt.

Eignung der Aufnehmer zur Erfassung statischer und dynamischer Anteile von Kräften, Momenten und Beschleunigungen.



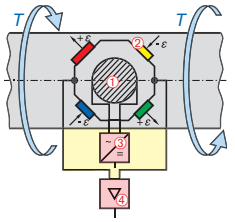
	DMS-Aufn.	Piezoaufn.	magneto-elast. Aufn.
Kraftverlauf $F(t)$	1	2	2
Kraftanstieg	2	1	2
dynamischer Anteil ± F_a	3	1	3
1 gut geeignet	2 geeignet		3 ungeeignet

Aufnehmer auf DMS- und Piezo-Basis

Prinzip und Anwendung	Aufbau
Biegebalken für wechselnde Kraftrichtung, Vollbrückenschaltung	
Scherstab für wechselnde Kraftrichtung, Vollbrückenschaltung	
spezielle Verformungskörper, z. B. ringförmig, Vollbrückenschaltung Einbau als querkraftfreie Pendelstütze für Zug und Druck	
Torsionswelle stehend oder umlaufend, in diesem Fall Signalübertragung über Schleifringe oder berührungslos induktiv	

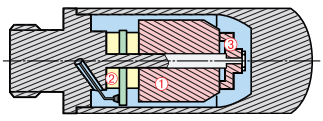
Anwendung von Aufnehmern auf DMS-Basis
Kraft- und Momentenmessung in der Wägetechnik und in der Verschraubungstechnik

Aufnehmer auf magnetoelastischer Basis
Durch mechanische Spannungen wird die Permeabilität ferromagnetischer Werkstoffe geändert.
Die Senderspule des ortsfesten Sensorkopfes durchsetzt den Werkstoff mit magnetischen Feldlinien.
Die in den Aufnehmerspulen induzierten Spannungen werden entsprechend der mechanischen Spannung verändert, die durch Kraft oder Drehmoment auftritt.



Sensorkopf (feststehend) mit
① Kern mit Primärwicklung
② Aufnehmerspulen in Brückenschaltung
③ Oszillator
④ Verstärker

Bei Piezosensoren wird die Kraft gemessen, die auf eine träge Masse ① wirkt. Diese ist mit einem Piezoelement ② verklebt und mit einem Federelement ③ in seiner Ruheposition befestigt. Bei Beschleunigung wird Masse in ihrer Position verändert und das Piezoelement erzeugt ein Sensorsignal. Konstante Beschleunigungen, wie z. B. die Erdbeschleunigung, können nicht erfasst werden.



© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Christiani
seit 1931

Sensoren

Drucksensoren

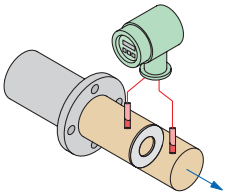
Drucksensoren auf piezoresistiver, induktiver oder DMS-Basis dienen zur Erfassung von statischen und dynamischen Druckverläufen sowie von Überdruck, Differenzdruck und Absolutdruck.

Bei der Überdruck- oder Unterdruckerfassung ist eine Seite des Messelements mit dem atmosphärischen Druck beaufschlagt.

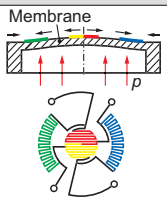
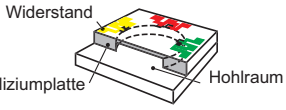
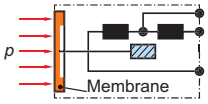
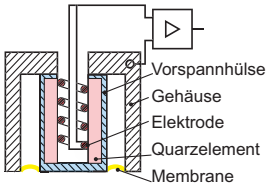
Bei der **Differenzdruckerfassung** sind beide Seiten des Messelements mit dem Absolutdruckerfassung jeweiligen Druck p_1 und p_2 beaufschlagt. Mit ihr kann z. B. auch der Füllstand eines Kessels erfasst werden.

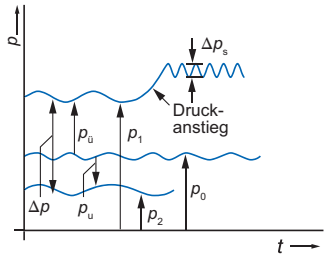
Bei der **Absolutdruckerfassung** muss eine Seite des Messelements evakuiert oder mit konstantem Referenzdruck versehen werden.

