

Vorfälle	Maßnahmen
<b>Elektrische Unfälle</b>	<p>Bei <b>Niederspannung</b> (bis 1000 V) Stecker herausziehen, Leitungsschutzschalter abschalten oder Sicherung herausnehmen. Wenn der Stromkreis nicht unterbrochen werden kann, Verunglückten mit nicht leitendem Gegenstand vom Stromkreis trennen. Der Helfer muss sich dabei isoliert aufstellen und seine Hände ebenfalls isolieren, z.B. mit trockenen Tüchern, Kleidungsstücken, Isolierhandschuhen oder Isolierfolien,</p> <p>Bei <b>Hochspannung</b> Stromkreis nur von einer speziell ausgebildeten Elektrofachkraft unterbrechen lassen.</p> <p><b>Bei Atemstillstand sofort Atemspende geben. Bei Herzstillstand Herzmassage durchführen.</b></p>
<b>Verletzungen</b>	<p>Vordringlich sind Blutungen zu versorgen. Zuerst bei verletztem Körperteil Verband anlegen, bei stärkeren Blutungen Druckverband anwenden. Bei Schlagaderverletzungen (Blut spritzt hellrot stoßweise aus der Wunde) festen, auf die Wunde drückenden Gegenstand in den Verband mit einbinden. Abbinden mit breiter Gummibinde (auch Hosengürtel) in seltenen Fällen notwendig.</p> <p><b>Möglichst rasch einen Arzt herbeirufen.</b></p> <p>Wenn Schlagaderblutungen an Stellen auftreten, an denen ein Druckverband nicht angebracht werden kann und ein Abbinden nicht möglich ist, z.B. in Achselhöhle, Leistenbeuge, am Hals oder wenn ganze Glieder abgetrennt sind, dann Wunde mit Gaze (Verbandsmull), Taschentuch oder Ähnlichem abdrücken.</p> <p>Arzt herbeirufen.</p>
<b>Innere Verletzungen</b>	<p>Gefahr der Verblutung nach innen. Bei Verdacht auf innere Verletzungen des Brustkorbes raschen Abtransport mit erhöhtem Oberkörper einleiten. Bei Bauchverletzungen Transport in Rückenlage mit angezogenen Knien, gerollte Decke unter die Kniekehlen legen.</p> <p>Arzt herbeirufen.</p> <p><b>Bei inneren Verletzungen oder bei Bewusstlosigkeit keine Getränke einflößen.</b></p>
<b>Knochenbrüche</b>	<p>Bei Verdacht auf Knochenbruch (oder bei Ausrenkungen) Glieder durch Schienen ruhig stellen. Keine Einrenkungsversuche. Bei Verdacht auf Wirbelsäulenverletzung Verunglückten vorsichtig auf harte Unterlage (Brett) legen (Vorsicht! Gefahr nachträglicher Rückenmarksverletzung.)</p>
<b>Verbrennungen</b>	<p>Brennende Personen in Decke oder Mantelwickeln. Verbrennungen je nach Schwere mit kaltem Wasser kühlen. Niemals verbrannte Kleidungsstücke entfernen. Auf alle Brandwunden nur keimfreie Gaze, keine Brandbinde, Öl, Mehl oder Brandsalbe bringen. Verletzten durch Decken warmhalten.</p> <p>Bei Atemstillstand sofort Atemspende geben. Bei Herzstillstand Herzmassage durchführen.</p>
<b>Bewusstlosigkeit</b>	<p><b>Einfache Ohnmacht</b> (besonders bei langem Stehen in überfüllten Räumen): Erblassen, Puls schwach, Atmung oberflächlich. Beengende Kleidungsstücke öffnen, Bewusstlosen flach lagern (Beine erhöht).</p> <p><b>Scheintod:</b> Kein Puls, keine Atmung.</p> <p>Sofort Wiederbelebung durch Kombination von Atemspende und Herzmassage.</p>
<b>Atemspende</b>	<p>Einblasen von Atemluft bei überstreckter Stellung des Kopfes in die Nase oder den Mund des Verunglückten (hierbei die Nase zuhalten). Atemwege zuvor reinigen. Mit beiden Händen den Kopf nach hinten drücken. Tief einatmen und den Mund fest auf die Atemöffnung des Verletzten pressen. Luft kräftig einpusten. Etwa 15 Atemstöße je Minute, dann Herz massieren. Künstliche Beatmung solange fortsetzen, bis der Arzt kommt.</p>
<b>Herzmassage</b>	<p>Mit beiden übereinander gelegten Handballen wird das untere Ende des Brustbeins 3 cm bis 5 cm eingedrückt. (50 bis 60 Drücke je Minute.) Nach 30 Herzdruckmassagen 2 Atemstöße.</p> <p><b>Herzmassagen sollten nur von Ärzten oder ausgebildetem Sanitätspersonal ausgeführt werden.</b></p>
<b>Defibrillator</b>	<p>In manchen Betrieben, in Fahrzeugen des Rettungsdienstes und auch in öffentlich zugänglichen Gebäuden werden Defibrillatoren (Schockgeber) bereithalten. Medizinische Laien können mit diesem Gerät durch gezielte Stromstöße Herzrhythmusstörungen, z.B. Kammerflimmern und Kammerflattern, beenden.</p>
<b>Schock</b>	<p>Kann bei jeder Verletzung zusätzlich auftreten. Der Schock ist eine Folge eines Kreislaufversagens: Puls schwach, Atmung oberflächlich, kalter Schweiß, Unruhe, verfallenes Aussehen. Kann leicht in Bewusstlosigkeit und Tod übergehen. Verunglückten flach lagern, warm halten, Mut zusprechen und beruhigen, schonender Abtransport.</p>



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für Mechatronik

# Tabellenbuch Mechatronik

Tabellen – Formeln – Normenanwendungen

10. neu bearbeitete und aktualisierte Auflage

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

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

**Europa-Nr.: 45011**

## Autoren des Tabellenbuches Mechatronik

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

## Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

## Leiter des Arbeitskreises:

Dr.-Ing. Gregor Häberle, Tettnang

Maßgebend für das Anwenden der Normen sind deren Fassungen mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der VDE-VERLAG GmbH, Bismarckstr. 33, 10625 Berlin und der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin erhältlich sind.

10. Auflage 2019

Druck 5 4 3 2 1

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

ISBN 978-3-8085-4528-7

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

© 2019 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: rkt, 42799 Leichlingen, [www.rktypo.com](http://www.rktypo.com)

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfotos: Siemens-Pressebilder

Druck: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

**Mathematik, Technische Physik**

9 ... 76

**M**

**Technische Kommunikation**

77 ... 130

**K**

**Chemie, Werkstoffe, Fertigung**

131 ... 202

**WF**

**Bauelemente, Messen, Steuern, Regeln**

203 ... 282

**BM**

**Elektrische Anlagen und Antriebe, mechatronische Systeme**

283 ... 394

**A**

**Digitaltechnik, Informationstechnik**

395 ... 454

**D**

**Verbindungstechnik, Umweltechnik**

455 ... 510

**V**

**Der Betrieb und sein Umfeld  
Anhang**

511 ... 584

**B**

# Vorwort zur 10. Auflage

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

Dies führte zu neuen oder aktualisierten Seiten in den nachfolgend genannten Hauptabschnitten. Inhalte des Buches, die nicht mehr Bestandteil der Berufsbildung sind, wurden gestrichen.

**INDUSTRIE 4.0**

Digitalisierung

## • **Teil M: Mathematik, Technische Physik**

Neu sind z.B. Formelzeichen für drehende elektrische Maschinen, Komplexe Rechnung für Grundschaltungen von L und C, Spannungsfall an Leitungen mit Blindwiderstand, Ablauf der Leitungsberechnung.

## • **Teil K: Technische Kommunikation**

Neu sind z.B. Pneumatik-Grundschaltungen, Kennzeichnungen in Schaltplänen der Pneumatik und Hydraulik, Form- und Lagetoleranzen.

## • **Teil WF: Chemie, Werkstoffe, Fertigung**

Aktualisiert wurden z.B. Drehwerkzeuge, Lehren, Strahlenoptik, Trennklassen der Kommunikationsverkabelung, Montage und Demontage.

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

Neu sind z.B. Vernetzung von Sensoren und Aktoren, Energieüberwachung in Smart-Grid-Anlagen, Wegmessung, Winkelmessung, Reglerauswahl, Dimmen von LEDs.

Aktualisiert wurden Näherungsschalter, analoge Regler, schaltende Regler, Regelung mittels SPS, bibliotheksfähiges Programmieren von SPS.

## • **Teil A: Elektrische Anlagen und Antriebe, mechatronische Systeme**

Neu sind z.B. Transformatoren der Energietechnik, Regelung der Netzfrequenz, Betriebsdaten von Käfigläufermotoren, Strombelastbarkeit für 90°C-Leitungen, Aufbau von Schaltschränken, Sicherheitsfunktionen, Softanlasser, Prüfung der elektrischen Ausrüstung von Maschinen.

## • **Teil D: Digitaltechnik, Informationstechnik**

Neu sind z.B. Windows-Tastenkürzel, Anwendung von Bluetooth in Betrieben, Segmentierung von WLAN, Internet der Dinge, Fernwartung, Störungen bei der Funkübertragung in Werkstätten, Grenztaster.

Aktualisiert wurden Sicherheits-Bussysteme, Programmaufbau bei CNC-Maschinen.

## • **Teil V: Verbindungstechnik, Umwelttechnik**

Neu sind z.B. Dübel. Aktualisiert wurden gefährliche Stoffe, Gefahrenhinweise.

## • **Teil B: Der Betrieb und sein Umfeld**

Neu sind z.B. die Abschnitte Arbeitsvorbereitung, Begriffe im Arbeitsrecht, Betriebssicherheitsverordnung, PLM, PPS, MES und VDE-Normen.

Erweitert wurde die Auflistung der wichtigen Normen mit Angabe der Seiten im Buch.

**Normänderungen** wurden übernommen, z.B. bei der Strombelastbarkeit von Leitungen nach DIN VDE 0298-4. Allgemein ist zu beachten, dass oft die Normen verschiedene Formen zulassen, z.B. in DIN EN 61082 (Dokumente der Elektrotechnik, Regeln) Stromverzweigungen mit oder ohne „Punkt“ oder mit Richtungsangabe des abgezweigten Leiters. Alle Formen kommen in der beruflichen Praxis vor und werden im Buch deshalb auch angewendet.

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

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

# Inhaltsverzeichnis

Erste Hilfe bei Unfällen ..... U2

## Teil M: Mathematik, Technische Physik 10

Formelzeichen dieses Buches .....	10
Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches .....	11
Formelzeichen für drehende elektrische Maschinen .....	12
Größen und Einheiten .....	13
Bruchrechnen, Vorzeichen, Klammern .....	15
Klammerrechnung, Potenzieren .....	16
Radizieren, Gleichungen .....	17
Zahlensysteme, Dualzahlen .....	18
Dualzahlen, Sedenzimalzahlen, Binärcodes .....	19
Logarithmen, Zehnerpotenzen, Vorsätze, Prozentrechnung .....	20
Logarithmisches Maß Dezibel .....	21
Schlussrechnung, Mischungsrechnung .....	22
Rechtwinkliges Dreieck .....	23
Winkelfunktionen, Steigung .....	24
Längen .....	25
Flächen .....	26
Volumen .....	28
Oberfläche .....	28
Masse .....	30
Kräfte .....	31
Drehmoment, Hebel, Fliehkraft .....	32
Rollen, Keile, Winden, Schrauben .....	33
Bewegungslehre .....	34
Geschwindigkeiten an Maschinen .....	35
Wärmetechnik .....	36
Mechanische Arbeit, mechanische Leistung, Energie .....	38
Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand .....	39
Elektrische Leistung, elektrische Arbeit .....	40
Elektrisches Feld, Kondensator .....	41
Strom in Magnetfeld, Induktion .....	43
Schaltung von Widerständen .....	44
Bezugspeile, Kirchhoff'sche Regeln, Spannungsteiler .....	45
Grundschaltungen von Induktivitäten und Kapazitäten .....	46
Komplexe Rechnung für Grundschaltungen von L und C .....	47
Schalten von Kondensatoren und Spulen .....	48
Wechselgrößen, Oberschwingungen .....	49
Messen von Oberschwingungen .....	50
Zeigerdiagramme von Wechselstromgrößen .....	51
Leistungen bei Sinuswechselstrom, Impuls .....	52
Reihenschaltung von R, L, C .....	53
Parallelschaltung von R, L, C .....	54
Berechnungsformeln für Transformatoren .....	55
Elektrischer Widerstand bei Temperaturänderung, Wärmewiderstand .....	56
Drehstrom, Blindleistungskompensation .....	57
Kompensation mit Filtern .....	58
Leitungsberechnung .....	59
Ablauf der Leitungsberechnung .....	60
Spannungsfall an Leitungen mit Blindwiderstand .....	61
Strombelastbarkeit von mehradrigen Leitungen mit Oberschwingungen .....	63

Zahnradberechnungen .....	64
Übersetzungen .....	65
Druck in Flüssigkeiten und Gasen .....	66
Reibung, Auftrieb .....	67
Belastungsfälle, Beanspruchungsarten .....	68
Absicherung, Knickung .....	70
Biegung, Torsion .....	71
Momente der Festigkeitslehre .....	72
Momente von Profilen .....	73
Pneumatikzylinder .....	74
Berechnungen zur Hydraulik und Pneumatik .....	75
Berechnungen zur Hydraulik .....	76

## Teil K: Technische Kommunikation 77

Grafische Darstellung von Kennlinien .....	78
Allgemeines technisches Zeichnen .....	79
Arten von Diagrammen .....	80
Zeichnerische Darstellung von Körpern .....	81
Maßeintragung, Schraffur .....	82
Maßpfeile, besondere Darstellungen .....	83
Maßeintragung .....	84
Toleranzen in Zeichnungen .....	85
Form- und Lagetoleranzen .....	86
Gewinde, Schraubenverbindungen, Zentrierbohrungen .....	87
Getriebedarstellung .....	88
Darstellung von Wälzlagern .....	89
Darstellung von Dichtungen und Wälzlagern .....	90
Symbole für Schweißen und Löten .....	91
Weitere mechanische Verbindungen, Federn .....	92
Funktionsbezogene Schaltpläne .....	93
Weitere funktionsbezogene Dokumente .....	94
Ortsbezogene und verbindungsbezogene Dokumente .....	95
Kennzeichnung in Schaltplänen .....	96
Kennbuchstaben der Objekte (Betriebsmittel) in Schaltplänen .....	97
Kontaktkennzeichnung in Stromlaufplänen .....	98
Stromkreise und Schaltzeichen .....	99
Allgemeine Schaltzeichen .....	100
Transformatoren, Spulen, drehende elektrische Maschinen .....	101
Vergleich von Schaltzeichen .....	102
Zusatzschaltzeichen, Schalter in Energieanlagen .....	104
Messinstrumente und Messgeräte, Messkategorien .....	105
Halbleiterbauelemente .....	106
Analoge Informationsverarbeitung, Zähler und Tarifschaltgeräte .....	107
Binäre Elemente .....	108
Schaltzeichen für Installationsschaltpläne und Installationspläne .....	110
Schaltzeichen für Übersichtsschaltpläne .....	111
Einphasenwechselstrommotoren und Anlasser .....	112
Drehstrommotoren und Anlasser .....	113
Motoren mit Stromrichterspeisung .....	114
Ablaufsteuerungen, GRAFCET .....	115
Grundformen von Ablaufsteuerungen .....	116
Elemente für Ablaufsteuerung GRAFCET .....	117
Ablauf-Funktionspläne .....	119