Differenzdruckerfassung



Druckaufnehmer

Prinzip	Messbereich/Messunsicherheit	Eigenschaften/Anwendung
Auf **DMS** oder **piezoresistiver** (Halbleiter-DMS) **Basis** Druck verändert die Form einer Membrane. 	Messbereich von p_{max} = 10 bar bis 4 000 bar. Bei piezoresistiver Basis ab p_{max} = 0,1 bar ab KI 0,1	universelle Druckgeber für den ganzen Druckbereich für sehr kleine Drücke piezoresistive Aufnehmer Eigenfrequenzen zwischen 4 kHz und > 100 kHz sind zu beachten. Messschaltung: Vollbrücke Verstärkerausgang: eingeprägter Strom oder Spannung
Folien-DMS Halbleiter-DMS, piezoresistive Messzelle		
Auf **piezoelektrischer Basis** 	Im Vergleich zu DMS-Aufnehmern wegen der größeren Empfindlichkeit des induktiven Prinzips auch für kleine Messbereiche ab p_{max} = 0,1 bar geeignet. KI 0,5	universelle Druckgeber mit z. T. niedriger Eigenfrequenz ab 0,5 kHz durch niedrige Federkonstante und relativ große Masse der Membrane Messschaltung: Halbbrücke mit Trägerfrequenzmessverstärker
	Messbereich bis p_{max} = 1 000 bar Messunsicherheit ca. ±1 % vom Messwert besondere Eignung für die Messung dynamischer Druckanteile auf beliebigem statischen Niveau (< p_{max})	für die Messung sehr steiler Druckspitzen, z. B. Druckstöße in hydraulischen Anlagen, für die Messung von Drücken bei höheren Temperaturen (bis 350 °C ungekühlt), z. B. Zylinderdruck von Kolbenmaschinen (Indizierung) Messschaltung: Ladungsverstärker Spannungsausgang hohe Eigenfrequenz



Eignungstabelle

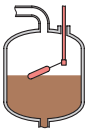
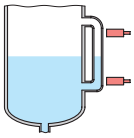
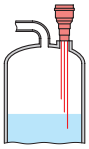
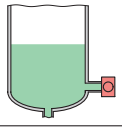
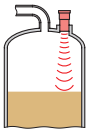
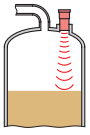
		DMS-Aufn.	Indukt. Aufn.	Piezoaufn.
p	athm. Druck	1	2	3
p_1	absoluter Druck	1	2	2
p_2	absoluter Druck	1	2	2
$p_ü$	Überdruck	1	1	2
p_u	Unterdruck	1	1	2
Δp	Differenzdruck	2	1	2
Δp_s	dynamischer Anteil	2	2	1
Druckanstieg		2	2	1
1 gut geeignet		2 geeignet		3 ungeeignet

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Sensoren

Füllstandsmessung

Prinzip	Verwendung
Schwimmerschalter Der Schwimmer schwimmt auf der Oberfläche der Flüssigkeit auf und löst bei Erreichung eines eingestellten Füllstandes ein Schaltsignal aus. 	Grenzwerterfassung in Flüssigkeiten
Lotsystem Der Unterschied zwischen Silohöhe und geloteter Distanz ist der Füllstand. Ein Motor lässt ein mit einem Fühlgewicht beschwertes Messband in das Silo hinab. Wenn das Fühlgewicht die Oberfläche erreicht, wird die Drehrichtung des Motors umgeschaltet. Das Fühlgewicht wird in seine Ausgangslage zurückgezogen. Aus der Messbandlänge wird der Füllstand berechnet. 	Messung von Schüttgütern in hohlen Silos
Drehflügelschalter Ein Flügel wird von einem Elektromotor angetrieben und rotiert mit gleichbleibender Drehzahl. Bei Erreichen des Mediums wird der Flügel abgebremst. Dadurch kann sich der Motor verdrehen und ein Schaltsignal auslösen. 	Grenzwerterfassung in zähen Flüssigkeiten sowie pulverförmigen Schüttgütern
Kapazitive Füllstandsmessung Der Kondensator wird durch eine Sonde und eine Gegenelektrode gebildet. Eine Änderung des Füllstandes bewirkt eine Kapazitätsänderung, die ausgewertet wird. 	• für Flüssigkeiten und Schüttgüter • geeignet für aggressive Medien • Grenzwerterfassung • kontinuierliche Messung
Konduktive Füllstandsmessung Der elektrische Widerstand zwischen zwei Messelektroden ändert sich in Abhängigkeit der Füllstandshöhe. Weitere Füllstände können durch weitere Messelektroden erfasst werden. 	• für leitfähige Flüssigkeiten • im Allgemeinen zur Grenzwerterfassung
Hydrostatische Füllstandsmessung Auf einen Messaufnehmer übt die Flüssigkeit einen hydrostatischen Druck aus. Dieser wird von einem Druckaufnehmer erfasst und ist ein Maß für die Füllhöhe. 	• für Flüssigkeiten und Pasten ohne Einfluss von Schaumbildung • Volumen, Gewicht und Dichte
Mikrowellen-Füllstandsmessung Ein Sender strahlt ein Mikrowellensignal ab, das von der Oberfläche des Mediums zum Empfänger reflektiert wird. Auch mit geführten Mikrowellen entlang eines Metallstabes möglich. 	• für Schüttgüter aller Art • auch Einsatz bei Rohrleitungen, Schächten, Freifallschächten
Ultraschall-Füllstandsmessung Laufzeitmessung: Der Sensor sendet Ultraschallimpulse aus, die von der Oberfläche des Mediums reflektiert und wieder vom Sensor erfasst werden. Der Weg wird aus der benötigten Laufzeit ermittelt. 	• kontinuierliche Messung von Flüssigkeiten und Schüttgütern • die Messung erfolgt berührungslos