Symbolen zur Dokumentation in der Computertechnik .....	120	Biegeumformen .....	194
Schaltzeichen der Pneumatik und Hydraulik .....	121	Schweißen .....	195
Pneumatik Grundschaltungen .....	123	Schweißnähte .....	196
Kennzeichnung von steuerungstechnischen Systemen .....	124	Druckgasflaschen, Gasverbrauch .....	197
Schaltpläne der Pneumatik und Hydraulik .....	125	Gasschweißen .....	198
Fließbilder .....	126	Schutzgasschweißen .....	199
Beispiele von Fließbildern .....	127	Lichtbogenschweißen .....	201
Symbolen der Verfahrenstechnik .....	128		
Erstellen einer Dokumentation über Geräte und Anlagen .....	129		
Aufbau und Inhalt einer Betriebsanleitung .....	130		
<b>Teil WF: Chemie, Werkstoffe, Fertigung</b>		<b>131</b>	
Chemie .....	132	Widerstände und Kondensatoren .....	204
Stoffwerte .....	134	Batterien .....	207
Gefährliche Stoffe .....	136	Von physikalischen Größen abhängige Halbleiter-Bauelemente .....	208
Magnetwerkstoffe .....	137	Dioden .....	209
Bezeichnungssystem für Stähle .....	138	Feldeffektransistoren, IGBTs .....	210
Stahl .....	141	Bipolare Transistoren und HEMT .....	211
Stahlprofile .....	144	Thyristoren und Triggerdiode .....	212
Bezeichnungssystem für Gusseisenwerkstoffe .....	145	Fotoelektronische Bauelemente .....	213
Gusseisen .....	146	Bauelemente für Überspannungsschutz .....	214
Rohre .....	147	Grundlagen des Operationsverstärkers .....	215
Nichteinmetalle .....	148	Elektrische Analogmesswerke .....	217
Al-Profile und Al-Bleche .....	151	Schaltungen zur Widerstandsbestimmung .....	219
Kunststoffe .....	152	Messbereichserweiterung .....	220
Rohre aus Kunststoff .....	157	Messen mit Multimeter .....	221
Kabel und Leitungen .....	158	Wattstundenzähler .....	222
Isolierte Starkstromleitungen .....	159	Sensoren .....	223
Starkstromleitungen .....	160	Kraftmessung und Druckmessung .....	224
Leitungen zum Anschluss ortveränderlicher Betriebsmittel .....	161	Bewegungsmessung .....	225
Leitungen und Kabel für Melde- und Signalanlagen .....	162	Wegmessung, Winkelmessung .....	226
Leitungen in Datennetzen .....	163	Temperaturmessung .....	227
Kupferlitzenleiter der Informationstechnik .....	164	Näherungsschalter (Sensoren) .....	228
Strahleoptik .....	165	Spezielle optoelektronische Sensoren .....	230
Glasfaserleitungen .....	166	Energieüberwachung in Smart-Grid-Anlagen .....	232
Trennklassen der Kommunikationsverkabelung .....	167	Oszilloskop .....	233
Korrosion und Korrosionsschutz .....	168	Messwertaufzeichnung mit dem PC .....	235
Lote und Flussmittel .....	169	Elektromagnetische Schütze .....	238
Druckflüssigkeiten .....	170	Vakuumschütze, Halbleiterschütze .....	240
Werkstoffprüfung .....	171	Hilfsstromkreise .....	242
Fertigungsverfahren .....	173	Polumschaltbare Drehstrommotoren .....	244
Rapid Prototyping RP (3D-Druck) .....	177	Ausschaltung, Serienschaltung, Wechselschaltung, Kreuzschaltung .....	246
Montage und Demontage .....	178	Stromstoßschaltungen .....	247
Montageplanung .....	179	Dimmen konventioneller Lampen .....	248
Schneidstoffe .....	180	Dimmen von LED-Lichtquellen .....	249
Drehzahlnomogramm .....	181	Steuerung mittels Funk .....	250
Kräfte und Leistungen beim Zerspanen .....	182	Elektroinstallation mit Funksteuerung .....	251
Bohren .....	184	Ausführung von Installationsschaltungen .....	252
Reiben und Gewindebohren .....	185	Steuerungs- und Regelungstechnik .....	254
Drehen .....	186	Analoge Regler .....	256
Drehwerkzeuge .....	188	Reglereinstellungen, Reglerauswahl .....	258
Fräsen .....	189	Digitale Regelung .....	259
Schleifen .....	191	Steuern und Regeln mit dem PC .....	260
Spanende Formung der Kunststoffe .....	192	Universalregler .....	261
Lehren .....	193	Lageregelung bei Arbeitsmaschinen .....	262
		Logikmodul LOGO! .....	263
		Binäre Verknüpfungen der Steuerungs- und Regelungstechnik .....	266
		Speicherprogrammierbare Steuerung SPS .....	267
		SPS-Funktionsbausteine .....	272

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

203

Programmiersprachen Strukturierter Text ST, Ablaufsprache AS	273
Bibliotheksfähiges Programmieren von SPS	275
SPS-Programmierung nach DIN EN 61131-3	276
Phasen der SPS-Programmentwicklung	278
Regelung mittels SPS	279

## Teil A: Elektrische Anlagen und Antriebe, mechatronische Systeme 283

Grenzwerte der Anschlussleitung im öffentlichen Netz	284
Arbeiten in elektrischen Anlagen	285
Messungen in elektrischen Anlagen	286
Alphanumerische Kennzeichnung der Anschlüsse	289
Schutzarten elektrischer Betriebsmittel	290
Elektronische Steuerungen von Verbrauchsmitteln	291
Stromrichter, Gleichrichter	292
Transformatoren der Energietechnik	297
Regelung mittels Netzspannung	299
Regelung der Netzfrequenz	300
Betriebsarten	301
Isolierstoffklassen, Bemessungsleistungen	302
Betriebsdaten von Käfigläufermotoren	303
Bauformen von drehenden elektrischen Maschinen	304
Leistungsschilder von drehenden elektrischen Maschinen	305
Einphasen-Wechselstrommotoren	306
Drehstrommotoren, Gleichstrommotoren	307
Drehstrommotoren für Stromrichterspeisung	308
Servomotoren	309
Prüfung elektrischer Maschinen	311
Schrittmotoren	312
Kleinstantriebe	313
Getriebe	315
Linearantriebe	316
Antriebstechnik	319
Effizienz von elektrischen Antrieben	320
Wahl des Antriebsmotors	321
Motorschutz	322
Anlassen von Kurzschlussläufermotoren	323
Netze der Energietechnik	325
Kurzzeichen an elektrischen Betriebsmitteln	326
Überlastschutz und Kurzschlusschutz von Leitungen	327
Mindest-Leiterquerschnitte, Leitungsschutzschalter	328
Niederspannungs-Schmelzsicherungen	329
Überstrom-Schutzeinrichtungen für Geräte	330
Schutz gegen thermische Auswirkungen	331
Verlegearten für feste Verlegung	332
Strombelastbarkeiten	333
Umrechnungsfaktoren für die Strombelastbarkeit	337
Stromgefährdung, Berührungsarten, Fehlerarten	338
Schutzmaßnahmen, Schutzklassen	340
Systeme und Fehlerschutz mit Schutzleiter	341
Basissschutz und Fehlerschutz	342
Differenzstromschutzschalter RCD	343
Differenzstromüberwachungsgerät RCM	344
Fehlerschutz	345

Erstprüfung der Schutzmaßnahmen	348
Wiederkehrende Prüfungen	349
Spezielle Niederspannungs-Anlagen	350
Elektroinstallation in Unterrichtsräumen	351
Stromversorgung elektronischer Geräte	352
Sicherheits-Stromversorgungsanlagen	353
Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme	354
Akkumulatorenräume	355
Elektrische Energieversorgung von Werkstätten und Maschinenhallen	356
Schaltschrankaufbau	357
Leitungsverlegung im Schaltschrank	358
Schaltschrank-Klimatisierung	359
Instandsetzung, Änderung und Prüfung elektrischer Geräte	361
Elektrische Ausrüstung von Maschinen	362
Prüfung der elektrischen Ausrüstung von Maschinen	364
Sicherheits-NOT-AUS-Relais	365
Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen	366
Funktionale Sicherheit nach SIL	368
Sicherheitsfunktionen	369
Sicherheits-SPS	370
Mechatronische Systeme	371
Funktionsdiagramme	373
Ablaufsteuerungen	374
Druckluftaufbereitung	384
Zylinder und Pumpen	385
Druckventile und Wegeventile	386
Automatisierte Schraubersysteme	387
Inbetriebnahme mechatronischer Systeme	388
Fehlerdiagnose in mechantronischen Systemen	390
Instandhaltung mechatronischer Systeme	393
Mittel zur vorausschauenden Instandhaltung	394

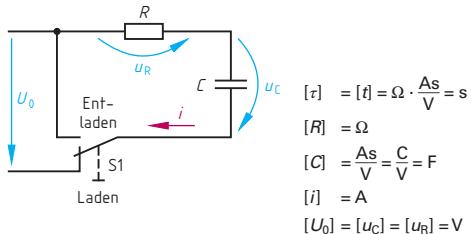
## Teil D: Digitaltechnik, Informationstechnik 395

Binäre Verknüpfungen	396
KV-Diagramme	397
Codeumsetzer	398
ASCII-Code und Unicode	399
Identifikationssysteme	400
Bistabile Kippschaltungen	401
Digitale Zähler und Schieberegister	402
DA-Umsetzer und AD-Umsetzer	403
Komparatoren, S & H-Schaltungen	404
Halbleiterspeicher	405
Bewegbare Datenspeicher	406
Optische Speicher	407
Begriffe der Informationstechnik	409
Betriebssystem Windows	411
Arbeiten mit der Computermaus	412
Windows-10-Tasten-Kürzel	413
Arbeiten mit PowerPoint	414
Arbeiten mit Excel	415
Gefahren der Computersabotage	416
Maßnahmen gegen Computerviren	417
Datensicherung, Kopierschutz	418
Netze der Informationstechnik	419

## Schalten von Kondensatoren und Spulen

## Switching of Capacitors and Coils

M



Zeitkonstante

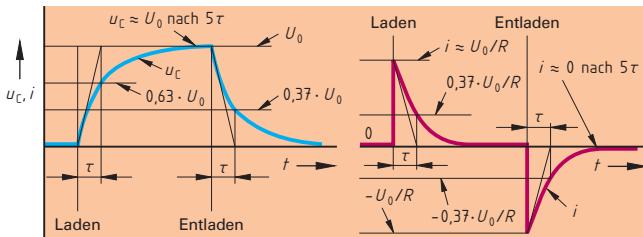
$$\tau = R \cdot C \quad 1$$

Beim Laden (Einschalten):

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

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

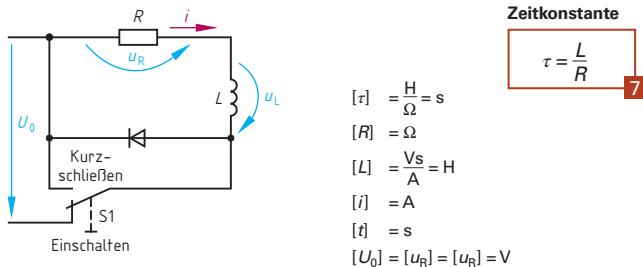
K



WF

## Kondensatorspannung und Kondensatorstrom der RC-Reihenschaltung

BM



Zeitkonstante

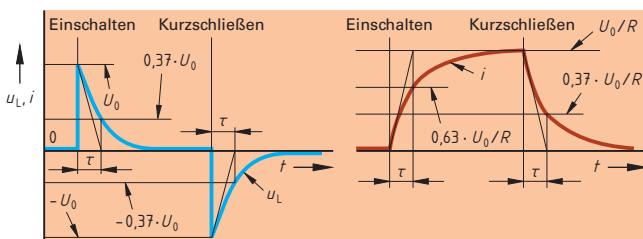
$$\tau = \frac{L}{R} \quad 7$$

Beim Einschalten:

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

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

A



D

Beim Kurzschließen:

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

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

V

## Spulenspannung und Spulenstrom der RL-Reihenschaltung

C Kapazität

t Zeit

u<sub>C</sub> Kondensatorspannung

i Stromstärke (Augenblickswert)

u Spannung (Augenblickswert)

u<sub>L</sub> Spulenspannung

L Induktivität

U<sub>0</sub> speisende Gleichspannungu<sub>R</sub> Spannung an R

R Wirkwiderstand

τ Zeitkonstante (Tau)

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

B

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

## Ermittlung des Leiterquerschnitts, Strombelastbarkeit mit Umrechnungsfaktoren

Bedingung	Häufigste Bemessungsgrundlage	Beispiel
Bemessungsstrom sehr klein, Leitung nicht sehr lang	Mechanische Festigkeit (Mindestquerschnitt) siehe Seite 328	Handgerät mit $I_N = 5 \text{ A}$ , $l = 2 \text{ m}$
Bemessungsstrom beliebig, Leitung mit normaler Länge	Strombelastbarkeit, siehe Seiten 333 bis 336	Beleuchtungsanlage mit $I_N = 16 \text{ A}$ , $l = 30 \text{ m}$
Sehr lange Leitung, Bemessungsstrom beliebig	Spannungsfall, siehe unten	Motor mit $I_N = 16 \text{ A}$ , $l = 150 \text{ m}$
Leitung zwischen normal und sehr lang	Größerer Querschnitt aus Strombelastbarkeit und Spannungsfall	Motor mit $I_N = 16 \text{ A}$ , $l = 80 \text{ m}$

Bei Abweichung von den Betriebsbedingungen der Seiten 333 bis 336 bildet man mithilfe der Tabellen der Seiten 336, 337 (z.B. von  $30^\circ\text{C}$  abweichende Umgebungstemperatur, Häufung von Leitungen) das Produkt  $F$  aus den Umrechnungsfaktoren  $f_1, f_2, \dots$  und berechnet aus der Strombelastbarkeit  $I_r$  von Seite 333 bis 335 die Strombelastbarkeit  $I_z$ .

**Hinweis zur Leitfähigkeit  $\gamma$ :** Zur genauen Berechnung des Spannungsfalls ist  $\gamma$  für die anzunehmende Betriebstemperatur  $\vartheta_b$  der Leitung einzusetzen. Für  $\vartheta_b = 50^\circ\text{C}$  ist bei Cu-Leitungen  $\gamma_{50} = 50 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ , bei  $\vartheta_b = 20^\circ\text{C}$  ist  $\gamma_{20} = 56 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ .

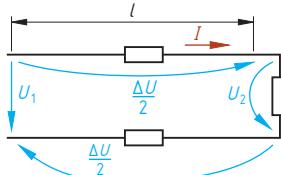
$$F = f_1 \cdot f_2 \cdot \dots$$

1

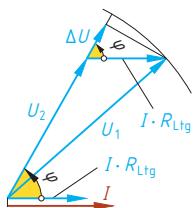
$$I_z = F \cdot I_r$$

2

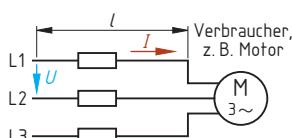
## Spannungsfall und Leistungsverlust



Schaltung bei DC und AC



Zeigerbild bei AC



Schaltung bei Drehstrom (3 AC)

## Alle Stromarten

$$\Delta U \approx U_1 - U_2$$

3

$$P_{v\%} = \frac{P_v}{P} \cdot 100\%$$

4

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\%$$

5

## Gleichstrom DC

$$\Delta U = \frac{2 \cdot P \cdot l}{\gamma \cdot A \cdot U}$$

6

$$P_v = \frac{2 \cdot I^2 \cdot l}{\gamma \cdot A}$$

7

$$P_{v\%} = \Delta u$$

8

$\gamma$  siehe Hinweis oben und Seiten 134, 135

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot A}$$

9

$$A = \frac{2 \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot \Delta U}$$

10

## Einphasenwechselstrom AC

$$\Delta U = \frac{2 \cdot P \cdot l}{\gamma \cdot A \cdot U}$$

11

$$P_v = \frac{2 \cdot I^2 \cdot l}{\gamma \cdot A}$$

12

$$P_{v\%} = \frac{\Delta u}{\cos^2 \varphi}$$

13

$\gamma$  wie bei DC

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I \cdot l \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot A}$$

14

$$A = \frac{2 \cdot I \cdot l \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot \Delta U}$$

15

## Dreiphasenwechselstrom 3 AC

$$\Delta U = \frac{P \cdot l}{\gamma \cdot A \cdot U}$$

16

$$P_v = \frac{3 \cdot I^2 \cdot l}{\gamma \cdot A}$$

17

$$P_{v\%} = \frac{\Delta u}{\cos^2 \varphi}$$

18

$\gamma$  wie bei DC

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot A}$$

19

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot \Delta U}$$

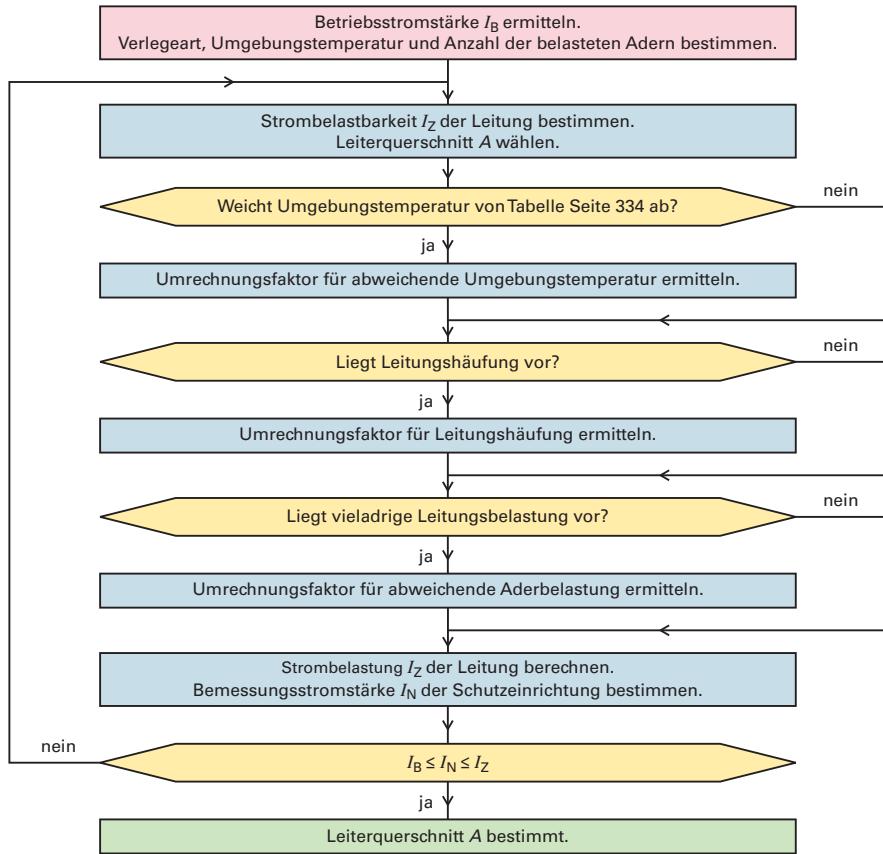
20

$A$	Leiterquerschnitt
$\cos \varphi$	Wirkfaktor
$f_1, f_2, \dots$	Umrechnungsfaktoren, z.B. wegen Leitungshäufung
$F$	Produkt der Umrechnungsfaktoren
$I$	Leiterstrom (Bemessungsstrom der Last)
$I_r$	Strombelastbarkeit nach Seiten 333 bis 335
$I_N$	Bemessungsstrom

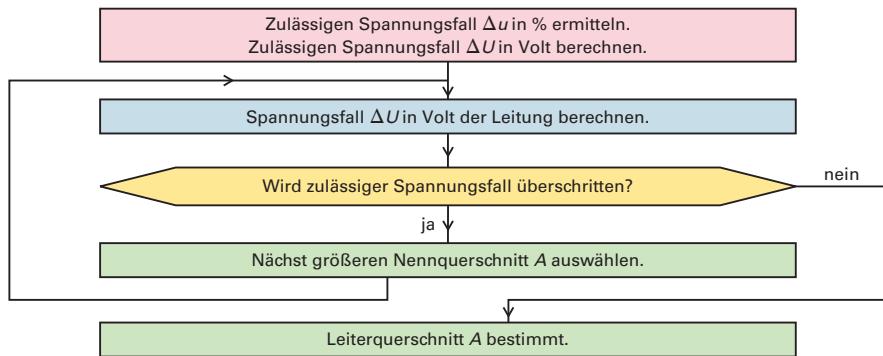
$I_z$	Strombelastbarkeit der Leiter
$L$	Länge der Leitung
$P$	Leistung der Last
$P_v$	Leistungsverlust in der Leitung
$P_{v\%}$	prozentualer Leistungsverlust (bezogen auf Leistung der Last)

$U$	Bemessungsspannung des Netzes oder der Last
$U_1$	Spannung am Leitungsanfang
$U_2$	Spannung am Leitungsende
$\Delta U$	Spannungsfall (Spannungsunterschied)
$\Delta u$	prozentualer Spannungsfall (bezogen auf Bemessungsspannung)
$\gamma$	elektrische Leitfähigkeit (siehe Hinweis oben)
$\varphi$	Phasenverschiebungswinkel

## Schritt 1: Leitungsauswahl nach Strombelastbarkeit



## Schritt 2: Leitungsauswahl nach höchstzulässigem Spannungsfall



**Schritt 3** ist die Berechnung der Schleifenimpedanz  $Z_S$ , um festzustellen, ob die Abschaltbedingungen einer Niederspannungsanlage erfüllt sind. Nach der Errichtung ist dann eine Messung durchzuführen.

$I_B$  Betriebsstrom  $I_N$  Bemessungstrom der Schutzeinrichtung  $I_Z$  zulässige Strombelastbarkeit der Leitung

## Hydrauliköle

## Arten

Typ	Erläuterung
HL (DIN 51524-1)	Druckflüssigkeiten mit Wirkstoffen zur Erhöhung des Korrosionsschutzes und der Altersbeständigkeit.
HLP (DIN 51524-2)	Enthalten zusätzliche Wirkstoffe, die den Verschleiß im Mischreibungsbereich mindern. Sie werden in Hydraulikanlagen mit Hydropumpen und Hydromotoren verwendet, die mit mehr als 200 bar betrieben werden.

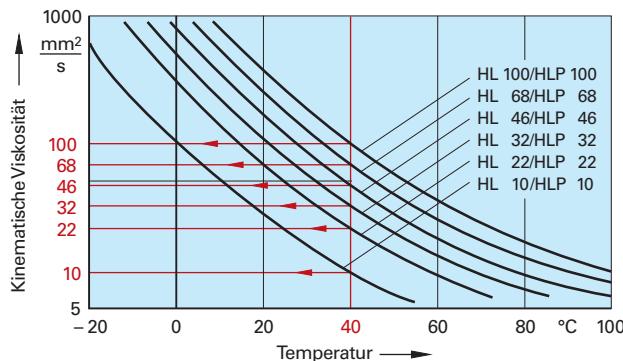
## Eigenschaften

Eigenschaften		HL 10 HLP 10	HL 22 HLP 22	HL 32 HLP 32	HL 46 HLP 46	HL 68 HLP 68	HL 100 HLP 100
Kinematische Viskosität in mm <sup>2</sup> /s	bei -20 °C	600	-	-	-	-	-
	bei 0 °C	90	300	420	780	1400	2560
	bei 40 °C	10	22	32	46	68	100
	bei 10 °C	2,4	4,1	5,0	6,1	7,8	9,9
Pourpoint <sup>1</sup> gleich oder tiefer als	-30 °C	-21 °C	-18 °C	-15 °C	-12 °C	-12 °C	-12 °C
Flammpunkt höher als	125 °C	165 °C	175 °C	185 °C	195 °C	205 °C	

<sup>1</sup> Der Pourpoint (Fließpunkt) ist ein international angewandtes Maß für das Kälteverhalten von Erdölprodukten. Nach DIN 51597 ist der Pourpoint die Temperatur, bei der das Hydrauliköl unter Schwerkraefteinfluss gerade noch fließt. Der Pourpoint ersetzt den früher in der deutschen Norm verwendeten um etwa 3 K niedrigeren Stockpunkt (Erstarrungstemperatur).

⇒ Hydrauliköl DIN 51524 – HLP 46: Hydrauliköl vom Typ HLP, kinematische Viskosität = 46 mm<sup>2</sup>/s bei 40 °C

## Viskositäts-Temperatur-Verhalten

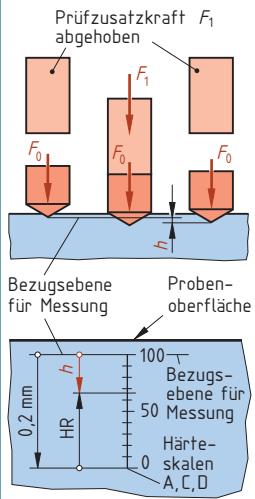


## Schwer entflammbare Hydraulikflüssigkeiten

Bezeichnung	ISO-Viskositätsklassen	Eignung für Temperaturen in °C	Eigenschaften	Verwendung
HFAE DIN 24320	(nicht festgelegt)	+ 5 bis + 55	Öl-in-Wasser-Emulsionen, üblicher Ölanteil 2 % ... 3 %, kleine Viskosität, geringe Schmierfähigkeit	Grubenausbau
HFAS	(nicht festgelegt)	+ 5 bis + 55	Lösungen von Flüssigkeitskonzentraten in Wasser, Eigenschaften wie HFAE	Grubenausbau
HFC	15, 22, 32, 46, 68, 100	- 20 bis + 60	Wässrige Monomer- und/oder Polymerlösungen, Verschleißschutz besser als bei HFA	Bergbau, Druckgussmaschinen, Schweißautomaten, Stahl-industrie, Schmiedepressen
HFD	15, 22, 32, 46, 68, 100	- 20 bis + 150	Wasserfreie synthetische Flüssigkeiten. Gut alterungsbeständig, schmierfähig, großer Temperaturbereich	Hydraulische Anlagen mit hohen Betriebstemperaturen

## Härteprüfung nach Rockwell

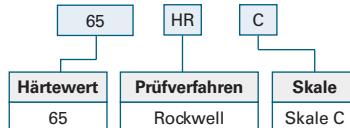
vgl. DIN EN 10109



Zweck: Härteprüfung für alle Metalle.

Durchführung: Ein Eindringkörper wird in 2 Stufen in die Probe gedrückt. Aus der bleibenden Eindringtiefe  $h$  wird die Rockwellhärte abgeleitet. $F_0$  Prüfkraft $F_1$  Prüfzusatzkraft $h$  bleibende Eindringtiefe in mm

Beispiel für die Angabe der Rockwellhärte:



## Diagonale des Eindrucks

$$HR = 100 - \frac{h}{0,002 \text{ mm}}$$

1

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

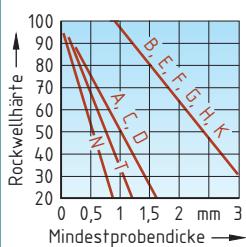
$$HR = 130 - \frac{h}{0,002 \text{ mm}}$$

2

Rockwellhärte HR  
für Skalen N und T

$$HR = 100 - \frac{h}{0,001 \text{ mm}}$$

3

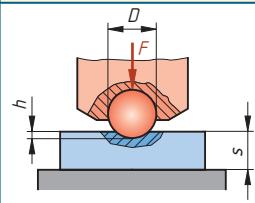


## Skalen und Anwendungsbereiche der Härteprüfverfahren nach Rockwell

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

## Härteprüfung nach Brinell

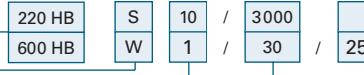
vgl. DIN EN 10003



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

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

Beispiele für die Angabe der Brinellhärte:



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

7



Härtewert	Art des Prüfkörpers	Kugeldurchmesser $D$	Prüfkraft $F$	Einwirkdauer
Brinellhärte 220 Brinellhärte 600	S Stahlkugel W Hartmetallkugel	10 mm 1 mm	$3000 \cdot 9,80665 \text{ N} = 29420 \text{ N}$ $30 \cdot 9,80665 \text{ N} = 294,2 \text{ N}$	ohne Angabe: 10 bis 15 s Wertangabe: 25 s

WF

BM

A

D

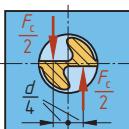
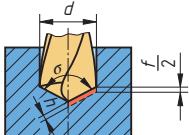
V

B

# Kräfte und Leistungen beim Zerspanen 2

## Cutting Forces and Cutting Powers 2

### Bohren



#### Beispiel:

Eine Platte aus S235JR wird mit arbeitsscharfem HSS-Bohrer gebohrt.  
 $d = 16 \text{ mm}$ ,  $v_c = 12 \text{ m/min}$ ,  $f = 0,18 \text{ mm}$   
 und  $\sigma = 118^\circ$  (WAG N).