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

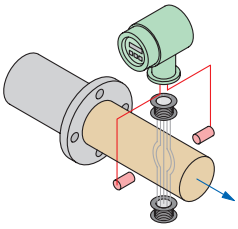
Sensoren

Durchflussmessung

Elektromagnetische Durchflussmessung

Das Medium entspricht einem bewegten Leiter im Magnetfeld. In diesem Medium wird eine elektrische Spannung induziert, die der Durchflussgeschwindigkeit proportional ist.

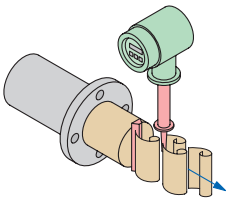
Bei bekanntem Bohrquerschnitt kann das Durchflussvolumen berechnet werden.



- unabhängig von Temperatur, Druck und Viskosität
- keine bewegten Teile
- hohe Zuverlässigkeit
- für flüssige Medien, aber nicht für gasförmige Medien
- kein Druckverlust

Wirbel-Durchflussmessung

Hinter einem angeströmten Staukörper bilden sich abwechselnd beidseitig Wirbel. Diese erzeugen einen Unterdruck, der erfasst wird.



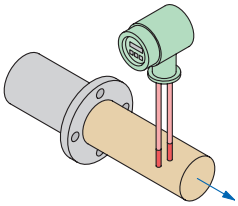
- geringe Kosten
- hohe Genauigkeit
- für flüssige und gasförmige Medien
- leichter Druckverlust

Thermische Durchflussmessung

Das Messverfahren wird auch als kalorimetrisches oder Wärmetransportverfahren bezeichnet. Das Medium strömt an zwei Temperaturmesswiderständen, z. B. Pt100, vorbei. Ein Messwiderstand erfasst die Temperatur des Mediums als Referenzwert, der andere wird mithilfe eines Stromes auf einer konstanten Temperaturdifferenz gehalten.

Nimmt der über das aufgeheizte Widerstandsthermometer geführte Massestrom zu, erhöht sich die Abkühlung. Dadurch steigt die Stromstärke, die für eine gleichbleibende Differenztemperatur notwendig ist.

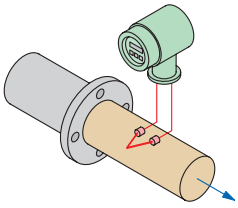
Der Heizstrom ist dem Massestrom proportional.



- direkte Massenmessung
- hohe Genauigkeit
- für flüssige und gasförmige Medien
- geringer Druckverlust

Ultraschall-Laufzeitmessung

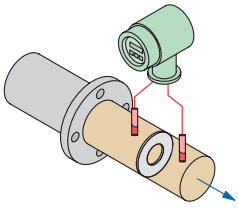
Bei dem Ultraschall-Laufzeitverfahren wird je ein Ultraschallimpuls mit und entgegen die Durchflussrichtung gesendet. Die Ultraschallwellen werden von der gegenüberliegenden Rohrwand zum jeweiligen Empfänger reflektiert. Infolge der Durchflussgeschwindigkeit des Messmediums entsteht eine Laufzeitdifferenz zwischen den beiden Impulsen. Diese ist proportional zur Geschwindigkeit des Mediums.



- für flüssige und gasförmige Medien
- kein Druckverlust

Differenzdruckmessung

Mit einer Linse als Verengung wird das Medium in einem Rohr gestaut. Der Druck vor und hinter der Linse wird verglichen. Die Druckdifferenz ist ein Maß für die Fließgeschwindigkeit.



- für flüssige und gasförmige Medien
- deutlicher Druckverlust

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Sensoren

RFID

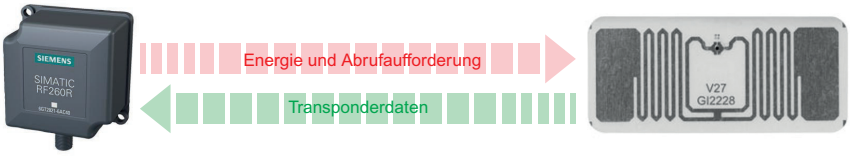
System

RFID-Systeme (Radio Frequency Identification) sind fester Bestandteil der Identifikationstechnik über die Automatisierungstechnik hinaus. Insbesondere seit Industrie 4.0 ist die eindeutige Identifikation z. B. eines Bauteils oder eines Trägers notwendig, um individuelle Eigenschaften zuordnen zu können.

Ein RFID-System besteht aus einem Tag (Transponder), der die transportablen Daten beinhaltet und einem Lese- oder Schreib-Lese-Kopf, der die Daten abruft, verarbeitet und ggf. verändert.

Funktion:

1. Der Kopf sendet Energie in Form von Radiowellen und fordert damit die Daten des Tags an.
2. Der Tag speichert die Energie und nutzt sie, um seine Daten an den Kopf zu senden.
3. Der Kopf verarbeitet die Daten und gibt sie z. B. an eine Steuerung weiter.



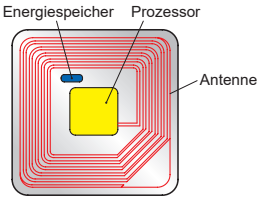
Lese- und Schreib-Lese-Köpfe

- Der Kopf, auch Reader genannt, stellt eine Antenneneinheit, über die der Kopf die Energie an den Tag übermittelt.
- Die Übertragung geschieht kontaktlos und bedarf auch keiner Sichtverbindung.
- Je nach Funktion und Reichweite kommen unterschiedliche Frequenzen zum Einsatz.
- Kopf und Tag müssen aufeinander abgestimmt sein.

RFID- Frequenz	Reichweite	Anwendungsbeispiel
Niederfrequenz (LF) 125–135 kHz	bis 0,5 m (pass. Tag)	Tieridentifikation Produktionskontrolle Zugangskontrolle Automatisierung
Hochfrequenz (HF) 13,56 MHz	bis 1,5 m (pass. Tag)	Ticketing Nahfeldkommunikation
Ultrahochfrequenz (UHF) 868 MHz	bis 1,5 m (pass. Tag), bis 16 m (halbakt. Tag), 100 m (akt. Tag)	Palettenidentifikation Werkstückträgeridentifikation
Mikrowellen (SHF) > 3GHz	bis 10 m (akt. Tag)	Fahrzeugidentifikation (z. B. Mautstation)

Tags (Transponder)

- RFID-Tags bestehen aus einer Antenne, einem Energiespeicher (Kondensator oder Batterie) und einem Prozessor mit Speicher.
- Tag-Antenne ist für die gewählte Frequenz abgestimmt.
- vielfältige Bauformen entsprechend der äußeren Anforderungen
- Speicherarten:
  - Read-only-Tags (ROM-Tags): Daten können nur ausgelesen werden.
  - Read/Write-Tags: Speicher kann beschrieben und ausgelesen werden.
  - WORM-Tags (write once, read many) können nur einmal beschrieben, aber beliebig oft gelesen werden.
- Klassifizierung nach Energienutzung:
  - passiv: Tag bezieht Energie aus dem Kopf und speichert diese in einem Kondensator. Lebendsdauer unbegrenzt, sehr klein.
  - halbaktiv oder halbpassiv: Tag verfügt über eine Batterie, die aber erst durch die Energie des Kopfes freigegeben wird. Lebendsdauer begrenzt, größere Bauform.
  - aktiv: Tag verfügt über eine eigene Energieversorgung. Lebendsdauer begrenzt, größere Bauform.