#### Spanungsdicke

$$h = \frac{f}{2} \cdot \frac{\sin \sigma}{2}$$

1

#### Gesucht:

$$h, k_c, A, F_c, M_c$$

#### Lösung:

$$h = \frac{f}{2} \cdot \frac{\sin \sigma}{2} = \frac{0,18 \text{ mm}}{2} \cdot \sin 59^\circ = 0,08 \text{ mm}$$

$$A = \frac{d \cdot f}{2}$$

2

$$k_c = 2735 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ (vorhergehende Seite)}$$

$$A = \frac{d \cdot f}{2} = \frac{16 \text{ mm} \cdot 0,18 \text{ mm}}{2} = 1,44 \text{ mm}^2$$

$$F_c = A \cdot k_c \cdot C_1 \cdot C_2 = 1,44 \text{ mm}^2 \cdot 2735 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 4726 \text{ N}$$

$$M_c = \frac{F_c \cdot d}{4} = \frac{4726 \text{ N} \cdot 0,016 \text{ m}}{4} = 18,9 \text{ Nm}$$

#### Schnittkraft

$$F_c = A \cdot k_c \cdot C_1 \cdot C_2$$

3

#### Spezifische Schnittkraft

$$k_c = \frac{k_{c1,1}}{h^{m_c}}$$

4

### Zerspanungsvolumen

$$Q = \frac{A \cdot v_c}{2}$$

5

### Schnittleistung

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{2} = Q \cdot k_c$$

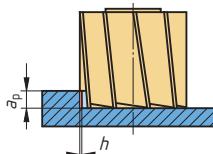
6

### Schnittmoment

$$M_c = \frac{F_c \cdot d}{4}$$

7

### Fräsen



#### Beispiel:

Ein Werkstück aus 16MnCr5 wird mit abgestumpfter HM-Wendeschneidplatte gefräst.

$D = 160 \text{ mm}$ ,  $z = 12$ ,  $a_e = 120 \text{ mm}$ ,  
 $a_p = 6 \text{ mm}$ ,  $f_z = 0,2 \text{ mm}$  und  $v_c = 85 \text{ m/min}$

#### Gesucht:

$$h, k_c, F_c, Q, P_c$$

#### Lösung:

$$h \approx f_z = 0,2 \text{ mm}$$

$$k_c = 3191 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_c = A \cdot k_c \cdot C_1 \cdot C_2 = 3,88 \text{ mm}^2 \cdot 3191 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 1,0 \cdot 1,3 = 16095 \text{ N}$$

$$Q = a_p \cdot a_e \cdot v_f = 6 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} \cdot 406 \frac{\text{mm}}{\text{min}} = 292 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

$$P_c = F_c \cdot v_c = \frac{16095 \text{ N} \cdot 85 \text{ m}}{60 \text{ s}} = 22801 \text{ W} = 22,8 \text{ kW}$$

#### Spanungsquerschnitt

$$A = a_p \cdot h \cdot z_e$$

8

#### Spanungsdicke

$$h \approx f_z$$

9

#### Schnittkraft

$$F_c = A \cdot k_c \cdot C_1 \cdot C_2$$

10

#### Spezifische Schnittkraft

$$k_c = \frac{k_{c1,1}}{h^{m_c}}$$

11

#### Schnittleistung

$$P_c = F_c \cdot v_c = Q \cdot k_c$$

12

#### Zeitspannungsvolumen

$$Q = a_p \cdot a_e \cdot v_f$$

13

### Schneidenzahl im Eingriff

$$z_e = z \cdot \varphi / 360^\circ$$

14

### Vorschubgeschwindigkeit

$$v_f = z \cdot f_z \cdot n$$

15

A Spanungsquerschnitt in  $\text{mm}^2$   
 $a_e$  Arbeitseingriff (Fräsbreite)  
 in mm

$a_p$  Schnitttiefe in mm

$C_1$  Korrekturfaktor Schneidstoff

$C_2$  Korrekturfaktor Schneiden-  
 verschleiß

D Fräserdurchmesser in mm

d Boherdurchmesser in mm

$F_c$  Schnittkraft in N

f Vorschub in mm je Umdrehung

$f_z$  Vorschub in mm je Schneide  
 $h$  Spanungsdicke in mm

$k_c$  Richtwert für die spez. Schnitt-  
 kraft in  $\text{N/mm}^2$

$M_c$  Schnittmoment in Nm

$m_c$  Werkstoffkonstante

$n$  Drehzahl in  $\text{min}^{-1}$

$P_c$  Schnittleistung in kW

$Q$  Zeitspannungsvolumen in

$\text{mm}^3/\text{min}$

$v_c$  Schnittgeschwindigkeit in  $\text{m/min}$

$v_f$  Vorschubgeschwindigkeit  
 in  $\text{mm/min}$

WAG Werkstoffauswahlgruppe  
 (H, N, W)

$z$  Schneidenzahl

$z_e$  Schneidenzahl im Eingriff

$\sigma$  Spitzewinkel (*Sigma*)

in Grad

$\varphi$  Winkel (*Phi*) zwischen

Fräseereintritt und -austritt

WF

BM

A

D

V

B



Die Produktivität wird maßgeblich von der Auswahl der Bearbeitungsmethode, der Werkzeugauswahl und den Schnittdaten beeinflusst.

Als Drehwerkzeuge kommen heute fast ausschließlich Klemmhalter mit **Wendeschneidplatten** zum Einsatz. Von diesen sind etwa 80% beschichtet.

Bilder: Sandvik Coromant AB  
www.sandvik.coromant.com



### Wendeschneidplatten

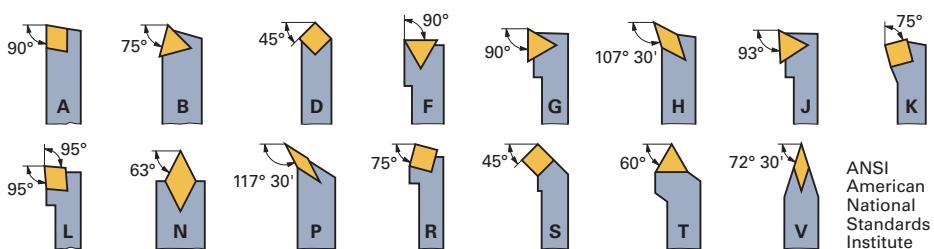
vgl. DIN ISO 6987

Bezeichnungsbeispiel		C	N	M	W	12	04	10	T	N	P10
Bezeichnung	Spalte 1, Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Plattenform		A 85° M 86°	B 82°	C 80°	D 55°	E 75°	H 80°	K 55° V 35°	L 80°		
2 Freiwinkel		A = 3°	B = 5°	C = 7°	D = 15°	E = 20°	F = 25°	G = 30°	N = 0°	P = 11°	
3 Toleranzen	Nicht anwenderrelevant										
4 Befestigung, Spanfläche		A	B	C	F	G	H	J			
5 Plattengröße	Hauptschneidenlänge <i>l</i> in mm (bei ungleichseitigen die längste Seite), bei runden Platten Durchmesser <i>d</i> in mm, unter 10 mm wird eine Null vorangestellt.										
6 Plattendicke	Schneidenplattendicke <i>s</i> in mm, unter 10 mm wird eine Null vorangestellt.										
7 Schneide	Eckenradius <i>r<sub>e</sub></i> in mm (0,1 x Ziffer der 7. Stelle), 00 = scharfe Ecke, M0 runde Platte (metrisch).										
8 Schneidkante	A gerundet (ANSI)	E gerundet (EN)	F scharf	K doppelt gefast	S gerundet und gefast	T gefast					
9 Richtung	L linksschneidend			R rechtsschneidend			N links- und rechtsschneidend				
10 Werkstoff	P Stahl	M rostfreier Stahl	K Gusseisen	N NE-Metalle	H gehärtete Werkstoffe						

### Vierkantschaft Klemmhalterbezeichnung

vgl. DIN 4983

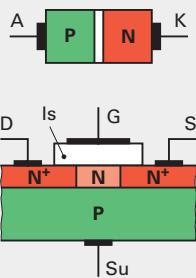
Bezeichnungsbeispiel		C	T	G	A	R	20	20	K	16	
Bezeichnung (unten, z. T. oben)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1 Befestigungsart	4	Freiwinkel an der Platte				7	Klemmhalter Schaftrbreite				
2 Wendeschneidplattenform	5	Klemmhalterausführung				8	Klemmhalterlänge				
3 Halterform, Eintrittswinkel	6	Schneideneckenhöhe				9	Wendeschneidplattengröße				



# Teil BM: Bauelemente, Messen, Steuern, Regeln

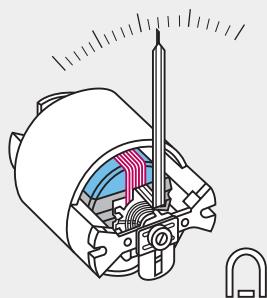
## Part BM: Discrete Components, Measuring, Open-loop and Closed-loop Control

### Bauelemente



Widerstände und Kondensatoren .....	204
Batterien .....	207
Von physikalischen Größen abhängige	
Halbleiter-Bauelemente .....	208
Dioden .....	209
Feldeffektransistoren, IGBTs .....	210
Bipolare Transistoren und HEMT .....	211
Thyristoren und Triggerdiode .....	212
Fotoelektronische Bauelemente .....	213
Bauelemente für Überspannungsschutz .....	214
Grundlagen des Operationsverstärkers .....	215

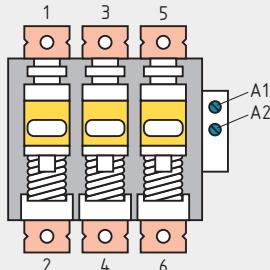
### Messen



Elektrische Analogmesswerke .....	217
Schaltungen zur Widerstandsbestimmung .....	219
Messbereichserweiterung .....	220
Messen mit Multimeter .....	221
Wattstundenzähler .....	222
Sensoren .....	223
Kraftmessung und Druckmessung .....	224
Bewegungsmessung .....	225
Wegmessung/Winkelmessung .....	226
Temperaturmessung .....	227
Näherungsschalter (Sensoren) .....	228
Spezielle optoelektronische Sensoren .....	230
Energieüberwachung in Smart-Grid-Anlagen .....	232
Oszilloskop .....	233
Messwerterfassung mit dem PC .....	235

BM

### Steuern und Regeln

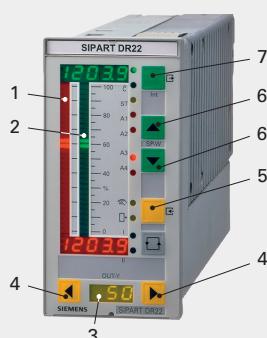


Elektromagnetische Schütze .....	238
Vakuumschütze, Halbleiterschütze .....	240
Hilfstromkreise .....	242
Polumschaltbare Drehstrommotoren .....	244
Ausschaltung, Serienschaltung, Wechselschaltung, Kreuzschaltung ..	246
Stromstoßschaltungen .....	247
Dimmen konventioneller Lampen .....	248
Dimmen von LED-Lichtquellen .....	249
Steuerung mittels Funk .....	250
Elektroinstallation mit Funksteuerung .....	251
Ausführung von Installationsschaltungen .....	252
Steuerungs- und Regelungstechnik .....	254
Analoge Regler .....	256
Regleinstellungen, Reglerauswahl .....	258
Digitale Reglung .....	259
Steuern und Regeln mit dem PC .....	260
Universalregler .....	261
Lageregelung bei Arbeitsmaschinen .....	262
Logikmodul LOGO! .....	263
Binäre Verknüpfungen der Steuerungs- und	
Regelungstechnik .....	266
Speicherprogrammierbare Steuerung SPS .....	267
SPS-Funktionsbausteine .....	272
Programmiersprachen, Strukturierter Text ST, Ablaufsprache AS ..	273
SPS-Programmierung nach DIN EN 61131-3 .....	276
Phasen der SPS-Programmentwicklung .....	278

A

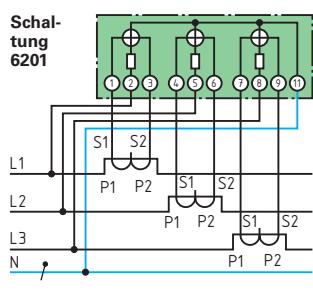
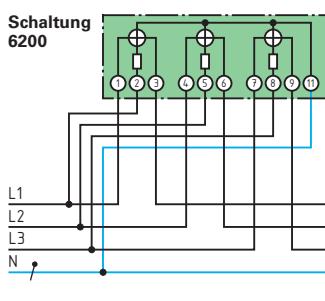
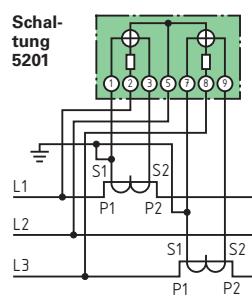
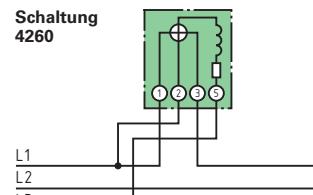
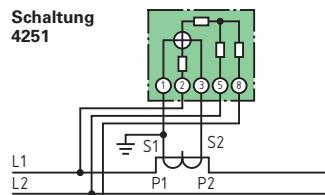
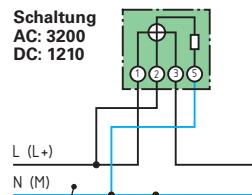
D

V

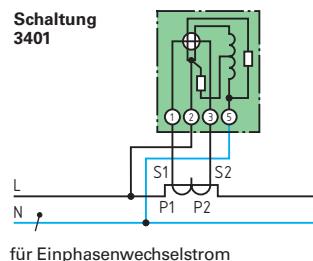
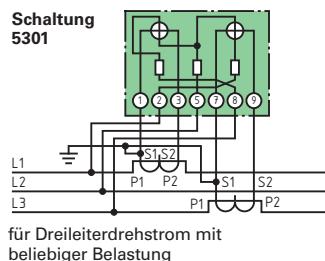
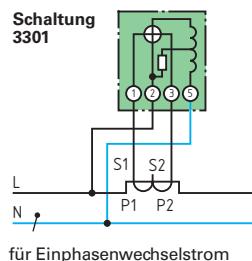


B

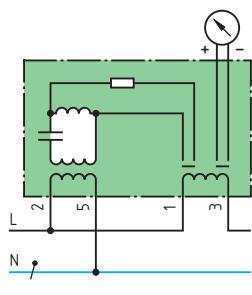
## Schaltungen von Wirkleistungsmessgeräten



## Schaltungen von Blindleistungsmessgeräten

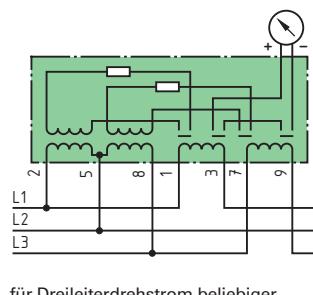


## Schaltungen von Wirkleistungsmessgeräten mit Messzusatz (mit Hall-Generatoren)



Beim Messzusatz mit Hallgeneratoren wird das einzelne analoge Messwerk zur Multiplikation von  $U$  und  $I$  durch je einen Hallgenerator (Seite 208) ersetzt. Dabei erzeugt der Strompfad des Messzusatzes das Magnetfeld des Hall-Generators und sein Strom wird aus der Messspannung gebildet. Die Spannung des Hall-Generators ist das Produkt von  $U$  und  $I$ .

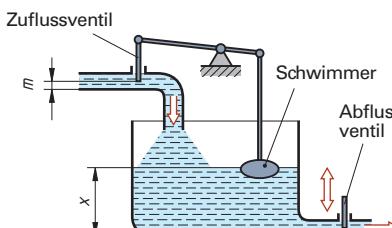
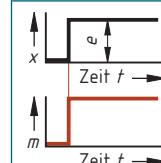
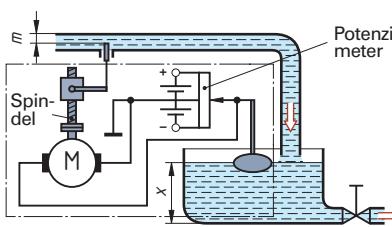
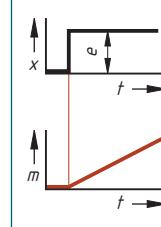
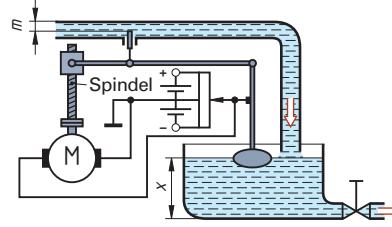
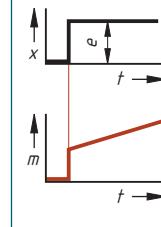
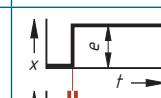
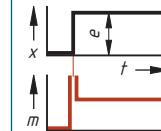
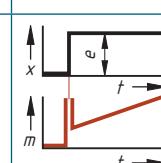
$$\text{Hall-Generator} \approx \text{Produkt von } U \text{ und } I$$



Anschlusskennzeichnung bei Stromwandlern:

Je nach Norm stehen für die Anschlüsse P1, P2 (primär) auch K, L und für S1, S2 (sekundär) auch k, l.

Bei analogen Reglern kann die Reglerausgangsgröße  $m$  im Regelbereich jeden Wert annehmen.

Reglerart	Beispiel, Beschreibung	Übergangs-funktion	Symbol, Blockdarstellung
<b>P-Regler</b> (Proportional wirkender Regler)  Die Ausgangsgröße ist proportional der Eingangsgröße. Bei P-Regelstrecken verbleibt eine Regeldifferenz.			$x$ Regelgröße $m$ R-Ausgangsgröße $e$ Regeldifferenz
<b>I-Regler</b> Integral wirkender Regler  I-Regler sind langsamer als P-Regler, beseitigen aber bei Regelstrecken mit P-Verhalten die Regeldifferenz vollständig.			$x$ $m$
<b>PI-Regler</b> Proportional-integral wirkender Regler  Beim PI-Regler werden ein P-Regler und ein I-Regler parallel geschaltet.			$x$ $m$
<b>D-Regler</b> Differenzierend wirkender Regler	D-Regeleinrichtungen kommen nur zusammen mit P- oder PI-Regeleinrichtungen vor, da reines D-Verhalten bei konstanter Regeldifferenz keine Stellgröße und damit keine Regelung liefert.		$x$ $m$
<b>PD-Regler</b> Proportional-differenzierend wirkender Regler	PD-Regler entstehen durch die Parallelschaltung eines P-Reglers mit einem D-Glied. Der D-Anteil ändert die Ausgangsgröße proportional zur Änderungsgeschwindigkeit der Eingangsgröße. Der P-Anteil ändert die Ausgangsgröße proportional zur Eingangsgröße. PD-Regler wirken schnell.		$x$ $m$
<b>PID-Regler</b> Proportional-integral-differenzierend wirkender Regler	PID-Regler entstehen durch die Parallelschaltung eines P-, eines I- und eines D-Reglers. Am Anfang reagiert der D-Anteil mit einer großen Steuersignaländerung, danach wird diese Veränderung etwa bis zum Anteil des P-Gliedes verringert, um anschließend durch den Einfluss des I-Gliedes linear anzusteigen.		$x$ $m$

BM

A

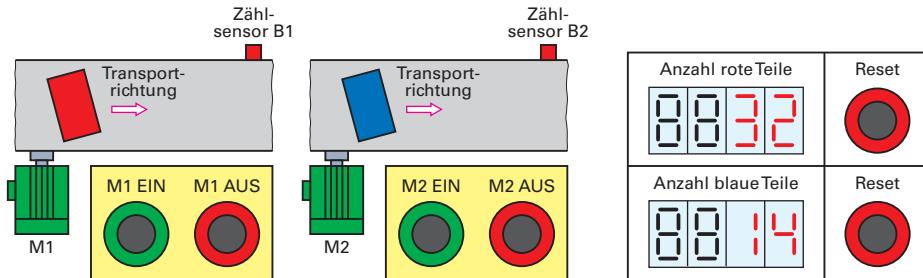
D

V

B

## Anlagenschema (Zwei Förderbänder)

Zwei Förderbänder werden durch mehrfache Verwendung eines Funktionsbausteins FB 1 gesteuert.



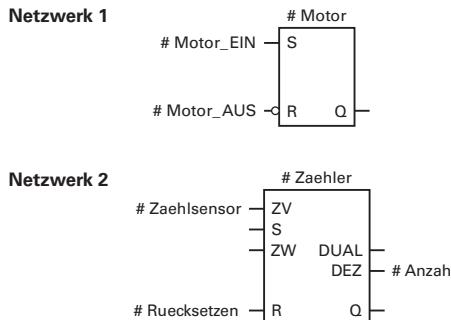
- Bibliotheksfähige Bausteine sind wiederverwendbar und können in einem SPS-Programm mehrfach aufgerufen werden.
- In einem bibliotheksfähigen Baustein dürfen keine globalen Variablen für Eingänge, Ausgänge, Merker, Timer und Zähler verwendet werden.
- Globale Variablen sind in allen Proarammteilen bekannt.
- Im Beispiel unten wird zuerst der Funktionsbaustein FB 1 erstellt und dieser dann zweimal in den Organisationsbaustein OB1 eingefügt.

## Variabellentabelle des FB 1

Deklaration	Name	TYP
in	Motor_EIN	BOOL
in	Motor_AUS	BOOL
in	Zaehler	COUNTER
in	Zaehlsensor	BOOL
in	Ruecksetzen	BOOL
out	Motor	BOOL
out	Anzahl	WORD

Den Eingangsvariablen (in) werden Werte aus dem aufrufenden Baustein übergeben. Die Ausgangsvariablen (out) übergeben Werte an den aufrufenden Baustein.

## Funktionsbaustein FB 1



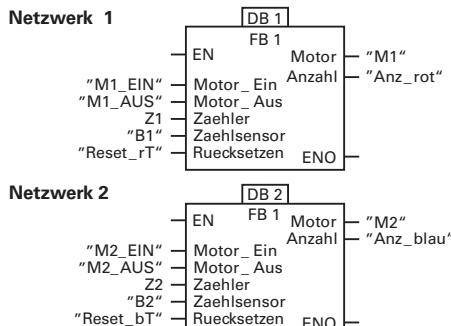
Lokale Variablen werden mittels Raute (#) gekennzeichnet.

## Symboltabelle (Zuordnungsliste)

Symbol	Operand	Kommentar
M1_EIN	E 1.0	Taster M1 EIN (Schließer)
M1_AUS	E 1.1	Taster M1 AUS (Öffner)
B1	E 1.2	Zählsensor B1 (Schließer)
Reset_rT	E 1.3	Reset roteTeile (Schließer)
M1	A 0.1	Motor 1
Anz_rot	AW 2	Anzahl roteTeile
M2_EIN	E 2.0	Taster M2 EIN (Schließer)
M2_AUS	E 2.1	Taster M2 AUS (Öffner)
B2	E 2.2	Zählsensor B2 (Schließer)
Reset_bT	E 2.3	Reset bl.Teile (Schließer)
M2	A 0.2	Motor 2
Anz_bla	AW 4	Anz. blaueTeile

Bei den Symbolen bzw. Operanden handelt es sich um globale Variablen.

## Organisationsbaustein OB 1



Beim Aufruf eines Funktionsbausteins muss ein Datenbaustein (DB 1, DB 2) angegeben werden. Globale Symbole werden zwischen Anführungszeichen geschrieben.

BM

A

D

V

B

## Schutzarten IP elektrischer Betriebsmittel

Types of Protection IP of Electrical Equipment

### Aufbau der Kennzeichnung für die Schutzart IP

Kennzeichen	Bedeutung	Beispiele
Kennbuchstaben IP	Schutz gegen Berühren und gegen Eindringen von Fremdkörpern und Wasser.	IP von engl. International Protection = internationale Schutzart.
1. Kennziffer 0 bis 6	Schutzgrade gegen Berühren und Eindringen von Fremdkörpern, z.B. Schmutz.	Bei einem großen Teil der Betriebsmittel kommen nicht alle Kennziffern für die Schutzart IP vor.
2. Kennziffer 0 bis 8	Schutzgrade gegen Eindringen von Wasser.	

Wenn nur die Angabe einer einzigen Kennziffer für die Schutzart nötig ist, wird die andere Kennziffer durch X ersetzt.

### Bedeutung der Kennziffern nach IP

Schutzart	Bedeutung	Bemerkungen
<b>Berührungsschutz und Fremdkörperschutz</b>		

IP 0X	Kein Berührungs- und Fremdkörperschutz	(Bildzeichen siehe unten)
IP 1X	Schutz gegen Fremdkörper mit $\varnothing \geq 50$ mm	„Handrückenschutz“
IP 2X	Schutz gegen Fremdkörper mit $\varnothing \geq 12,5$ mm	„Fingerschutz“
IP 3X	Schutz gegen Fremdkörper mit $\varnothing \geq 2,5$ mm	„Werkzeugschutz“
IP 4X	Schutz gegen Fremdkörper mit $\varnothing \geq 1,0$ mm	„Drahtschutz“
IP 5X	Schutz gegen schädliche Staubablagerung im Inneren	„staubgeschützt“
IP 6X	Schutz gegen Eindringen von Staub	„staubdicht“

### Wasserschutz

IP X0	Kein Wasserschutz	
IP X1	Schutz gegen senkrecht fallendes Tropfwasser	„tropfwassergeschützt“
IP X2	Schutz gegen schräg fallendes Tropfwasser	„fast regengeschützt“
IP X3	Schutz gegen Sprühwasser	„regengeschützt“
IP X4	Schutz gegen Spritzwasser aus allen Richtungen	„spritzwassergeschützt“
IP X5	Schutz gegen Strahlwasser	„strahlwassergeschützt“
IP X6	Schutz gegen starkes Strahlwasser	„fast wasserdicht“
IP X7	Schutz gegen zeitweiliges Untertauchen	„wasserdicht“
IP X8	Schutz gegen dauerndes Untertauchen	„druckwasserdicht“
IP X9K	Schutz gegen Hochdruckreinigung	„hochdruckdicht“

Beim selben Betriebsmittel können einzelne Teile von der übrigen Schutzart abweichen. Die Angabe ist dann z.B. Gehäuse IP 32 – Anschlüsse IP 11. Bei Bedarf geben **zusätzliche** Buchstaben (A, B, C, D) Schutz gegen Berühren (mit Handrücken, Finger, Werkzeug, Draht) an und **ergänzende** Buchstaben (H, M, S, W) weitere Informationen, z.B. B. Hochspannungsgerät.



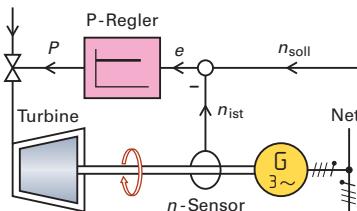
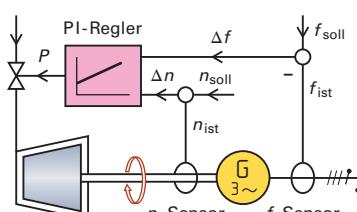
### Bildzeichen für die Schutzarten

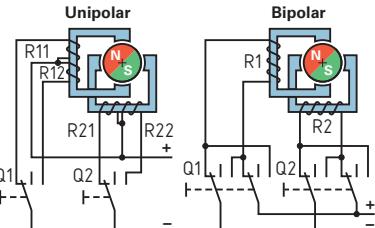
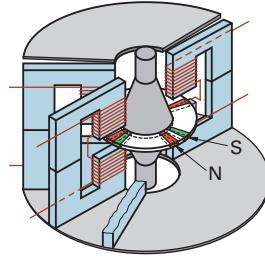
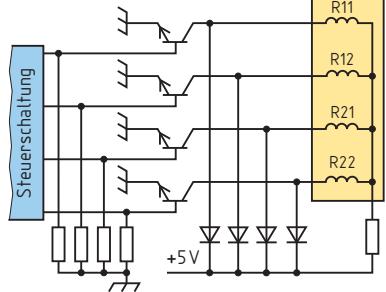
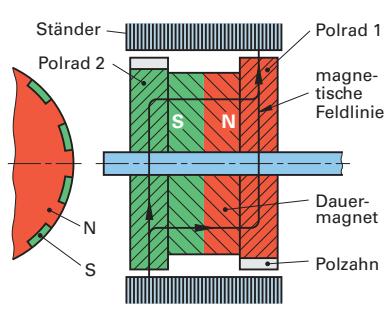
Tropfwasser-geschützt	Regen-geschützt	Spritzwasser-geschützt	Strahlwasser-geschützt	Wasserdicht	Druckwasser-dicht	... kPa	

	Kennzeichnung nach EN 60079: <i>Ex Schutzart, Gruppe, Temperaturklasse</i> . Explosionsgruppe I für Schlagwetter-schutz, Gruppe II für Explosionsschutz mit IIA, IIB, IIC je nach Gas → Ex d IIIB4.	Siehe auch Seite 578.
Allgemeine Kennzeichnung für Explosionsschutz oder Schlagwetterschutz	Als Zündschutzart bedeuten: d druckfeste Kapselung q Sandkapselung o Öl kapselung	e erhöhte Sicherheit ia, ib Eigensicherheit p Überdruckkapselung

# Regelung der Netzfrequenz

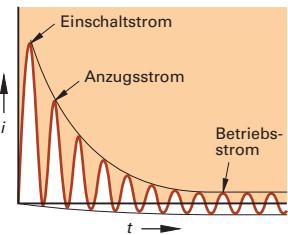
# Control of Grid Frequency

Begriffe	Erklärung	Bemerkungen, Daten, Bilder
Frequenzhaltung 50 Hz  europäisches Verbundnetz Toleranz, $\pm 0,2$ Hz  Synchron-generator	Unter Frequenzhaltung des Netzes versteht man Regelvorgänge, die zu einer an den Hausanschlüssen annähernd konstanten Frequenz von 50 Hz führen.  Im europäischen Verbundnetz ist die Toleranz $\pm 0,2$ Hz.  Die Frequenz soll also mindestens 49,8 Hz und höchstens 50,2 Hz betragen.	Die Netzfrequenz geben die Synchrongeneratoren der Großkraftwerke vor. Deren Frequenz $f$ ist proportional der Drehzahl $n$ ihrer Läufer.  $f = \frac{n}{p}$ <span style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">1</span>
Netzlast  Großkraftwerke  Primärregelung Turbinenleistung Sekundärregelung  Dämpfung von Laststößen	Netzlast bremst die Synchrongeneratoren und ihre Drehzahl und Frequenz sinken. Bei abnehmender Netzlast nehmen die Generatordrehzahl und Frequenz zu. Es muss also die Drehzahl der Turbinen von Großkraftwerken auf konstante Drehzahl nach Formel 1 geregelt werden.  Bei der Primärregelung wird die Leistung der Turbinen geregelt, bei der Sekundärregelung die Netzfrequenz.  Zu einer Dämpfung von Laststößen führt die mechanische Energie der rotierenden Läufer von Generatoren und Motoren im Netz.	 <p><b>Primärregelung eines Synchrongenerators</b></p>
P-Regelung  Sekundärregelung  PI-Regelung  positive Regelenergie  Spannungsregelung	Für die Primärregelung liegt eine <b>P-Regelung</b> vor, die einen Fehler schnell, aber nicht vollständig, ausregelt. Bei der <b>Sekundärregelung</b> ist die zusätzliche Regelgröße die Netzfrequenz. Hier liegt eine <b>PI-Regelung</b> vor, die den Fehler der P-Regelung langsam ausgleicht.  Bei zu niedriger Netzfrequenz wird zusätzliche Einspeisung oder kleinere Netzlast gebraucht ( <b>positive Regelenergie</b> ).  Bei zu kleiner Netzfrequenz ist auch die Generatorenspannung zu klein, sodass die Spannungsregelung des Netzes wirksam wird.	 <p><b>Wirkungsweise der Sekundärregelung</b></p>
negative Regelenergie  Zuständigkeit ÜNB  Sekundenreserve	Bei zu hoher Netzfrequenz wird kleinere Einspeisung oder größere Netzlast gebraucht ( <b>negative Regelenergie</b> ). Zuständig für die Netzregelung sind die ÜNB.  Die Primärregelung erfolgt dezentral in für die Regelung vorgesehenen Großkraftwerken, die ihre Netzfrequenz messen und danach die Leistung steuern.	Die Primärregelung muss innerhalb von 30 Sekunden wirksam werden, wenn $\Delta f \geq 20 \text{ mHz} = 0,02 \text{ Hz}$ . Diese Sekundenreserve muss mindestens für 15 Minuten verfügbar sein zum Aufwärtsregeln von großen Wärmekraftwerken mit über 1000 MW Leistung oder zum Abwärtsregeln auch von Wasserkraftwerken der ÜNB.
Pumpspeicher-Kraftwerke Gaskraftwerke Minutenreserve  Übertragungs-distanzen	Die <b>Sekundärregelung</b> erfolgt im Übertragungsnetz in Pumpspeicherkraftwerken, Windkraftwerken, PV-Anlagen und Gaskraftwerken innerhalb von maximal 15 Minuten ( <b>Minutenreserve</b> ).  Ein <b>zentraler Regler</b> erfasst die Netzfrequenz und die Leistungen der verschiedenen Regionen und regelt in diesen die Frequenz so, dass Leistungen möglichst über kurze Übertragungsdistanzen bewegt werden.	Für die Sekundärregelung wird ein PI-Regler eingesetzt. Der Betrag des I-Regelwertes (Integralreglers) steigt zeitweise ständig an, auch wenn 50 Hz erreicht sind. Dadurch schwankt die Frequenz um etwa 10 mHz = 0,01 Hz um 50 Hz.  Die Regelung soll den Mittelwert der Netzfrequenz längere Zeit hindurch bei 50 Hz halten, damit die mit Netzfrequenz gesteuerten Uhren genau gehen.
e Regeldifferenz f Frequenz $\Delta f$ Frequenzabweichung	n Drehzahl, Umdrehungsfrequenz p Polpaarzahl, halbe Polzahl P Leistung	PI-Regler Proportional-Integral-Regler P-Regler Proportionalregler ÜNB Übertragungsnetzbetreiber

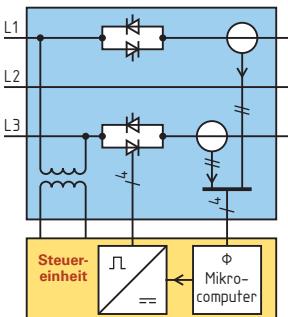
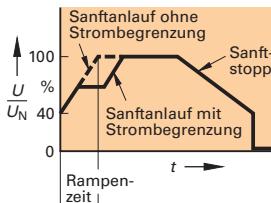
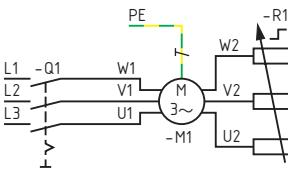
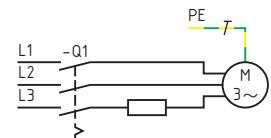
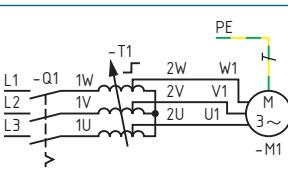
Art, Benennung	Wirkungsweise, Erklärung																																												
 <p><b>Zweistrang-Schrittmotoren</b></p>	<p><b>Prinzip:</b> Der Dauermagneträuber dreht sich bei jedem Rechteckimpuls einer Gleichspannung um den Schrittwinkel weiter.</p> <p><b>Betrieb:</b> Eine elektronische Ansteuerschaltung liefert die Impulse in der richtigen Reihenfolge.</p> <p><b>Arten:</b> Es gibt Einstrang-Schrittmotoren, Zweistrang-Schrittmotoren, Vierstrang-Schrittmotoren und Fünfstrang-Schrittmotoren. Anstelle von Strang spricht man bei den Schrittmotoren oft von Phase, z.B. Zweiphasenmotoren.</p>																																												
 <p><b>Scheibenmagnet-Schrittmotor</b></p>	<p><b>Wicklung:</b> Die Wicklung jedes Stranges kann unipolar oder bipolar ausgeführt sein. Bei der unipolaren Form fließt der Strom im Wicklungsstrang in derselben Richtung, bei der bipolaren Form auch in wechselnden Richtungen.</p> <p><b>Anwendung der Schrittmotoren:</b> Genaues Positionieren (Erreichen einer vorgegebenen Lage) z.B. bei Druckern, Plottern, Büromaschinen, Vorschub von Werkzeugmaschinen, Zuführen von Schweißdraht.</p>																																												
 <p><b>Prinzip einer unipolaren Schrittmotor-Steuerschaltung</b></p>	<table border="1" data-bbox="536 691 1043 1032"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="536 691 755 723">Schritt-Nr., Reihenfolge</th> <th colspan="2" data-bbox="755 691 1043 723">Vollschrittbetrieb</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2" data-bbox="755 723 1043 756">Halbschrittbetrieb zusätzl. rot</th> </tr> <tr> <th data-bbox="536 756 674 788">Linkslauf</th> <th data-bbox="674 756 755 788">Rechtslauf</th> <th data-bbox="755 756 870 788">Schalter Q1</th> <th data-bbox="870 756 1043 788">Schalter Q2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="536 788 674 821">0 <math>\Delta</math> 4</td> <td data-bbox="674 788 755 821">0 <math>\Delta</math> 4</td> <td data-bbox="755 788 870 821" style="text-align: center;">←</td> <td data-bbox="870 788 1043 821" style="text-align: center;">←</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 821 674 853">3 1/2</td> <td data-bbox="674 821 755 853">1/2</td> <td data-bbox="755 821 870 853" style="text-align: center;">←</td> <td data-bbox="870 821 1043 853" style="text-align: center;">Mitte</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 853 674 886">3</td> <td data-bbox="674 853 755 886">1</td> <td data-bbox="755 853 870 886" style="text-align: center;">←</td> <td data-bbox="870 853 1043 886" style="text-align: center;">→</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 886 674 918">2 1/2</td> <td data-bbox="674 886 755 918">1 1/2</td> <td data-bbox="755 886 870 918" style="text-align: center;">Mitte</td> <td data-bbox="870 886 1043 918" style="text-align: center;">→</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 918 674 951">2</td> <td data-bbox="674 918 755 951">2</td> <td data-bbox="755 918 870 951" style="text-align: center;">→</td> <td data-bbox="870 918 1043 951" style="text-align: center;">→</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 951 674 983">1 1/2</td> <td data-bbox="674 951 755 983">2 1/2</td> <td data-bbox="755 951 870 983" style="text-align: center;">→</td> <td data-bbox="870 951 1043 983" style="text-align: center;">Mitte</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 983 674 1016">1</td> <td data-bbox="674 983 755 1016">3</td> <td data-bbox="755 983 870 1016" style="text-align: center;">→</td> <td data-bbox="870 983 1043 1016" style="text-align: center;">←</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 1016 674 1048">1/2</td> <td data-bbox="674 1016 755 1048">3 1/2</td> <td data-bbox="755 1016 870 1048" style="text-align: center;">Mitte</td> <td data-bbox="870 1016 1043 1048" style="text-align: center;">←</td> </tr> </tbody> </table> <p>Die Schalter Q1 und Q2 sind durch die Transistoren der Steuerschaltungen verwirklicht.</p>	Schritt-Nr., Reihenfolge		Vollschrittbetrieb				Halbschrittbetrieb zusätzl. rot		Linkslauf	Rechtslauf	Schalter Q1	Schalter Q2	0 $\Delta$ 4	0 $\Delta$ 4	←	←	3 1/2	1/2	←	Mitte	3	1	←	→	2 1/2	1 1/2	Mitte	→	2	2	→	→	1 1/2	2 1/2	→	Mitte	1	3	→	←	1/2	3 1/2	Mitte	←
Schritt-Nr., Reihenfolge		Vollschrittbetrieb																																											
		Halbschrittbetrieb zusätzl. rot																																											
Linkslauf	Rechtslauf	Schalter Q1	Schalter Q2																																										
0 $\Delta$ 4	0 $\Delta$ 4	←	←																																										
3 1/2	1/2	←	Mitte																																										
3	1	←	→																																										
2 1/2	1 1/2	Mitte	→																																										
2	2	→	→																																										
1 1/2	2 1/2	→	Mitte																																										
1	3	→	←																																										
1/2	3 1/2	Mitte	←																																										
 <p><b>Läufer mit Gleichpolprinzip für Schrittmotor mit kleinem Schrittwinkel</b></p>	<p><b>Bei Halbschrittbetrieb:</b></p> $\alpha = \frac{180^\circ}{2p \cdot m} \quad 1$ $z_u = 2 \cdot 2p \cdot m \quad 3$ $n = \frac{f_{sch}}{2 \cdot 2p \cdot m} \quad 5$ <p><b>Bei Vollschrittbetrieb:</b></p> $\alpha = \frac{360^\circ}{2p \cdot m} \quad 2$ $z_u = 2p \cdot m \quad 4$ $n = \frac{f_{sch}}{2p \cdot m} \quad 6$ <p>Durch eine elektronische Schaltung kann beim Halbschrittbetrieb die Phasenverschiebung in vier Teile geteilt werden, sodass der Vollschritt in acht Mikroschritte unterteilt wird (Mikroschrittbetrieb).</p> <p>2p Polzahl, <math>f_{sch}</math> Schrittfrequenz, m Strangzahl, n Drehzahl (Umdrehungsfrequenz), <math>z_u</math> Schrittzahl/Umdrehung, <math>\alpha</math> Schrittwinkel</p>																																												

# Anlassen von Kurzschlussläufermotoren Start-up of Squirrel-cage Motors

## Prinzip

Ursache	Bedingung	Follow-up						
 <p>Stromverlauf</p> <p>Diagramm des Stromverlaufs über die Zeit <math>t</math>. Es zeigt den Einschaltstrom (roter Bereich), der einen Anzugsstrom und einen Betriebsstrom aufweist, sowie die anschließende Sinuskurve des Betriebsstromes.</p>	<p><b>Anschluss an das öffentliche Niederspannungsnetz nach TAB</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Motorenart</th><th>Bedingung</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Einphasen-Wechselstrommotoren</td><td>Bemessungsleistung nicht über 1,7 kVA.</td></tr> <tr> <td>Drehstrommotoren</td><td>Anzugsstrom nicht über 60 A oder Bemessungsleistung bis 5,2 kVA bei gelegentlichem Schalten (bei 400 V Bemessungsstrom 7,5 A).</td></tr> </tbody> </table>	Motorenart	Bedingung	Einphasen-Wechselstrommotoren	Bemessungsleistung nicht über 1,7 kVA.	Drehstrommotoren	Anzugsstrom nicht über 60 A oder Bemessungsleistung bis 5,2 kVA bei gelegentlichem Schalten (bei 400 V Bemessungsstrom 7,5 A).	<p>Bei Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren mit einer Bemessungsleistung von mehr als 4 kW muss beim Einschalten die Spannung heruntergesetzt sein, damit der Einschaltstrom, der bis zum 10-Fachen des Bemessungsstromes betragen kann, begrenzt bleibt. Der Einschaltstrom sinkt im selben Verhältnis, wie die Spannung herabgesetzt wird. Dagegen sinkt das Drehmoment etwa quadratisch, bei halber Spannung also auf ein Viertel.</p>
Motorenart	Bedingung							
Einphasen-Wechselstrommotoren	Bemessungsleistung nicht über 1,7 kVA.							
Drehstrommotoren	Anzugsstrom nicht über 60 A oder Bemessungsleistung bis 5,2 kVA bei gelegentlichem Schalten (bei 400 V Bemessungsstrom 7,5 A).							

## Anlaufschaltungen

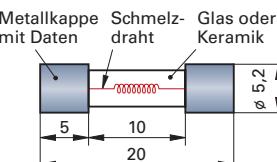
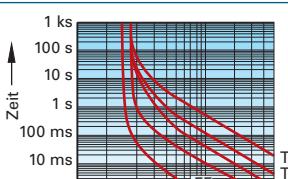
Schaltung	Erklärung	Bemerkungen
<b>Direktes Einschalten</b>	Einschalten z. B. mit Motorschalter oder Schützschaltung.	Am öffentlichen Netz bei Drehstrommotoren bis 4 kW möglich.
<b>Einschalten mit Stern-Dreieck-Schalter</b>	In der Sternschaltung beträgt der Einschaltstrom nur ein Drittel des Einschaltstroms wie in der Dreieckschaltung.	Am öffentlichen Netz für Bemessungsleistung bis 11 kW. (Anzugsstrom < 60 A)
 <p><b>Elektronischer Motorstarter</b></p> <p>Prinzipielle Schaltung eines elektronischen Motorstarters. Drei Phasen <math>L_1</math>, <math>L_2</math>, <math>L_3</math> führen zu einem Steuerteil (Mikrocomputer und Steuereinheit). Der Steuerteil steuert IGBTs, die die Motorwicklung <math>M</math> über einen Widerstand <math>R_1</math> an. Der Spannungsverlauf <math>U</math> über die Zeit <math>t</math> zeigt zwei Phasen: einen sanften Anlauf ohne Strombegrenzung und einen sanften Stopp.</p>	<p>Der <b>Steuerteil</b> enthält einen Mikrocomputer und eine Steuereinheit zur Erzeugung der Zündimpulse für die IGBTs oder Thyristoren.</p> <p>Elektronische Motorstarter erhöhen während der Anlaufzeit die Spannung an den Motorleitern von etwa 40 % auf 100 % der Bemessungsspannung <math>U_N</math> des Motors; meist mit Abschnittssteuerung.</p> <p>Elektronische Motorstarter sind zweiphasig (<b>Bild links</b>) ausgeführt (zwei Antiparallelschaltungen von IGBTs oder Thyristoren) oder einphasig oder dreiphasig. Immer muss ein Schalter mit Trennvermögen vorgeschaltet sein.</p>	 <p><b>Spannungsverlauf beim elektronischen Motorstarter</b></p> <p>Am öffentlichen Netz für Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren bis zu einer Bemessungsleistung von 11 kW.</p>
 <p><b>Schaltung mit Stempunktanlasser</b></p> <p>Prinzipielle Schaltung mit Stempunktanlasser. Drei Phasen <math>L_1</math>, <math>L_2</math>, <math>L_3</math> führen zu einem Stempunktanlasser (Symbol: Kreis mit einem Pfeil). Der Stempunktanlasser ist über einen Widerstand <math>R_1</math> mit der Motorwicklung <math>M</math> verbunden.</p>	<p>Herabsetzung der Spannung durch drei Drosselspulen, drei Wirkwiderstände oder einen Flüssigkeitsanlasser mit Elektrolyt. Bei Drehstrommotoren mit der Angabe Y 400 V kann am 400-V-Netz ein Sternpunktanlasser verwendet werden. Für Motoren bis 2 kW kann die Kusa-Schaltung (Kusa von Kurzschlussläufer-Sanftanlauf) mit nur einem Widerstand verwendet werden.</p>	 <p><b>Kusa-Schaltung</b></p>
 <p><b>Schaltung mit Anlauftransformator</b></p> <p>Prinzipielle Schaltung mit Anlauftransformator. Drei Phasen <math>L_1</math>, <math>L_2</math>, <math>L_3</math> führen zu einem Anlauftransformator (Symbol: Kreis mit einem Pfeil). Der Anlauftransformator ist über einen Widerstand <math>T_1</math> mit der Motorwicklung <math>M</math> verbunden.</p>	<p>Herabsetzung der Spannung durch einen stellbaren Drehstromtransformator, meist in Sternschaltung. Der Einschaltstrom aus dem Netz wird dabei herabgesetzt durch die kleinere Spannung und durch die Stromübersetzung des Transformators. Nimmt der Motor bei halber Netzzspannung z. B. 60 A auf, so nimmt der Transformator aus dem Netz nur etwa 30 A auf.</p>	<p>Mit Anlauftransformatoren können Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren bis zu einer Bemessungsleistung von 15 kW angelassen werden. Nachteilig beim Anlassen mit Transformatoren sind die hohen Anschaffungskosten. Deshalb werden Anlauftransformatoren vor allem bei Hochspannungsmotoren großer Leistung verwendet und sind sonst ziemlich selten.</p>

# Überlastschutz und Kurzschlusschutz von Leitungen

## Overload Protection and Short Circuit Protection of Conductors

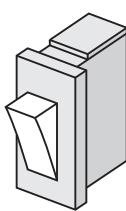
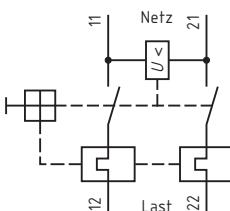
Art	Erklärung	Bemerkungen, Formeln						
<b>Überlastschutz</b>								
Bedingungen	<p><i>Bemessungsstromregel, Nennstromregel:</i> Bei Überlastung muss die Überstrom-Schutzeinrichtung ansprechen, bevor die Leitung unzulässig heiß wird. Auslösestrom <math>I_t</math> (t von tripping) oft auch <math>I_2</math>.</p>	$I_B \leq I_N \leq I_Z$ <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">1</span> $I_t \leq 1,45 \cdot I_Z$ <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">2</span> $I_Z \geq 0,69 \cdot I_t$ <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">2</span>						
Anwendung	Die Bedingungen sind erfüllt, wenn $I_N$ der Überstrom-Schutzeinrichtungen höchstens so groß ist wie $I_Z$ .	Dabei müssen Überstrom-Schutzeinrichtungen nach den VDE-Bestimmungen verwendet werden.						
Anordnung der Überstrom-Schutzeinrichtung	Grundsätzlich am Anfang des Stromkreises und dort, wo die Strombelastbarkeit verringert wird.	Versetzen der Überstrom-Schutzeinrichtungen zum Verbrauchsmittel hin ist zulässig, wenn der Schutz bestehen bleibt.						
Wegfall der Überstrom-Schutzeinrichtung	Soll erfolgen, wenn eine Abschaltung gefährlicher ist als Überlastung, z.B. bei Hubmagneten.	Darf erfolgen, wenn eine Überlastung ausscheidet, z.B. bei Hilfsstromkreisen.						
<b>Kurzschlusschutz</b>								
Normalfall	Schutz bei Kurzschluss (Ksch.) erfolgt zugleich durch den Überlastschutz am Stromkreisanfang. Die Leitungen dürfen nicht zu lang sein (Tabelle unten).	Einpoliger Ksch.: $I_k = \frac{U_0}{Z_S}$ <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">3</span> Dreipoliger Ksch.: $I_k = \frac{2 \cdot U_0}{Z_S}$ <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">4</span>						
Ausschaltzeit (höchstzulässige Erwärmungszeit bei Kurzschluss)	Bei sehr kurzen Ausschaltzeiten ist zu prüfen, ob der $I^2t$ -Wert (Herstellerangabe) genügt. $I^2t < (k \cdot A)^2$	$t \leq (k \cdot A / I_k)^2$ <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">5</span> Bei PVC: $k = 115 \cdot \sqrt{s} \text{ A/mm}^2$ bei Gummi: $k = 141 \cdot \sqrt{s} \text{ A/mm}^2$						
Anwendung	Die Ausschaltzeit ist nicht zu prüfen, wenn Leitungsschutzschalter (LS-Schalter) eingesetzt werden. LS-Schalter Typen B und C.	Bei Leiterquerschnitten $\geq 1,5 \text{ mm}^2$ Cu sind die Bedingungen erfüllt, wenn $I_N \leq 63 \text{ A}$ ist.						
Anordnung der Überstrom-Schutzeinrichtung	Am Anfang des Stromkreises und dort, wo Belastbarkeit verringert ist und der Kurzschlusschutz nicht ausreicht.	Versetzung bis 3 m ist zulässig, wenn die Leitung vor der Schutzeinrichtung kurzschlussicher ist.						
Wegfall der Überstrom-Schutzeinrichtung	Wie beim Überlastschutz, z.B. bei Sicherheitsbeleuchtungen, Erregerstromkreisen, Stromwandler-Sekundärkreisen.	Verzicht darf erfolgen, wenn Leitung kurzschlussicher und nicht in Nähe von brennbaren Stoffen ist.						
<b>Größte Leitungslängen von Kupferleitungen</b>								
vgl. DIN VDE 0100 Bbl. 5								
A in $\text{mm}^2$	$I_N$ in A	bei LS-Sch. B $I_{kmin}$ A	$Z_S = 300 \text{ m}\Omega, t \leq 5 \text{ s}$			$Z_S = 600 \text{ m}\Omega, t \leq 5 \text{ s}$		
			LS-Sch. B m	LS-Sch. C m	Sicherung gG	LS-Sch. B m	LS-Sch. C m	Sicherung gG
1,5	16 20	80 100	84 65	36 27	88 54	75 56	27 17	80 47
2,5	20 25	100 125	107 83	45 33	112 79	92 67	29 16	98 66
4	25 32	125 160	133 98	53 36	144 84	108 72	26 8	120 62
6	32 40	160 200	148 110	54 35	138 107	109 71	12 0	101 71
10	40 50	200 250	186 135	59 33	192 116	119 67	0 0	128 52
16	50	250	215	53	192	106	0	85
A Leiterquerschnitt		$I_{kmin}$ Mindest- $I_k$			$k$ Material-Koeffizient			
$I_t$ Auslösestrom der Überstrom-Schutzeinrichtung		$I_N$ Bemessungsstrom der Überstrom-Schutzeinrichtung			$t$ Ausschaltzeit			
$I_B$ Betriebsstrom		$I_Z$ Strombelastbarkeit der Leitung			$U_0$ Netz-Sternspannung			
$I_k$ Kurzschlussstrom					$Z_S$ Schleifenimpedanz vor der Schutzeinrichtung			

## Schmelzsicherungen, Feinsicherungen

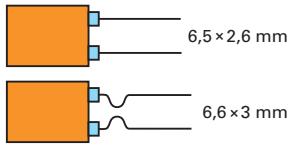
Ansicht, Kennlinie	Erklärung	Bemerkungen, Daten	
	Bei Überstrom schmilzt der Schmelzdraht bzw. Schmelzleiter und unterbricht den Stromkreis. Bei Nennströmen über etwa 500 mA ist der Körper (Glas oder Keramik) mit Sand gefüllt, damit der Lichtbogen gelöscht wird. Auf den Metallkappen stehen die Daten der Sicherung.	<b>Größte Ausschaltströme</b>	Typ H (High) AC 1550 A L (Low) AC $10 \cdot I_N$ , mindestens AC 35 A E (Extended) gegenüber L erhöht AC 150 A
	<b>Nennströme in mA:</b> 25 / 32 / 40 / 50 / 56 / 71 / 80 / 91 / 100 / 112 / 140 / 160 / 200 / 224 / 250 / 280 / 315 / 365 / 450 / 500 / 560 / 630 / 710 / 800 <b>Nennströme in A:</b> 1 / 1,12 / 1,25 / 1,4 / 1,6 / 1,8 / 2,5 / 3,15 / 4 / 5 / 6,3 / 8 Diese Nennströme sind nicht für jeden Sicherungstyp lieferbar. Die Einheit ist meist nicht angegeben, sondern aus der Zahl erkennbar.		
Sicherungstypen			Kennzeichnung Auslöseverhalten, $I_a$ FF superflink, $I_a = 3 \cdot I_N$ F flink, $I_a = 10 \cdot I_N$ M mittelträge, $I_a = 20 \cdot I_N$ T träge, $I_a = 30 \cdot I_N$ TT superträge, $I_a \approx 100 \cdot I_N$ $I_a$ Auslösestrom für Abschaltung innerhalb etwa 10 ms



## Geräteschutzschalter (GS-Schalter)

Ansicht, Name	Erklärung	Schaltung			
	GS-Schalter mit elektromagnetischer Auslösung schalten bei Überschreitung des Nennstromes sofort ab, solche mit thermischer Auslösung schalten je nach Überschreitung mehr oder weniger verzögert ab. Solche mit elektromagnetischer und thermischer Auslösung schalten entsprechend wie Leitungsschutzschalter. GS-Schalter mit Unterspannungsauslöser schalten bei Unterschreitung des unteren Grenzwertes der Nennspannung ab.				
GS-Schalter Typ STM		<b>GS-Schalter mit thermischem Auslöser und Unterspannungsauslöser</b>			
Typ	Bedeutung nach IEC 934	Typ	Bedeutung nach IEC 934	Typ	Bedeutung nach IEC 934
R	manuell nur Rückstellung	TO	nur thermische Auslösung	HM	elektromagnetische Auslösung, hydraulische Dämpfung
M	gelegentliche manuelle Schaltung	TM	Auslösung thermisch und elektromagnetisch	EH	elektronische Überstromerkennung und elektromagnetische Abschaltung
S	häufige manuelle Schaltung	MO	nur elektromagnetische Auslösung		

## Sonderformen von GS-Schaltern ohne galvanische Trennung

	<b>Limitor:</b> Bei Temperaturanstieg öffnet ein Kontakt. Oft für Abschalten der Stromversorgung verwendet. <b>Elektronische Sicherung:</b> PTC-Widerstand, schnelle Umschaltung in den hochohmigen Zustand.	Nennstrom typisch 5 A Größe 6,5 x 2,6 mm Abschaltvermögen 240 V maximale Spannung AC 60 V Haltestrom je nach Typ 0,05 A – 9 A max. Abschaltstrom typisch 40 A
---	---	--

Merkmal	Erklärung	Bemerkungen																														
SIS Safety Instrumented System	<p>Sicherheitstechnisches, sicherheitsbezogenes, sicherheitsgerichtetes System zum Verwirklichen von Sicherheitsfunktionen. Technische Anlagen, Maschinen werden damit überwacht und beim Erkennen definierter Gefahrensituationen abgeschaltet oder in einen sicheren Zustand überführt. Das SIS besteht aus</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensoren,</li> <li>• fehlersicherer Verarbeitungseinheiten und</li> <li>• Aktoren.</li> </ul> <p>Ein Restrisiko des Ausfalls der Sicherheitsfunktionen bleibt dennoch bestehen.</p>	<p><b>Möglichkeiten zur Risikoreduzierung</b></p>																														
SIL Safety Integrity Level	<p>Mit zunehmendem Gefahren-Risiko von Anlagen, Maschinen oder Anlagenteilen bei Ausfall von Sicherheitsfunktionen steigen die Anforderungen an die Fehlersicherheit des SIS. Man unterscheidet vier Sicherheitsstufen zum Beschreiben der Maßnahmen zur Risikobeherrschung, Safety Integrity Levels (SIL). Je höher der SIL-Zahlenwert ist, desto kleiner muss die Fehlerrate (Wahrscheinlichkeit) für einen Ausfall einer Sicherheitsfunktion sein.</p> <p><a href="http://www.pilz.com">www.pilz.com</a>; <a href="http://www.dke.de">www.dke.de</a></p>	<p>Die SIL-Werte 1 bis 4 (EN ISO 62001) finden Anwendung bei komplexen Anlagen, Maschinen mit SPS und Bussystemen für das Umsetzen von Sicherheitsfunktionen. Nicht elektrische Technologien (Hydraulik, Pneumatik, Mechanik) sind nicht abgedeckt. Anwendung der Performance-Level PL (EN ISO 13849-1) auch für diese Technologien. Beide Normen entsprechen einander mit weitgehend gleichem Ziel:</p> <table border="1"> <tr> <td>SIL</td><td>-</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr> <td>PL</td><td>a</td><td>b</td><td>c</td><td>d</td><td>e</td><td>-</td></tr> </table>	SIL	-	1	1	2	3	4	PL	a	b	c	d	e	-																
SIL	-	1	1	2	3	4																										
PL	a	b	c	d	e	-																										
SIL-Werte Ausfall-grenzwerte	<p>Unterschieden werden Ausfallgrenzwerte niedriger und höherer Anforderungen für Sicherheitsfunktionen (SIS), je nach deren Inanspruchnahme. Für SIS mit maximal einer Aktivierung im Jahr wird die zulässige Fehlerrate der Sicherheitsfunktion zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme angegeben. Beispiel: Prozessindustrie.</p> <p>Für Sicherheitsfunktionen, die sehr häufig (mehr-mals im Jahr) oder dauernd aktiv sind, wird die zulässige gefährliche Fehlerrate der Sicherheitsfunktion <math>PFH_d</math> bezogen auf eine Zeiteinheit, z.B. Stunde oder Jahr, angegeben.</p>	<p><b>Ausfallgrenzwerte bzgl. niederer Anforderung</b></p> <table border="1"> <tr> <td>SIL</td><td>PFD</td><td>max. akzept. Ausfall des SIS</td></tr> <tr> <td>1</td><td><math>\geq 10^{-2}</math> bis <math>&lt; 10^{-1}</math></td><td>1 gefährl. Ausfall in 10 J</td></tr> <tr> <td>2</td><td><math>\geq 10^{-3}</math> bis <math>&lt; 10^{-2}</math></td><td>1 gefährl. Ausfall in 10<sup>2</sup> J</td></tr> <tr> <td>3</td><td><math>\geq 10^{-4}</math> bis <math>&lt; 10^{-3}</math></td><td>1 gefährl. Ausfall in 10<sup>3</sup> J</td></tr> <tr> <td>4</td><td><math>\geq 10^{-5}</math> bis <math>&lt; 10^{-4}</math></td><td>1 gefährl. Ausfall in 10<sup>4</sup> J</td></tr> </table> <p><b>Ausfallgrenzwerte bzgl. hoher Anforderung</b></p> <table border="1"> <tr> <td>SIL</td><td>PFD<sub>d</sub></td><td>max. akzept. Ausfall des SIS</td></tr> <tr> <td>1</td><td><math>\geq 10^{-6}</math> bis <math>&lt; 10^{-5}</math></td><td>1 gefährl. Ausfall in 10<sup>5</sup> h</td></tr> <tr> <td>2</td><td><math>\geq 10^{-7}</math> bis <math>&lt; 10^{-6}</math></td><td>1 gefährl. Ausfall in 10<sup>6</sup> h</td></tr> <tr> <td>3</td><td><math>\geq 10^{-8}</math> bis <math>&lt; 10^{-7}</math></td><td>1 gefährl. Ausfall in 10<sup>7</sup> h</td></tr> <tr> <td>4</td><td><math>\geq 10^{-9}</math> bis <math>&lt; 10^{-8}</math></td><td>1 gefährl. Ausfall in 10<sup>8</sup> h</td></tr> </table>	SIL	PFD	max. akzept. Ausfall des SIS	1	$\geq 10^{-2}$ bis $< 10^{-1}$	1 gefährl. Ausfall in 10 J	2	$\geq 10^{-3}$ bis $< 10^{-2}$	1 gefährl. Ausfall in 10 <sup>2</sup> J	3	$\geq 10^{-4}$ bis $< 10^{-3}$	1 gefährl. Ausfall in 10 <sup>3</sup> J	4	$\geq 10^{-5}$ bis $< 10^{-4}$	1 gefährl. Ausfall in 10 <sup>4</sup> J	SIL	PFD <sub>d</sub>	max. akzept. Ausfall des SIS	1	$\geq 10^{-6}$ bis $< 10^{-5}$	1 gefährl. Ausfall in 10 <sup>5</sup> h	2	$\geq 10^{-7}$ bis $< 10^{-6}$	1 gefährl. Ausfall in 10 <sup>6</sup> h	3	$\geq 10^{-8}$ bis $< 10^{-7}$	1 gefährl. Ausfall in 10 <sup>7</sup> h	4	$\geq 10^{-9}$ bis $< 10^{-8}$	1 gefährl. Ausfall in 10 <sup>8</sup> h
SIL	PFD	max. akzept. Ausfall des SIS																														
1	$\geq 10^{-2}$ bis $< 10^{-1}$	1 gefährl. Ausfall in 10 J																														
2	$\geq 10^{-3}$ bis $< 10^{-2}$	1 gefährl. Ausfall in 10 <sup>2</sup> J																														
3	$\geq 10^{-4}$ bis $< 10^{-3}$	1 gefährl. Ausfall in 10 <sup>3</sup> J																														
4	$\geq 10^{-5}$ bis $< 10^{-4}$	1 gefährl. Ausfall in 10 <sup>4</sup> J																														
SIL	PFD <sub>d</sub>	max. akzept. Ausfall des SIS																														
1	$\geq 10^{-6}$ bis $< 10^{-5}$	1 gefährl. Ausfall in 10 <sup>5</sup> h																														
2	$\geq 10^{-7}$ bis $< 10^{-6}$	1 gefährl. Ausfall in 10 <sup>6</sup> h																														
3	$\geq 10^{-8}$ bis $< 10^{-7}$	1 gefährl. Ausfall in 10 <sup>7</sup> h																														
4	$\geq 10^{-9}$ bis $< 10^{-8}$	1 gefährl. Ausfall in 10 <sup>8</sup> h																														
PFD	Probability of a Failure on Demand, Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls einer Sicherheitsfunktion bei Anforderung (Aktivierung).	J Jahre, h Stunden																														
$PFH_d$	$PFH_d$ Probability of a dangerous failure per Hour, Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls einer Sicherheitsfunktion je Stunde. Ggf. Addition der Einzelwerte der Teilsysteme.	Die Ausfallwahrscheinlichkeit je Stunde kann in einer Betriebszeit bis zum Ausfall umgerechnet werden → $MTTF_d$ .																														
$MTTF_d$	Mean Time To a dangerous Failure. Mittlere Betriebszeit bis zum gefährlichen Ausfall einer Sicherheitsfunktion. Anwendung insbesondere bei PL.	<p><b>Betriebszeiten bis zum gefährlichen Ausfall</b></p> <table border="1"> <tr> <td><math>MTTF_d</math></td><td>Zeit</td></tr> <tr> <td>niedrig</td><td>3 Jahre bis 10 Jahre</td></tr> <tr> <td>mittel</td><td>10 Jahre bis 30 Jahre</td></tr> <tr> <td>hoch</td><td>30 Jahre bis 100 Jahre</td></tr> </table>	$MTTF_d$	Zeit	niedrig	3 Jahre bis 10 Jahre	mittel	10 Jahre bis 30 Jahre	hoch	30 Jahre bis 100 Jahre																						
$MTTF_d$	Zeit																															
niedrig	3 Jahre bis 10 Jahre																															
mittel	10 Jahre bis 30 Jahre																															
hoch	30 Jahre bis 100 Jahre																															
Diversität	Zum Erfüllen der Sicherheitsaufgabe mit hoher Zuverlässigkeit sind die Betriebsmittel derart redundant auszulegen, dass die Umsetzung mit ungleichartigen Mitteln erfolgt.	Eine Drehzahlüberwachung wird z.B. durch einen analogen Tachogenerator und einen digitalen Impulszähler verwirklicht.																														
Fehlerarten	Zu unterscheiden sind in einem SIS systematische und zufällige Fehler. Beide Fehlerarten sind zum Erfüllen eines SIL jeweils für sich zu betrachten.	Systematische Fehler sind schon bei der Auslieferung eines Gerätes vorhanden, z.B. Entwicklungsfehler bzgl. Software, Geräte-Auslegung. Zufällige Fehler treten zufällig während des Betriebes auf, z.B. ein Kurzschluss.																														
FMEA	Failure Mode Effect Analysis = Fehlermöglichkeiten- und Einflussanalyse. Methode zum systematischen Erfassen potenzieller Fehler und Ausfallzuständen von Anlagen-Komponenten.	Eine FMEA ist während der Konzeptionsphase einer Anlage durchzuführen.																														

A

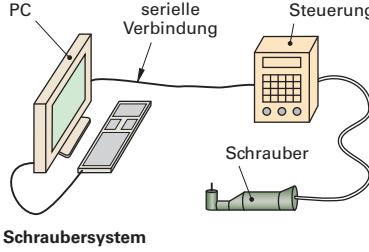
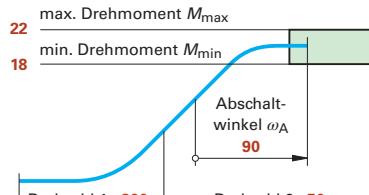
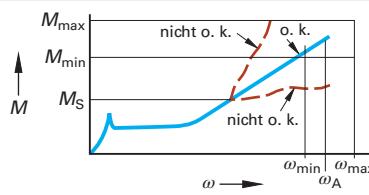
D

V

B

## Automatisierte Schraubersysteme

## Automated Wrench Systems

Begriff	Erklärung	Bemerkungen
Schrauberantrieb	<p>Der Antrieb eines Elektroschraubers erfolgt durch einen bürstenlosen Servomotor, der von einer Schraubersteuerung überwacht wird. Bei Erreichen z.B. des vorgegebenen Drehmomentes wird der Motor abgeschaltet.</p> <p>Wegen Linkslauf, Rechtslauf können Schrauben angezogen bzw. gelöst werden.</p> <p><a href="http://www.bosch-professional.com">www.bosch-professional.com</a>  <a href="http://www.synatec.de">www.synatec.de</a>  <a href="http://www.atlascopco.de">www.atlascopco.de</a></p>	<p>Momenthaltezeit, Drehmoment, Wiederanlaufzeit, Drehzahl und Drehrichtung werden von der Schraubersteuerung vorgegeben. Elektronische Schrauber kommen insbesonders dann zum Einsatz, wenn hohe Drehmomentgenauigkeit und Dokumentation der Verschraubung gefordert sind.</p> <p>Das Umsetzen der Motordrehzahlen in kleinere Schrauberdrehzahlen mit notwendigem Moment erfolgt über Planetengetriebe.</p>
Schraubersteuerung		
Auswertungen	<p>Die Steuerungen sind speziell für das Ansteuern der Antriebe der Schrauberspindeln ausgelegt. Über Schnittstellen sind IT-Geräte anschließbar. Daten für statistische Auswertungen werden gespeichert und z.B. an einen angeschlossenen PC wegen erforderlicher Nachweispflicht übertragen: Auftragsnummer, Anzugsdaten (Drehmoment, Drehwinkel), Datum.</p>	
Protokollierung	<p>Das Protokollieren der Schraubzyklen umfasst auch Meldungen zu überschrittenen Grenzwerten. Ein Schraubzyklus wird ggf. dann abgebrochen.</p>	 <p><b>Schraubersystem</b></p>
Schrauberprogrammierung		
Sollwerte, Grenzwerte	<p>Die Programmierung des Schraubers erfolgt an der Steuerung oder über einen daran angeschlossenen PC. Parameter für die Schrauberspindel sind einzugeben.</p> <p>Das Anziehen der Schrauben ist z.B. als drehmomentgesteuert, kraftgesteuert mit Drehwinkelkontrolle oder drehwinkelgesteuert mit Drehmomentkontrolle programmierbar.</p> <p>Hierbei werden Kraftmomente, Drehwinkel, Drehzahlen und zugehörige Grenzwerte programmiert (konfiguriert). Ferner ist die Anzahl der Verschraubungen programmierbar (Satzzählung).</p>	 <p><b>Programmierung Schraubprozess</b></p>
Schnittstellen		
Schraubersteuerung		
Anschluss, Schrauber	<p>Mittels Bus-Steckkarten sind Anbindungen über Ethernet, PROFIBUS, CAN-Bus möglich. Ferner sind die Schnittstellen V.24, USB, WLAN, Bluetooth verfügbar. Auch über digitale EA (Eingänge, Ausgänge, 0 V, 24 V) können z.B. bei angeschlossener SPS Ansteuersignale erzeugt und Rückmeldesignale geliefert werden.</p> <p>Der Schrauber ist mit Schraubsteuerung über Bluetooth, WLAN oder Anschlusskabel (inkl. Spannungsversorgung) verbunden.</p>	<p>Die Anbindung der Schraubersteuerung an einen PC erfolgt z.B. über Ethernet, WLAN.</p> <p>Mit den anderen Schnittstellen können z.B. Drucker oder Barcodescanner angeschlossen werden. Mittels Barcode kann das einem Auftrag zugeordnete Schrauberprogramm aktiviert werden.</p>
Messsensorik		
Drehmoment	<p>Das Messen des Drehmomentes erfolgt während des Schraubvorganges kontinuierlich direkt über eine Messbrücke aus Dehnungsmessstreifen, die an der rotierenden Welle angebracht sind, oder indirekt über den Motorstrom, der dem Drehmoment proportional ist (geringere Wiederholgenauigkeit).</p>	 <p><b>Drehwinkelgesteuertes Anziehverfahren mit Drehmomentüberwachung</b></p>
Drehwinkel	<p>Das Messen des Drehwinkels erfolgt über Resolver oder Inkremental-Geber.</p> <p><a href="http://www.ibes-electronic.de">www.ibes-electronic.de</a></p>	
Schrauber im Prozess		
Poka Yoke	<p>Schrauber werden in Montageprozessen eingesetzt. Abhängig von eingestellten Grenzwerten oder Anzahl durchzuführender Verschraubungen werden von der Schraubersteuerung Meldungen erzeugt, die von einem angeschlossenen Computer (PC, SPS) derart ausgewertet werden können, dass z.B. ein Montageband angehalten wird.</p>	<p>Das gezielte Reagieren auf Meldungen der Schraubersteuerung im Montageprozess wirkt sich auf die Produktqualität infolge Fehlervermeidung aus (Poka-Yoke-Prinzip).</p>

A

D

V

B