Quelle: Siemens AG, 2024

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

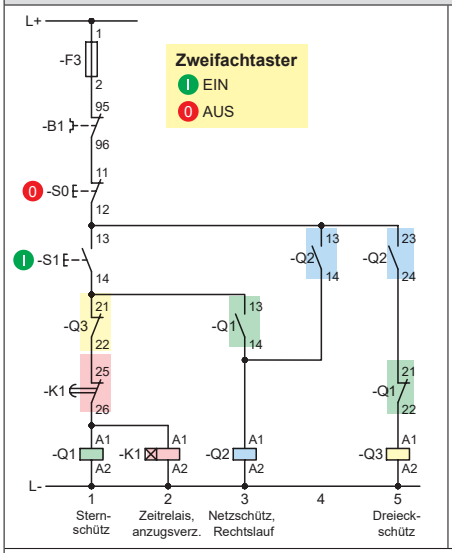
Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

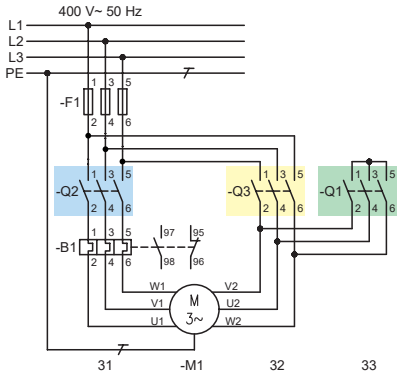
Steuerungstechnik

VPS

Stern-Dreieck-Schaltung automatisch

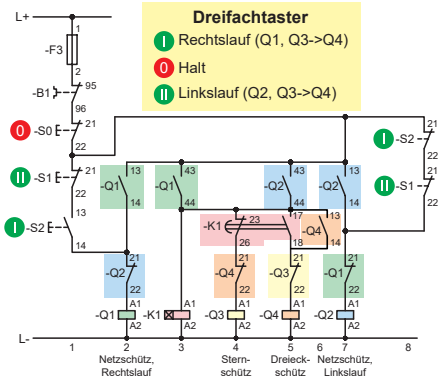
Automatische Schaltung mit einer Drehrichtung

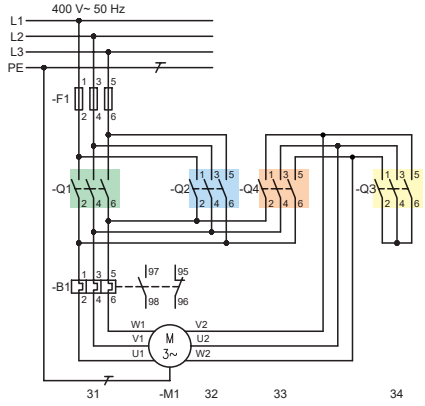




- Der Stern-Dreieck-Anlauf wird verwendet, um die hohen Ströme beim Anlauf von Elektromotoren abzumildern.
- Der Motor wird in zwei Stufen angelassen.
- Es sind Motoren mit der Spannungsangabe 400/690 V geeignet.
- Üblicherweise kommt der Stern-Dreieck-Anlauf für Motoren ab 2,2 kW infrage.
- Bei Motoren mit höheren Leistungen werden oft andere Anlaufsteuerungsmethoden, wie Frequenzumrichter, eingesetzt.
- Es ist auch wichtig, die spezifischen Anweisungen des Motorenherstellers und die geltenden Normen und Vorschriften zu beachten, um die Schaltung sicher und effizient einzurichten.

Stern-Dreieck-Drehrichtungsumkehrschaltung





Richtungsänderung nur über HALT möglich

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Steuerungstechnik

Gegenüberstellung von Ablaufsprache (AS) und GRAFCET DIN EN 61131-3, DIN EN 60848

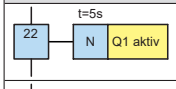
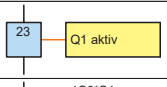
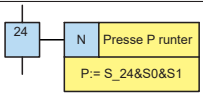
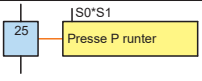
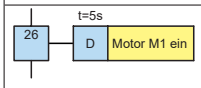
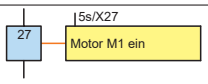
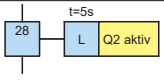
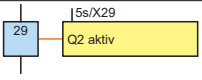
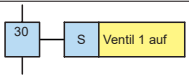
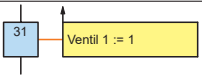
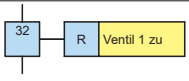
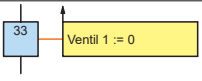
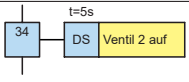
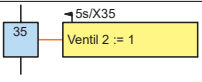
Gegenüberstellung der Darstellungen

Allgemein:
- AS (Anweisungsliste) legt den Schwerpunkt auf die hardwareorientierte Programmierung, wobei die Anweisungen eng mit den physischen Komponenten verknüpft sind.
- GRAFCET fokussiert sich auf die funktionsorientierte Darstellung von Abläufen und Prozessen.
- In GRAFCET steht nicht das Hardwareelement im Vordergrund, sondern vielmehr seine Funktion und sein Beitrag zum Gesamtprozess.
- Dieser Unterschied in der Herangehensweise spiegelt sich in den beiden Programmiersprachen wider.

AS nach DIN EN 61131-3:
- AS wird verwendet, um die implementierte Softwarestruktur innerhalb eines Steuerungssystems zu beschreiben.
- grafische Darstellung von Schritten und Übergängen
- AS erweitert die Funktionalität von GRAFCET und umfasst zusätzliche Programmierkonzepte wie Zustandsmaschinen, Aktivitäten und parallele Abläufe.

GRAFCET nach DIN EN 60848:
- Beschreibung/Festlegung des Verhaltens eines Systems von außerhalb gesehen
- GRAFCET konzentriert sich auf Schritte und Übergänge, um den sequenziellen Ablauf von Ereignissen und Zuständen zu beschreiben.

Grafische Ähnlichkeit bedeutet nicht gleicher Zweck:
Beide Normen verwenden grafische Symbole wie Schritte, Übergänge, Zustände und Aktivitäten, um den Programmfluss darzustellen, haben aber unterschiedliche Bedeutungen.

Ablaufsprache AS (DIN EN 61131-3)	**GRAFCET** (DIN EN 60848)	**Beschreibung**
		**nicht gespeicherte Aktion** nicht gespeicherte und kontinuierlich wirkende Aktion im Schritt 22 und 23
		**bedingte nicht gespeicherte Aktion** nicht gespeicherte und kontinuierlich wirkende Aktion mit Zuweisungsbedingung im Schritt 24 und 25
		**zeitverzögerte Aktion** Die Zuweisungsbedingung wird erst nach der Zeit t = 5 s, ausgehend von der Aktivierung des Schritts 26 und 27, erfüllt.
		**zeitbegrenzte Aktion** Die Zuweisungsbedingung wird während der Dauer von t = 5 s, ausgehend von der Aktivierung des Schritts 28 und 29, erfüllt.
		**speichernde Aktion (setzen)** Das Ventil mit der booleschen Variable wird der Wert „1“ mit der Aktivierung des Schrittes 30 und 31 zugeordnet.
		**speichernde Aktion (rücksetzen)** Das Ventil mit der booleschen Variable wird der Wert „0“ mit der Aktivierung des Schrittes 32 und 33 zugeordnet.
		**speichernd zeitverzögerte Aktion** 5 Sekunden nach Aktivierung des Schrittes 34 und 35 wird das Ventil 2 der booleschen Variable eine „1“ speichernd zugewiesen.

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

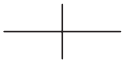
Prozessleittechnik

Grafische Symbole für die Darstellung von Einzelheiten DIN 19227-2:1991-02

Stellantriebe und Zubehör

Symbol	Benennung	Symbol	Benennung	Symbol	Benennung
	Stellantrieb, allgemein		Magnet-Stellantrieb		Ventilstellglied
	Membran-stellantrieb		Feder-Stellantrieb		Klappenstellglied
	Kolben-Stellantrieb		Motor-Stellantrieb		Stellgerät allgemein

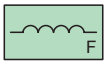
Leitungen, Leitungsverbindungen, Anschlüsse, Signalkennzeichen

Symbol	Benennung	Symbol	Benennung	Symbol	Benennung
	Rohrleitung		Lichtwellenleiter		Einheitssignal, elektrisch
	EMSR-Leitung, allgemein		geschirmte Leitung		Einheitssignal, pneumatisch
	Einheitssignal-leitung elektrisch		Koaxialleitung		Analogsignal
	Einheitssignal-leitung pneumatisch		Wirkungslinie		Digitalsignal
	hydraulische Leitung		Kreuzung ohne Verbindung		Binärsignal
	Kapillarleitung		Leitungsverbin-dung, allgemein Verbindungsstelle		Impulsgeber

Basissysmbole

Symbol	Benennung	Symbol	Benennung	Symbol	Benennung
	Aufnehmer oder Ausgeber		Steuergerät		Anpasser oder Bediengerät

Durchfluss

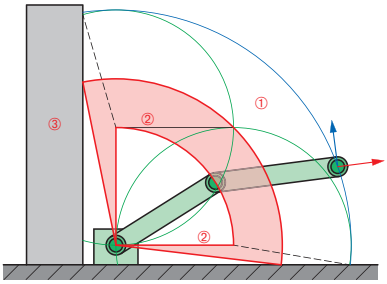
Symbol	Benennung	Symbol	Benennung	Symbol	Benennung
	Aufnehmer für Durchfluss, allgemein		Blende, Normblende		induktiver Aufnehmer

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

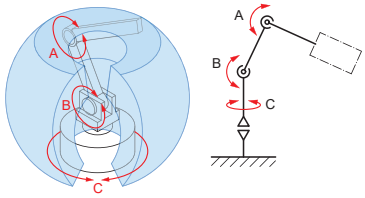
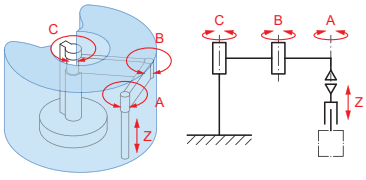
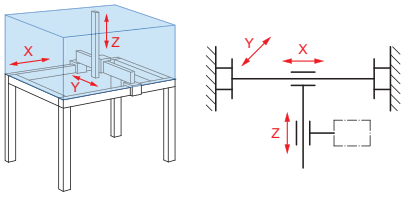
Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Robotik

Arbeitsraum



- Der Arbeitsraum ① eines Roboters bezieht sich auf den physischen und/oder virtuellen Bereich, in dem der Roboter seine Aufgaben ausführen kann.
- Die kinematische Struktur des Roboters und die Gelenkwinkelgrenzen ② seiner Gelenke definieren die Bewegungsgrenzen.
- Charakterisierung des Arbeitsraums:
  - Abmessungen
  - Form
  - Zugänglichkeit
- Konstruktionsbedingte Einschränkungen des Arbeitsraums können auftreten, beispielsweise wenn der Roboter nahe an einer Wand (3) steht.

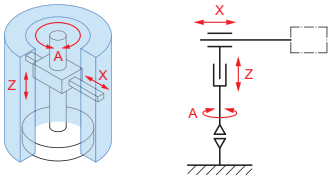
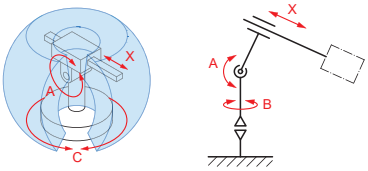
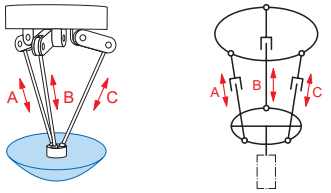
Arbeitsraum und Kinematik	Eigenschaften	Verwendung
Universalroboter (vertikaler Knickarm)		
	• volle Beweglichkeit und sechs Freiheitsgrade für präzise Bewegungen • Fähigkeit zum Umgreifen von Hindernissen • Handachsen als zentrales Element für Greif- und Handhabungsfähigkeiten • Gewichtsausgleich an Achse 2 und 3 für verbesserte Stabilität und Präzision • universelle Einsetzbarkeit in verschiedenen Anwendungen	• Bestücken von Maschinen • Palettierung • Kleberauftrag • Lackieren • Montage
SCARA-Roboter – Selective Compliance Assembly Robot Arm (horizontaler Knickarm)		
	• schnelle Beschleunigung • kosteneffizient • keine Beeinträchtigung durch Gewichtseinflüsse • präzise Positionierung und hohe Wiederholgenauigkeit	• Montagearbeiten • Verpackungsanwendungen • Pick-and-Place
Portalroboter (kartesischer Knickarm)		
	• großzügige Arbeitsräume • Beweglichkeit ist begrenzt. • modularer Aufbau aus Einzelkomponenten • Möglichkeit zur Integration von Handachsen • Fähigkeit zur Bewältigung hoher Nutzlasten	• ideal für große Arbeitsbereiche • Transport • Bestückungsautomatisierung

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

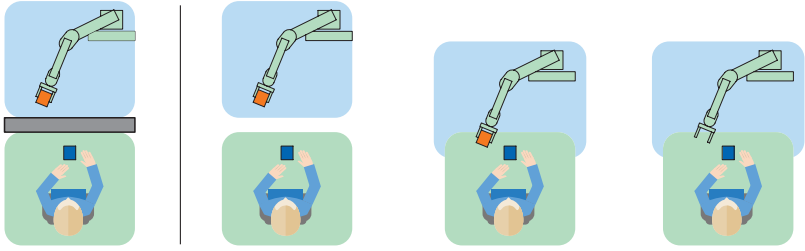
Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Robotik

Arbeitsraum

Arbeitsraum und Kinematik	Eigenschaften	Verwendung
Zylindischer Roboter		
	• operiert mit hoher Geschwindigkeit • Achsen: – eine Rotationsachse – zwei translatorische Achsen • Mittelachse bestimmt: – Höhe und – Reichweite • relativ große Reichweite	• Be- und Entladen von Werkstücken in Maschinen • automatisierte Materialzuführung in Produktionslinien
Sphärischer Roboter		
	• drei rotatorischen Achsen • maximale Flexibilität für vielseitige Anwendungen • Fähigkeit zum Arbeiten über Kopf • kann komplexe Bahnen fahren	• schwer zugängliche Bereiche • Verwendung in der Automobil-, Luft- und Raumfahrt- sowie Elektronikfertigungsindustrie
Delta Roboter		
	• Roboter mit Parallelkinematik • drei Arme, jeweils mit einem Antrieb an der Montageplatte • Arbeitsplatte bleibt dank spezieller Anordnung stets parallel zur Montageplatte. • Leichtgewichtige Arme ermöglichen sehr schnelle Bewegungen.	• Pick-and-Place-Aufgaben • Bestückung von Leiterplatten • 3-D-Druck

Kategorisierung von Arbeitsplätzen mit Robotern

Automatisierung auf ganzer Linie	Mensch-Roboter Koexistenz	Mensch-Roboter Kooperation	Mensch-Roboter Kollaboration
			
getrennte Arbeitsräume		gemeinsame Arbeitsräume	
dezentralisierte Arbeit		zentrale Arbeit	
Berührung nicht möglich	Berührung ist nicht möglich weder erforderlich noch grundsätzlich erwünscht		Berührung ist sowohl möglich als auch erwünscht
Höchstgeschwindigkeit	verringerte Geschwindigkeit		

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hrsg. Stefan Schroll und Mike Thielert
Tabellenbuch Mechatronik
mit Formelsammlung
7. Auflage 2026
Artikelnr.: 105060 | ISBN 978-3-95863-350-6

Python 3

Schleifen

Rangfolge und Assoziativität von Operatoren

Rang	Operator	Beschreibung	Assoziativität / Abarbeitungsreihenfolge	Beispiel
1	`(Ausdrücke...), [Ausdrücke...], {Schlüssel: Wert...}, {Ausdrücke...}`	Gebundener oder geklammerter Ausdruck, Listenanzeige, Wörterbuchanzeige, Satzanzeige	Von links nach rechts	`(a + b) * c`
2	`x[Index], x[Index:Index], x(Argumente...), x.Attribut`	Indizierung, Slicing, Funktionsaufruf, Attributzugriff	Von links nach rechts	`liste[1], liste[1:3], obj.methode()`
3	`await x`	Await-Ausdruck	Nicht zutreffend	`await func()`
4	`**`	Exponentiation	Von rechts nach links	`2 ** 3 ** 2 #identisch mit 2**(3**2), 2**-1 == 0.5`
5	`+x, -x, ~x`	Positiv, negativ, bitweise nicht	Nicht zutreffend (unäre Operatoren)	`+5, -3, ~1`
6	`*, @, /, //, %`	Multiplikation, Matrixmultiplikation, Division, Ganzzahldivision, Rest	Von links nach rechts	`3 * 4, 3 / 2, 8 // 3`
7	`+, -`	Addition und Subtraktion	Von links nach rechts	`3 + 4, 5 - 2`
8	`<<, >>`	Bitweise Verschiebungen	Von links nach rechts	`4 << 2, 4 >> 1`
9	`&`	Bitweise und	Von links nach rechts	`5 & 3`
10	`^`	Bitweise xor	Von links nach rechts	`5 ^ 3`
11	`|`	Bitweise oder	Von links nach rechts	`5 | 3`
12	`in, not in, is, is not, <, <=, >, >=, !=, ==`	Vergleiche, einschließlich Mitgliedschaftstests und Identitätstests	Nicht zutreffend (vergleichende Operatoren)	`3 in [1, 2, 3], 4 is not 5`
13	`not x`	Boolesches nicht	Nicht zutreffend (unärer Operator)	`not True`
14	`and`	Boolesches und	Von links nach rechts	`True and False`
15	`or`	Boolesches oder	Von links nach rechts	`True or False`
16	`if – else`	Bedingter Ausdruck	Von rechts nach links	`x if x > 0 else -x`
17	`lambda`	Lambda-Ausdruck	Von rechts nach links	`lambda x: x + 1`
18	`:=`	Zuweisungsausdruck	Von rechts nach links	`x := 5`

Nicht alle Operatoren dieser Tabelle werden im Tabellenbuch detailliert thematisiert. Ergänzende Informationen zur Priorität von Operatoren finden sich in der Python-Referenz, erreichbar über den bereitgestellten QR-Code.

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG