

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

Industrielle Entwicklungen und ihre Auswirkungen auf die Tätigkeiten des Mechanikers und der Mechanikerin 11

Prüftechnik, Qualitätsmanagement

HANDLUNGSFELD: Bauteile prüfen 14
1 Grundbegriffe der Prüftechnik 15
1.1 Bedeutung des Prüfens in der Fertigung 15
1.2 Subjektives und objektives Prüfen 15
1.3 Grundgrößen (Basisgrößen) und ihre Einheiten (Basis единиц) M 16
1.4 Formelzeichen 16
1.5 Prüfverfahren: Messen und Lehren 17
2 Prüfen von Längen 17
2.1 Maßsysteme und Einheiten 17
2.2 Höchstmaß – Mindestmaß – Toleranz M 18
2.3 Begriffe der Längenmesstechnik 19
2.4 Direkte Längenmessung 20
2.4.1 Messen mit Messschiebern 20
2.4.2 Messen mit Messschrauben 22
2.4.3 Messen mit Messuhren und Feinzeigern 24
2.5 Indirekte Längenmessung 25
2.5.1 Pneumatische Längenmessung 25
2.5.2 Elektrische Längenmessung 26
2.6 Endmaße und Lehren 27
2.6.1 Endmaße 27
2.6.2 Maßlehren 28
2.6.3 Grenzlehren 28
2.6.4 Formlehren 28
3 Prüfen von Winkeln 29
3.1 Messen von Winkeln 29
3.2 Lehren von Winkeln 30
4 Prüfen von Gewinden 31
4.1 Lehren von Gewinden 31
4.2 Messen von Gewinden 32
5 Prüfen der Rauheit von Oberflächen 33
5.1 Oberflächenkenngrößen 33
5.1.1 Rauheitskenngroße Rz 33
5.1.2 Rauheitskenngroße Ra 34
5.2 Verfahren zur Prüfung der Rauheit 34
5.2.1 Prüfen mit Tastschnitgeräten 34
5.2.2 Optische Rauheitsprüfung 34
5.3 Angabe der Oberflächenbeschaffenheit in Zeichnungen 35
5.4 Fertigungsverfahren und Oberflächenbeschaffenheit 35
6 Messabweichungen 36
6.1 Größe der Messabweichung 36
6.2 Arten von Messabweichungen M 36
6.3 Ursachen von Messabweichungen 36
7 Auswahl von Prüfverfahren und Prüfgeräten 38
8 Passungen und Prüfen von Passmaßen 39
8.1 Bedeutung der Passungen 39
8.2 Begriffe und Maße bei Passungen 39
8.3 ISO-Normen für Maß- und Passungsangaben 40
8.4 Einteilung der Passungen 42
8.5 Passungssysteme 43
8.6 Passungsnormen 43
8.7 Auswahl von Passungen 44
8.8 Lehren von Passmaßen 45
9 Form- und Lagetoleranzen und ihre Prüfung 46
9.1 Toleranzzone 46
9.2 Formtoleranzen 47
9.3 Lagetoleranzen 47
9.4 Messen von Form- und Lageabweichungen 49
9.4.1 Symbolische Darstellung von Prüfeinrichtungen 49
9.4.2 Messverfahren zum Messen von Form- und Lageabweichungen 49
10 Messmaschinen 52
10.1 Digitale Höhenmessung 52
10.2 Numerisch gesteuerte Messmaschinen 53
10.2.1 Aufbau und Funktion von CNC-Messmaschinen 53
10.2.2 Messaster und ihre Kalibrierung 55
10.2.3 Steuerung von Messabläufen 55

11 Qualitätsmanagement 56
11.1 Einleitung 56
11.2 Einflussgrößen auf Qualität 57
11.3 Qualitätssicherungsnormen 58
11.4 Qualitätssicherung in der Fertigung 59
11.5 Maschinen- und Prozessfähigkeit 60
11.5.1 Maschinenfähigkeit 60
11.5.2 Prozessfähigkeit 60
11.5.3 Prozessüberwachung 60
11.6 Statistische Auswertung von Messungen zur Untersuchung der Maschinen- und Prozessfähigkeit 62
11.6.1 Feststellen der Normalverteilung und der Prozessfähigkeit 62
11.6.2 Berechnung kritischer Fähigkeitsindizes 65
Fertigungstechnik
HANDLUNGSFELD: Werkstücke fertigen 66
1 Einteilung der Fertigungsverfahren 67
2 Vorbereitende Arbeiten zur Fertigung von Werkstücken 69
2.1 Anreißen 69
2.2 Körnen 70
3 Verfahren des Trennens 71
3.1 Grundbegriffe zum Zerteilen und Spanen 71
3.2 Keil als Werkzeugschneide 72
3.3 Kraft 72
3.3.1 Kräftezerlegung am Keil M 73
3.3.2 Keilwinkel zur Bearbeitung unterschiedlicher Werkstoffe 73
3.4 Zerteilen durch Scherschneiden 74
3.4.1 Scherschneiden 74
3.4.2 Ablauf des Scherschneidens 74
3.4.3 Scherenarten 75
4 Spanen von Hand und mit einfachen Maschinen 77
4.1 Sägen 78
4.2 Feilen 80
4.2.1 Bestandteile der Feile und Feilenformen 80
4.2.2 Gehauene Feilen 80
4.2.3 Gefräste Feilen 81
4.3 Bohren 82
4.3.1 Spiralbohrer 82
4.3.2 Bohrmaschinen 83
4.3.3 Spannen der Werkstücke beim Bohren 84
4.3.4 Sicherheitshinweise zum Bohren 84
4.3.5 Berechnung von Schnittdaten zum Bohren M 85
4.4 Entgraten und Senken 86
4.5 Gewindeschneiden 87
4.5.1 Aufbau und Maße von Gewinden 87
4.5.2 Herstellen von Innengewinden mit Handgewindebohrern 88
4.5.3 Herstellen von Außengewinden mit Schneidsteinen 89
4.6 Reiben 90
5 Grundlagen zur Fertigung mit Dreh-, Frä- und Schleifmaschinen 92
5.1 Technologische Grundbegriffe 92
5.1.1 Eingangsgrößen des Fertigungsprozess 92
5.1.2 Bestimmungsgrößen des Fertigungsprozesses 94
5.2 Schneidstoffe für maschinelles Spanen 95
5.2.1 Schnellarbeitsstähle 95
5.2.2 Hartmetalle 95
5.2.3 Keramische Schneidstoffe 97
5.3 Normung von Wendeschneidplatten 97
6 Fertigen durch Drehen mit mechanisch gesteuerten Werkzeugmaschinen 98
6.1 Leit- und Zugspindel-Drehmaschine 98
6.1.1 Energiefluss an einer Leit- und Zugspindel-Drehmaschine 99
6.1.2 Baugruppen des Werkzeugschlittens 99
6.1.3 Antriebe des Werkzeugschlittens 100
6.2 Einteilung und Benennung der Drehverfahren 101
6.3 Drehwerkzeuge 102
6.3.1 Drehmeißelgeometrie 102

Inhaltsverzeichnis

6.3.2	Einfluss der Winkel am Drehmeißel	103	12.1.1	Brennschneidvorgang.....	143
6.3.3	Bauarten von Drehmeißeln	104	12.1.2	Brennschneidverfahren.....	144
6.4	Spannen und Stützen der Werkstücke.....	105	12.1.3	Einstellung der Brennschneidgeräte.....	145
6.4.1	Spannen im Spannfutter	105	12.1.4	Brennschnitt.....	146
6.4.2	Spannen auf Planscheiben.....	106	12.2	Plasmaschneiden.....	147
6.4.3	Spannen in Spannzangen	107	12.2.1	Grundlagen.....	147
6.4.4	Spannen zwischen Zentrierrspitzen.....	107	12.2.2	Schneidvorgang und Einstellwerte	148
6.5	Spezielle Drehverfahren	107	12.3	Funkenerosives Abtragen	149
6.5.1	Kegeldrehen	107	12.4	Trennen mit Laserstrahlen	150
6.5.2	Gewindedrehen.....	108	12.4.1	Grundlagen.....	150
6.6	Einflussgrößen auf die Oberflächenbeschaffenheit beim Drehen	109	12.4.2	Einrichtungen und Verfahren zum Laserstrahl-trennen	151
6.7	Bestimmen von Arbeitsgrößen zum Drehen..... M	110	13	Fertigungsverfahren des Umformens	152
6.7.1	Wahl der Schnittgeschwindigkeit und Berechnung der Umdrehungsfrequenz	M 110	13.1	Umformen von Metallen durch Gießen.....	152
6.7.2	Berechnung der Hauptnutzungszeit	M 110	13.1.1	Arten von Formen.....	152
7	Fertigen durch Fräsen mit mechanisch gesteuerten Werkzeugmaschinen.....	111	13.1.2	Herstellen von Sandformen mithilfe von Modellen	153
7.1	Fräsmaschinen	111	13.1.3	Spezielle Formverfahren	155
7.2	Fräswerfahren	112	13.2	Umformverfahren für Kunststoffe	156
7.2.1	Einteilung der Fräswerfahren	112	13.3	Umformen durch Sintern	157
7.2.2	Vergleich von Gegenlauffräsen und Gleichlauf-fräsen	113	13.4	Additives Fertigen	157
7.3	Fräswerzeuge und ihr Einsatz	113	13.4.1	Verfahrensprinzip	157
7.3.1	Walzenstirnfräser	114	13.4.2	Datenaufbereitung zur additiven Fertigung	158
7.3.2	Plan- und Eckfräsköpfe	115	13.4.2.1	CAD-Modell	158
7.3.3	Schafffräser	116	13.4.2.2	CAD-Modell im STL-Format	158
7.3.4	Profilfräser	117	13.4.2.3	Slicen und Datenerzeugung im G-Code (DIN 66025)	159
7.4	Spannzeug für Werkzeuge auf Fräsmaschinen	118	13.4.3	Additive Fertigungsverfahren	160
7.4.1	Gestaltung der Schnittstelle zwischen Spannzeug und Arbeitsspindel	118	13.4.3.1	Maschinenaufbau	160
7.4.2	Gestaltung der Trennstelle zwischen Spannzeug und Werkzeug	119	13.4.3.2	Stereolithografie SL	160
7.4.3	Systeme zur Werkzeugeinstellung	120	13.4.3.3	Selektives Laserschmelzen	161
7.5	Positionieren und Spannen beim Fräsen	121	13.4.3.4	Schmelzsichtung FDM	162
7.5.1	Positionieren von Werkstückträgern und Werk-stücken	121	13.4.3.5	Übersicht über das Spektrum der additiven Fertigungsverfahren	162
7.5.2	Spannen von Werkstücken	122	13.4.4	Merkmale und Anwendungsfelder additiver Fertigungsverfahren	163
7.5.3	Stützen von Werkstücken	123	14	Fertigungsverfahren des Umformens	165
7.6	Teilen mit Teillapparaten	M 124	14.1	Einteilung der Umformverfahren	165
7.7	Bestimmen von Arbeitsgrößen beim Fräsen	M 126	14.2	Verhalten des Werkstoffs beim Umformen	166
7.7.1	Bewegungen bei der Spanabnahme	126	14.3	Biegen von Blechen und Röhren	168
7.7.2	Schnitttiefe und Eingriffsgrößen	127	14.3.1	Vorgänge beim Biegen	168
7.7.3	Berechnung der Hauptnutzungszeit beim Fräsen	M 128	14.3.2	Mindestbiegeradien	168
8	Fertigen durch Räumen	130	14.3.3	Biegen von Blechen	169
8.1	Innenräumen	130	14.3.4	Blechbedarf und Verschnitt	M 170
8.1.1	Innenräumen von symmetrischen Profilen	130	14.3.5	Biegen von Röhren	171
8.1.2	Innenräumen von nicht symmetrischen Profilen	131	14.3.6	Berechnung von gestreckten Längen	M 172
8.2	Außenräumen	131	14.4	Sicken, Bördeln, Falzen	173
9	Fertigen durch Schleifen	132	14.5	Tiefziehen	M 174
9.1	Schleifwerkzeuge	132	14.6	Schmieden	177
9.1.1	Aufbau und Eigenschaften der Schleifwerkzeuge	132	14.6.1	Vorgänge beim Schmieden	177
9.1.2	Form und Verwendungszweck von Schleifwerk-zeugen	134	14.6.2	Schmiedeverfahren	178
9.1.3	Zulässige Umfangsgeschwindigkeiten von Schleifscheiben	135	14.6.3	Berechnung von Schmiederohlängen	M 179
9.1.4	Bezeichnung genormter Schleifscheiben	135	14.7	Fließpressen	180
9.1.5	Aufspannen und Auswuchten von Schleifscheiben	136	14.8	Richten	181
9.1.6	Abrichten von Schleifkörpern	136	15	Fertigungsverfahren des Fügens	182
9.2	Arbeitsverfahren auf Schleifmaschinen	137	15.1	Grundbegriffe	182
9.3	Schnittbedingungen und Oberflächenbeschaffen-heit beim Schleifen	138	15.1.1	Einteilung der Fügeverfahren	182
9.4	Schleifmaschinen	138	15.1.2	Reibung	184
10	Fertigen durch Honen und Läppen	139	15.2	Fügen mit Gewinden	185
10.1	Honen	139	15.2.1	Gewinde	185
10.2	Läppen	140	15.2.2	Schrauben, Muttern und Sicherungen	M 189
11	Kühlschmierstoffe für spanabhebende Verfahren	141	15.2.3	Berechnung des Drehmoments zum Anziehen von Schrauben	M 191
11.1	Arten von Kühlschmierstoffen	141	15.3	Fügen mit Stiften und Bolzen	192
11.1.1	Nicht wasserlösliche Kühlschmierstoffe	141	15.3.1	Stifte	192
11.1.2	Wasserlösliche Kühlschmierstoffe	141	15.3.2	Bolzen	194
11.2	Gefahren beim Umgang mit Kühlschmierstoffen	142	15.4	Fügen mit Passfedern, Keilen und Profilformen	194
12	Fertigen durch Abtragen	143	15.4.1	Vergleich zwischen Passfeder- und Keilver-bindung	194
12.1	Autogenes Brennschneiden	143	15.4.2	Formen von Passfedern	195
			15.4.3	Formen von Keilen	195
			15.4.4	Fügen mit Profilformen	196
			15.5	Fügen mit Nieten	197
			15.5.1	Nietverbindungen	197
			15.5.2	Nietformen und Nietwerkstoffe	198
			15.6	Fügen durch Schweißen	199
			15.6.1	Gasschmelzschweißen, Kennziffer 311	201

Inhaltsverzeichnis

15.6.2	Lichtbogenschmelzschweißen.....	204	3.3.4.3	Nitrieren.....	271
15.6.2.1	Lichtbogenhandschweißen, Kennziffer 111	207	3.4	Einteilung, Normung und Verwendung von Stählen	271
15.6.2.2	Schutzgasschweißen	210	3.4.1	Einteilung von Stählen.....	271
15.6.2.3	Metallschutzgasschweißen (MSG), Kennziffer 13	211	3.4.2	Normung von Stählen.....	272
15.6.2.4	Wolframt-Inertgas-Schweißen (WIG), Kennziffer 141	214	3.4.2.1	Kurznamen von Stählen	272
15.6.3	Gefügeänderungen beim Metallschweißen	216	3.4.2.2	Werkstoffnummern von Stählen	275
15.6.4	Fehler beim Metallschweißen.....	216	3.4.3	Stahlsorten	276
15.6.5	Überblick über die Schweißverfahren zum Metall-schweißen	218	3.5	Eisen-Kohlenstoff-Gusswerkstoffe.....	277
15.6.6	Digitalisierung in der Schweißtechnik	219	3.5.1	Stahlguss	278
15.6.7	Arbeitsschutzzvorschriften beim Schweißen	221	3.5.2	Gusseisen.....	279
15.6.8	Kunststoffschweißen	222	3.5.2.1	Gefüge und Eigenschaften von Gusseisen	279
15.6.8.1	Warmgasschweißen	222	3.5.2.2	Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL)	279
15.6.8.2	Heizelementschweißen	224	3.5.2.3	Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS).....	280
15.7	Fügen durch Löten	225	3.5.3	Normbezeichnung von Fe-C-Gusswerkstoffen	281
15.7.1	Anwendung des Lötns.....	225	4	Nichteisenmetalle	282
15.7.2	Vorgänge beim Löten	225	4.1	Aluminium und Aluminiumlegierungen.....	282
15.7.3	Lötverfahren	227	4.1.1	Eigenschaften und Verwendung	282
15.7.4	Gestaltung von Lötverbindungen.....	228	4.1.2	Normbezeichnungen	283
15.7.5	Lote und Flussmittel	228	4.2	Kupfer und Kupferlegierungen	284
15.8	Fügen durch Kleben	230	4.2.1	Eigenschaften und Verwendung von Kupfer	284
15.8.1	Vor- und Nachteile von Klebeverbindungen	230	4.2.2	Kupferlegierungen	284
15.8.2	Vorgänge beim Kleben	231	5	Sinterwerkstoffe.....	286
15.8.3	Gestaltung von Klebeverbindungen	232	5.1	Sintermetalle	286
15.8.4	Übersicht über Klebstoffe	233	5.1.1	Arten, Eigenschaften und Verwendung	286
15.8.5	Schutzmaßnahmen beim Kleben	233	5.1.2	Normung	287
16	Arbeitssicherheit und Unfallschutz	234	5.2	Hartmetalle	287
16.1	Sicherheitskennzeichnung	234	5.2.1	Aufbau von Hartmetallen	287
16.2	Allgemeine Anforderungen zum sicherheits-gerechten Verhalten	235	5.2.2	Verwendung und Eigenschaften von Hartmetallen HW	288
16.3	Arbeitssicherheit beim Umgang mit Werkzeugen und Maschinen	235	5.3	Keramische Werkstoffe	289
16.4	Arbeitssicherheit beim Schweißen	237	5.3.1	Erzeugung keramischer Werkstücke	289
16.5	Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Kühlschmierstoffen	238	5.3.2	Eigenschaften und Verwendung keramischer Werkstoffe	290
16.6	Maßnahmen bei Unfällen	238	6	Verbundwerkstoffe	291
17	Umweltschutz.....	239	6.1	Einteilung	291
			6.2	Aufbau	291

Werkstofftechnik

HANDLUNGSFELD: Werkstoffe auswählen.....		240
1	Eigenschaften der Werkstoffe	241
1.1	Physikalische Eigenschaften	241
1.1.1	Mechanische Eigenschaften	241
1.1.2	Thermische Eigenschaften	244
1.2	Chemische Eigenschaften.....	245
1.3	Technologische Eigenschaften.....	245
2	Aufbau metallischer Werkstoffe	246
2.1	Chemische Elemente	246
2.2	Aufbau von reinen Metallen	248
2.2.1	Metallbindung	248
2.2.2	Schmelzverhalten von reinem Metall	248
2.2.3	Metallgefüge	250
2.2.4	Gittertypen	251
2.3	Legierungen	252
2.3.1	Legierungen mit Mischkristallen	253
2.3.2	Legierungen mit Kristallgemengen	255
3	Eisen und Stahl.....	258
3.1	Roheisen- und Stahlerzeugung	258
3.1.1	Roheisenerzeugung	258
3.1.2	Stahlerzeugung	258
3.1.3	Übersicht über die Wirkungen von Begleit- und Legierungselementen	260
3.2	Gefüge und Eigenschaften von Stahl	261
3.2.1	Kohlenstoffgehalt von Stahl	261
3.2.2	Gefügebestandteile	261
3.2.3	Eigenschaften der Stähle in Abhängigkeit vom Gefüge	263
3.3	Stoffeigenschaftändern von Stählen	264
3.3.1	Glühverfahren für unlegierte Stähle	264
3.3.2	Härten	265
3.3.3	Vergüten	268
3.3.4	Härten der Randschicht	269
3.3.4.1	Flamm- und Induktionshärten	269
3.3.4.2	Einsatzhärten	270
Maschinen- und Gerätetechnik		
HANDLUNGSFELD: Technische Systeme gestalten		309
1	Technische Systeme	310
1.1	Systemtechnische Grundlagen	310
1.2	Unterteilung innerhalb eines technischen Systems	311
1.3	Funktionen von Einrichtungen	312
1.4	Funktionen von Gruppen	312
2	Systeme zur Umsetzung von Energie, Stoff, Information	315
2.1	Systeme zum Energieumsatz	315

Inhaltsverzeichnis

2.1.1	Energie und Energieumsetzung	315	4.2.3	Berechnung von Passfedern.....	M	384	
2.1.1.1	Arbeit	M	315	4.2.4	Berechnung von Klebeverbindungen	M	385
2.1.1.2	Leistung	M	316	4.2.5	Berechnung von Lötverbindungen	M	385
2.1.1.3	Energie	M	317	5	Baugruppen und ihre Montage		386
2.1.1.4	Wirkungsgrad	M	318	5.1	Grundlagen.....		386
2.1.2	Technische Systeme zum Energieumsatz.....	319	5.1.1	Baugruppen und ihre Funktionen.....		386	
2.1.2.1	Kraftwerke	319	5.1.2	Gliederung des Montageprozesses		387	
2.1.2.2	Kraftmaschinen	319	5.1.3	Montagetätigkeiten.....		388	
2.2	Systeme zum Stoffumsatz	322	5.1.4	Fügen im Montageprozess		389	
2.2.1	Stoff und Stoffumsetzung.....	322	5.2	Fügen durch Schrauben.....		389	
2.2.1.1	Stoff	322	5.2.1	Schraubenverbindungen		389	
2.2.1.2	Stoffumsetzung	M	322	5.2.2	Kraftwirkungen in Schraubenverbindungen		390
2.2.2	Technische Systeme zur Stoffumsetzung	325	5.2.3	Berechnung der Vorspannkraft und des Anzugs- moments bei Schraubenverbindungen		391	
2.2.2.1	Werkzeugmaschinen.....	325	5.2.4	Schraubwerkzeuge.....		393	
2.2.2.2	Pumpen und Verdichter.....	326	5.2.5	Herstellung von Schraubenverbindungen		394	
2.3	Systeme zum Informationsumsatz	327	5.2.6	Schraubenverbindungen mit Passschrauben		396	
2.3.1	Information und Informationsumsetzung.....	327	5.3	Fügen durch An- und Einpressen.....		396	
2.3.1.1	Kommunikationssystem Mensch- Maschine	327	5.3.1	Fügen von Welle und Nabe		396	
2.3.1.2	Kommunikationssystem Maschine – Mensch.....	328	5.3.1.1	Klemmverbindungen		396	
2.3.1.3	Kommunikationssystem Maschine – Maschine.....	329	5.3.1.2	Kegelverbindungen		397	
2.3.2	Technische Systeme zum Informationsumsatz.....	330	5.3.1.3	Ringfeder-Spannverbindungen		397	
2.3.2.1	Informationsumsatz bei der industriellen Fertigung	330	5.3.1.4	Pressverbindungen		398	
2.3.2.2	Messsysteme	331	5.3.2	Wälzlagermontage		401	
2.3.2.3	Steuerungs- und Regelungssysteme	332	5.3.2.1	Bezeichnung von Wälzlagern		401	
2.3.2.4	Identifikationssysteme	333	5.3.2.2	Einbau von Lagern mit zylindrischer Bohrung		402	
2.3.2.5	IT-Sicherheit	335	5.3.2.3	Einbau von Lagern mit kegeliger Bohrung		403	
2.3.3	3D-CAD-Systeme	337	5.4	Fügen durch Schweißen		405	
2.3.3.1	3D-CAD-Technik.....	337	5.4.1	Verzug durch Schweißspannungen.....		405	
2.3.3.2	Konstruieren mit 3D-CAD-Programmen	338	5.4.2	Nachbehandlung geschweißter Bauteile		406	
2.3.3.3	Abspeichern und Weiterleiten von 3D-Konstruk- tionen.....	340	5.4.3	Schweißtechnische Fertigungsunterlagen		407	
3	Funktionseinheiten des Maschinenbaus	341	5.5	Prüfen in Montageprozessen		408	
3.1	Einteilung der Funktionseinheiten	341	5.5.1	Statische Prüfungen		408	
3.2	Funktionseinheiten zum Stützen und Tragen.....	M	5.5.2	Dynamische Prüfungen		410	
3.2.1	Lager	343	5.5.3	Auswahl von Prüfsystemen		410	
3.2.1.1	Gleitlager	343	5.5.3.1	Abnahmeprüfungen von Maschinen		411	
3.2.1.2	Wälzlager	347	5.5.3.2	Prüfungen in der maschinellen Montage		412	
3.2.1.3	Gegenüberstellung von Gleit- und Wälzlagern	351	5.6	Handhaben in Montageprozessen		414	
3.2.2	Gerafführungen	351	5.6.1	Funktionsbereiche des Handhabens		414	
3.2.2.1	Gleitführungen	351	5.6.1.2	Handhabungsfunktionen zum Bewegen		415	
3.2.2.2	Wälzführungen	352	5.6.1.3	Handhabungsfunktionen zum Verändern der Menge		416	
3.2.3	Achsen	M	5.6.1.4	Handhabungsfunktionen zum Speichern		417	
3.3	Elemente und Gruppen zur Energieübertragung	354	5.6.1.5	Handhabungsfunktionen zum Kontrollieren		417	
3.3.1	Wellen	354	5.6.2	Handhabungseinrichtungen		418	
3.3.2	Kupplungen	M	5.7	Sonderaktivitäten im Montageprozess		420	
3.3.2.1	Aufgaben und Einteilung von Kupplungen	357	5.7.1	Justieren		420	
3.3.2.2	Nicht schaltbare Kupplungen	357	5.7.1.1	Arten der Justage		420	
3.3.2.3	Schaltbare Kupplungen	359	5.7.1.2	Durchführung der Justage		422	
3.3.3	Getriebe und ihre Einteilung	362	5.7.2	Auswuchten		424	
3.3.4	Berechnungsgrundlagen für Getriebe	M	5.7.2.1	Arten der Unwucht		424	
3.3.5	Zugmittelgetriebe	366	5.7.2.2	Statisches Auswuchten		424	
3.3.5.1	Kraftschlüssige Riemengetriebe	366	5.7.2.3	Dynamisches Auswuchten		425	
3.3.5.2	Formschlüssige Riemengetriebe	367	5.7.2.4	Auswuchten auf Auswuchtmaschinen		425	
3.3.5.3	Kettengetriebe	367	5.8	Gestaltung von Montageplätzen und Montage- stationen		426	
3.3.5.4	Vergleich der Zugmittelgetriebe	368	5.8.1	Ergonomische Gestaltung von Montageplätzen		426	
3.3.6	Zahnradgetriebe	M	5.8.2	Betrieblicher Arbeitsschutz		428	
3.3.6.1	Zahnradmaße und ihre Berechnung	368	6	Fertigungssysteme		430	
3.3.6.2	Zahnflankenformen	369	6.1	Einteilung von Fertigungssystemen		430	
3.3.6.3	Formen von Zahnradgetrieben	371	6.1.1	Bearbeitungszentren		431	
3.3.6.4	Verstellbare Zahnradstufengetriebe	375	6.1.2	Flexible Fertigungszellen		431	
3.3.7	Stufenlos verstellbare mechanische Getriebe	375	6.1.3	Flexible Fertigungssysteme		432	
3.3.7.1	Reibradgetriebe	375	6.1.4	Transferstraßen		432	
3.3.7.2	Umschaltungsgetriebe	376	6.2	Flexible Fertigungssysteme		433	
3.3.7.3	Kugelscheibengetriebe	376	6.2.1	Aufbau flexibler Fertigungssysteme		433	
4	Festigkeitsberechnungen von Bauelementen	M	6.2.2	Handhabungssysteme		434	
4.1	Grundlagen zur Festigkeitsberechnung	377	6.2.2.1	Werkzeughandhabungssysteme		434	
4.1.1	Beanspruchungsarten	377	6.2.2.2	Werkstückhandhabungssysteme		434	
4.1.2	Belastungsarten – Belastungsfälle	377	6.2.2.3	Programmierung von Handhabungssystemen		435	
4.1.3	Zugbeanspruchung	M	378	6.2.3	Transportsysteme		436
4.1.4	Druckbeanspruchung	M	379	6.2.4	Überwachungssysteme		437
4.1.5	Scherbeanspruchung	M	380	6.2.4.1	Systeme zur Produktsteuerung		437
4.2	Berechnungen von Verbindungselementen	M	381	6.2.4.2	Systeme zur Maschinenüberwachung		437
4.2.1	Berechnung von Schrauben	M	381	6.2.4.3	Systeme zur Qualitätssicherung		437
4.2.2	Berechnung von Stiften	M	383				

Inhaltsverzeichnis

Instandhaltung – Wartungstechnik	
HANDLUNGSFELD: Wartungsmaßnahmen durchführen 438	
1	Grundlagen der Instandhaltung 439
1.1	Aufgaben der Instandhaltung 439
1.2	Abnutzung und Abnutzungsvorrat 439
1.3	Ursachen der begrenzten Nutzungsdauer 440
1.4	Grundmaßnahmen der Instandhaltung 441
1.5	Vorgehen bei Instandhaltungsmaßnahmen 441
1.5.1	Korrektive Instandhaltung 442
1.5.2	Präventive Instandhaltung 442
2	Systembeurteilung durch Inspektion 443
2.1	Inspektionsintervalle 443
2.2	Inspektion durch Sinneswahrnehmung 443
2.3	Inspektion auf der Grundlage von Messdaten 444
2.3.1	Diagnose auf Basis der Betriebsdaten 444
2.3.2	Spezielle Diagnoseverfahren 445
2.4	Condition Monitoring – kontinuierliche Zustandsüberwachung 446
3	Instandhaltung durch Wartung 449
3.1	Übersicht über Wartungsarbeiten 449
3.2	Säubern und Konservieren 450
3.3	Schmieren 451
3.4	Wartung durch Ergänzen und Nachstellen 453
3.5	Wartungs- und Inspektionspläne 454
4	Instandsetzen 455
4.1	Instandsetzen mechanischer Baugruppen nach einer Störung 455
4.1.1	Maßnahmen unmittelbar nach einer Störung 455
4.1.2	Störungsdiagnose 455
4.1.3	Störungsbehebung 456
4.1.4	Zusammenbau, Einbau und Einstellen 458
4.1.5	Prüfung, Probelauf, Abnahme und Freigabe 459
4.2	Vorausbestimmtes und zustandsorientiertes Instandsetzen 459
4.3	Fernüberwachung und Instandsetzung 460
5	Instandhaltung durch Verbesserung 461
5.1	Erhöhung der Zuverlässigkeit 461
5.2	Verbesserung von Dokumentation und Ersatzteilplanung 461
5.3	Verbesserung des Arbeitsplatzes und der Arbeitssicherheit 462
5.4	Verbesserung durch Verringerung der Umweltbelastung 462
6	Maschinenschaden durch mechanische Beanspruchung 463
6.1	Verschleiß 463
6.1.1	Einflussgrößen auf Verschleiß 463
6.1.2	Verschleißmechanismen 464
6.1.3	Verschleißarten 465
6.1.4	Verschleiß beim Gleiten, Rollen und Wälzen 466
6.1.5	Verschleiß durch strömende Medien 467
6.2	Maschinenbruch 468
6.2.1	Gewaltbruch 468
6.2.2	Dauerbruch 469
7	Maschinenschaden durch Korrosion 471
7.1	Korrosion 471
7.1.1	Chemische Korrosion 471
7.1.2	Elektrochemische Korrosion 471
7.2	Korrosionsschutz 473
7.2.1	Korrosionsschutz bei chemischer Korrosion 473
7.2.2	Korrosionsschutz bei elektrochemischer Korrosion 473
8	Hilfsstoffe für die Instandhaltung 474
8.1	Schmierstoffe 474
8.1.1	Schmieröle 474
8.1.1.1	Schmieröleigenschaften 474
8.1.1.2	Erzeugung und Aufbau von Schmierölen 476
8.1.1.3	Untersuchung des Ölzustands im Rahmen der Instandhaltung 477
8.1.2	Schmierfette 478
8.1.3	Festschmierstoffe 479
8.1.4	Kennzeichnung von Schmierstoffen 479
8.1.5	Entsorgung von Schmier- und Kühlshmierstoffen 480
8.2	Reinigungsmittel 481
8.2.1	Arten von Reinigungsmitteln 481
8.2.2	Verstärken der Reinigungswirkung durch Ultraschall 483
8.2.3	Sicherheitshinweise zum Umgang mit Reinigungsmitteln 483
9	Instandhaltung von Anlagen in der Steuerungstechnik 483
siehe Steuerungstechnik ab Seite 620	
Grundlagen der CNC-Technik	
HANDLUNGSFELD: Werkstücke mit CNC-Maschinen fertigen 485	
1	CNC-Werkzeugmaschinen 486
1.1	Datenfluss in CNC-Maschinen 486
1.2	Lageregelung an CNC-Maschinen 487
1.3	Bahnsteuerungen an CNC-Maschinen 488
2	Grundlagen zur manuellen Programmierung 489
2.1	Arbeitsablauf beim manuellen Programmieren 489
2.2	Koordinatensystem 490
2.3	Wahl des Werkstücknullpunkts 491
2.4	Bemaßungsarten für die Programmierung 491
2.4.1	Absolutbemaßung 491
2.4.2	Inkrementalbemaßung 492
2.4.3	Polarkoordinatenbemaßung 492
2.5	Programmierung von Bahnbewegungen 493
2.5.1	Bearbeitungsrichtung 493
2.5.2	Bewegungen im Eilgang 493
2.5.3	Geradlinige Arbeitsbewegungen 493
2.5.4	Kreisförmige Arbeitsbewegungen 494
2.6	Programmierung von Schaltinformationen 496
2.6.1	Programmierung von Technologiedaten 496
2.6.2	Programmierung von Werkzeugeinsatz und Zusatzfunktionen 496
2.7	Zusammenstellung von Programmdateien zu Sätzen 497
3	Programmieren zur Fertigung von Drehteilen 498
3.1	Programmieren von Weginformationen beim Drehen 498
3.1.1	Koordinatensysteme an CNC-Drehmaschinen 498
3.1.2	Nullpunkte und Bezugspunkte 498
3.1.3	Drehteile mit geradliniger Kontur 499
3.1.4	Drehteile mit kreisförmigen Konturanteilen 500
3.2	Programmierhilfen beim Drehen 501
3.2.1	Zyklen beim Drehen 501
3.2.1.1	Konturschruppsyklen 501
3.2.1.2	Freistichzyklen 503
3.2.1.3	Gewindezyklen 503
3.2.1.4	Programmabschnittwiederholungen 505
3.2.2	Unterprogramme beim Drehen 505
3.2.2.1	Unterprogramme mit festen Zahlenwerten 505
3.2.2.2	Unterprogramme mit Parametertechnik 506
3.2.2.3	Einsatz von Unterprogrammen 506
3.2.2.4	Werkzeuge und Werkzeugmaße beim Drehen 508
3.3	Aufbau von Drehwerkzeugen 508
3.3.1	Werkzeugmaße 508
3.3.2	Schneidenradiuskompensation 510
4	Programmieren zur Fertigung von Frästeilen 511
4.1	Programmieren von Weginformationen beim Fräsen 511
4.1.1	Achsrichtungen bei Fräsarbeiten 511
4.1.2	Maschinennullpunkt und Referenzpunkt 512
4.1.3	Werkstücknullpunktlagen 512
4.1.4	Werkzeugbahnnkorrekturen 513
4.2	Programmierhilfen beim Fräsen 514
4.2.1	Zyklen beim Fräsen 514
4.2.2	Zyklenaufrufe auf verschiedenen Startpositionen 517
4.2.3	Manipulation von Programmteilen 519
4.2.4	Unterprogramme beim Fräsen 520
4.2.5	Einbau von Unterprogrammen und Zyklen in Hauptprogramme 520
4.3	Programmierung von Werkzeugmaßen und Schnittdaten 521
4.3.1	Werkzeugmaße 521
4.3.2	Programmieren von Schnittdaten 521
5	Werkstattorientierte Programmierung (WOP) 522

Inhaltsverzeichnis

6	Bedienfeld von CNC-Maschinen	524	3.2.6	Verknüpfungs- und Ablaufsteuerungen in der Elektropneumatik.....	578
7	Werkstückspannsysteme	526	3.3	Installieren und Inbetriebnehmen elektro-pneumatischer Steuerungen.....	580
7.1	Paletten als Spannsystemträger	527	3.3.1	Installieren einer elektropneumatischen Steuerung	580
7.2	Rasterspannsysteme nach dem Baukastenprinzip..	527	3.3.2	Inbetriebnehmen einer elektropneumatischen Steuerung mit Dokumentation	587
7.3	Planung der Aufspannung.....	528	3.4	Kennzeichnung von Bauelementen nach DIN ISO 1219 und DIN EN 81346-2	589
8	Werkzeugüberwachungssysteme	529	3.4.1	Grundlegende Vereinbarungen	589
Steuerungstechnik					
HANDLUNGSFELD: Entwickeln von Steuerungen 530					
1	Grundlagen für pneumatische und hydraulische Steuerungen	531	3.4.2	Darstellung der DIN EN 81346-2 an einem Beispiel..	590
1.1	Physikalische Grundlagen	531	4	Hydraulik	592
1.1.1	Druck.....	M 531	4.1	Leistungsumwandlung und Leistungsübertragung in der Hydraulik.....	592
1.1.2	Kolbenkraft.....	M 533	4.2	Physikalische Grundlagen	593
1.2	Grafische Symbole und Schaltpläne in der Fluidtechnik.....	534	4.2.1	Druck.....	M 593
1.2.1	Zeichnerische Darstellung von Wegeventilen	534	4.2.2	Volumenstrom.....	M 593
1.2.2	Kennzeichnung der Anschlüsse von Ventilen	535	4.2.3	Hydraulische Leistung	593
1.2.3	Schaltpläne in der Fluidtechnik (DIN ISO 1219-2)....	535	4.2.4	Durchflussgesetz.....	M 594
1.2.4	Grafische Symbole in der Fluidtechnik (DIN ISO 1219-1).....	537	4.2.5	Strömung von Flüssigkeiten.....	M 595
2	Pneumatik	540	4.2.6	Kavitation	595
2.1	Einheiten zur Bereitstellung der Druckluft	540	4.2.7	Viskosität	596
2.1.1	Verdichter (Kompressoren).....	M 540	4.2.8	Wirkungsgrad	596
2.1.2	Druckluft und Luftfeuchtigkeit	541	4.3	Messtechnische Grundlagen	597
2.1.3	Druckluftverteilung.....	542	4.3.1	Genauigkeitsklassen von Messgeräten	597
2.1.4	Aufbereitung der Druckluft.....	542	4.3.2	Messen des Drucks	598
2.2	Arbeitseinheiten in der Pneumatik	543	4.3.3	Messen des Volumenstroms	598
2.2.1	Aufbau von Pneumatikzylindern.....	543	4.3.4	Anordnung von Messstellen	599
2.2.2	Dämpfung in Zylindern	544	4.3.5	Volumenstrom-Druck-Diagramm (q , p -Diagramm) M	600
2.2.3	Befestigungsarten von Zylindern	544	4.4	Aufbau und Wirkungsweise einer Hydraulikanlage..	601
2.2.4	Kriterien für die Auswahl von Pneumatikzylindern..	545	4.4.1	Aufbau einer Hydraulikanlage	601
2.2.5	Sonderformen von Pneumatikzylindern	545	4.4.2	Vergleich zwischen Pneumatik- und Hydraulik-anlagen	602
2.3	Einheiten zum Steuern der Druckluft	546	4.4.3	Hydraulikanlage als technisches System	602
2.3.1	Bauformen pneumatischer Wegeventile	546	4.5	Teilsystem zur Leistungswandlung und Leistungs-bereitstellung (Antriebsaggregat)	603
2.3.1.1	Vorsteuerung von Ventilen	547	4.5.1	Hydropumpen	603
2.3.1.2	Betätigungsarten an pneumatischen Wegeventilen	548	4.5.1.1	Zahnradpumpen	603
2.3.1.3	Kriterien für die Auswahl pneumatischer Wegeventile	549	4.5.1.2	Flügelzellenpumpen	604
2.3.2	Bauformen pneumatischer Sperrventile, Stromventile und Druckventile	550	4.5.1.3	Kolbenpumpen	604
2.4	Pneumatische Steuerungen	551	4.5.2	Druckbegrenzungsventil	605
2.4.1	Grundschaltungen	551	4.5.3	Druckflüssigkeitsbehälter	606
2.4.2	Grundsteuerungen	552	4.5.4	Druckflüssigkeiten	607
2.4.3	Steuerungsplanung	554	4.5.5	Filter	608
2.4.3.1	Aufgabenstellung und Technologieschema	554	4.5.6	Hydrospeicher	609
2.4.3.2	Funktionsdiagramme und Signallinien	554	4.6	Teilsystem zur Leistungsübertragung	609
2.4.3.3	Signalverarbeitung in Steuerungen	558	4.6.1	Leitungen und Verbindungen	609
2.4.4	Pneumatische Verknüpfungssteuerungen	559	4.6.2	Wegeventile	611
2.4.4.1	UND-Verknüpfung	559	4.6.3	Sperrventile	612
2.4.4.2	ODER-Verknüpfung; NICHT-Verknüpfung	559	4.6.4	Druckventile	612
2.4.4.3	Steuerung mit Zeitglied	560	4.6.5	Stromventile	613
2.4.4.4	Steuerung mit Zweihand-Betätigung	562	4.7	Teilsystem zur Leistungswandlung (Motorgruppe) ..	615
2.4.5	Pneumatische Ablaufsteuerungen	563	4.7.1	Hydraulikzylinder (Linearmotor)	615
2.4.5.1	Signalüberschneidung	563	4.7.2	Hydraulikmotoren	616
2.4.5.2	Signalabschaltung	564	4.8	Grundsteuerungen in der Hydraulik	617
2.5	Zeichnen und simulieren pneumatischer Steuerungen am PC	566	4.8.1	Richtungssteuerung durch Wegeventile	617
3	Elektropneumatik	569	4.8.2	Geschwindigkeitssteuerung	618
3.1	Bauteile in elektropneumatischen Anlagen	569	4.8.3	Eilgang-Vorschub-Steuerung	619
3.1.1	Magnetventile	569	5	Inbetriebnahme, Wartung und Fehlersuche bei Steuerungen	620
3.1.2	Druckschalter	570	5.1	Inbetriebnahme von Steuerungen	620
3.1.3	Schutzbeschaltung	571	5.1.1	Elektropneumatische Anlagen in Betrieb nehmen	620
3.1.4	Schutzarten	571	5.1.2	Hydraulische Anlagen in Betrieb nehmen	621
3.1.5	Auswahlkriterien für Magnetventile	572	5.2	Wartung von Steuerungen	621
3.1.6	Grenztaster	572	5.2.1	Wartung im Bereich der pneumatischen Druck-versorgung	621
3.1.7	Schütz und Relais	573	5.2.2	Wartung pneumatischer Leitungssysteme	622
3.1.8	Anschlusskennzeichen an Relais	573	5.2.3	Wartung hydraulischer Anlagen	622
3.1.9	Schaltzeichen für elektrische Bauteile	573	5.2.4	Wartung von Bauelementen in Steuerungen	623
3.2	Elektropneumatische Steuerungen	574	5.3	Fehlersuche in Steuerungen	624
3.2.1	Pneumatikschaltplan und Stromlaufplan	574	5.3.1	Maßnahmen zur Vereinfachung der Fehlersuche	625
3.2.2	Reihen- und Parallelschaltung	575	5.3.2	Fehlersuche mithilfe von Fehlerursachen-Tabellen	625
3.2.3	Ansteuerung von Wegeventilen	575	5.3.3	Fehlersuche mithilfe von Ablaufplänen	626
3.2.4	Wegabhängige Steuerungen	576	6	Regelungstechnik	627
3.2.5	Weg- und zeitabhängige Steuerungen	577	6.1	Unterscheidung: Steuern – Regeln	627

Inhaltsverzeichnis

6.2	Funktionseinheiten und Größen im Regelkreis	628	2.3.2	Analog-digitale Umsetzung	676
6.3	Arten von Reglern.....	629	2.3.3	Signalübertragung	677
6.3.1	Unstetige Regler.....	629	3	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS).....	678
6.3.2	Stetige Regler	630	3.1	Steuerungstechnische Grundlagen.....	678
<hr/> Elektrotechnik <hr/>					
HANDLUNGSFELD: Messungen in elektrisch gesteuerten Anlagen durchführen..... 631					
1	Wirkungen und Einsätze elektrischer Energie.....	632	3.1.1	Merkmale von VPS und SPS.....	678
2	Physikalische Grundlagen.....	633	3.1.2	Logikpläne von Steuerungen	679
2.1	Elektrische Ladung.....	633	3.2	GRAFCET (Funktionsplan).....	680
2.2	Strom	634	3.2.1	Aufbau eines GRAFCET-Plans	680
2.3	Spannung	634	3.2.2	Struktur eines GRAFCET-Plans	681
2.4	Stromkreis	635	3.2.3	Wirkungssteil eines GRAFCET-Plans	682
2.5	Messung von Stromstärke und Spannung.....	636	3.2.4	GRAFCET-Plan für eine Ablaufsteuerung	684
2.6	Leiter und Nichtleiter	636	3.3	Gerätetechnischer Aufbau der SPS	686
2.7	Elektrischer Widerstand.....	M 637	3.3.1	Programmiergeräte.....	686
2.8	Ohmsches Gesetz	M 638	3.3.2	Programmspeicher	687
3	Grundschaltungen 639		3.3.3	Automatisierungsgerät	687
3.1	Reihenschaltung	M 639	3.4	Arbeitsweise der SPS	688
3.2	Parallelschaltung	M 639	3.5	Programmieren von speicherprogrammierbaren Steuerungen.....	690
4	Schaltzeichen für elektrische Bauelemente und Schaltpläne..... 640		3.5.1	Anweisungsliste (AWL).....	690
4.1	Bauteile in der Elektrotechnik.....	640	3.5.2	Kontaktplan (KOP) und Funktionsplan (FUP).....	692
4.2	Elektrische Schaltpläne	640	3.5.3	Grundverknüpfungen in der SPS	693
4.3	Auswahl genormter Schaltzeichen.....	641	3.5.4	Kombinierte Verknüpfungen in der SPS	694
5	Maßnahmen zur Unfallverhütung 642		3.5.5	Ablaufsteuerungen in der SPS.....	696
5.1	Leitungs- und Geräteschutzeinrichtungen	643	3.6	Beispiel für die Steuerung einer Bohrvorrichtung.....	698
5.2	Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Körperströme	644	4	Industrieroboter..... 701	
5.3	Kennzeichnung elektrischer Geräte	645	4.1	Einrichtungen von Industrierobotern	701
6	Elektrische Antriebstechnik 646		4.2	Bauarten von Industrierobotern	702
6.1	Prinzip des Elektromotors	646	4.3	Effektoren	703
6.2	Aufbau und Wirkungsweise von Gleichstrom-motoren	647	4.4	Kriterien für den Einsatz von Industrierobotern	703
6.3	Wechselstrom- und Drehstrommotoren	648	4.5	Programmierung von Industrierobotern	704
6.3.1	Drehstrommotoren	649	4.5.1	Grundbestandteile von Roboterprogrammen.....	704
6.3.2	Wechselstrommotoren	653	4.5.2	Programmierungsverfahren.....	705
6.3.3	Linearmotoren	654	4.5.3	Steuerung von Industrierobotern	706
6.4	Kenngrößen von Elektromotoren	655	4.5.4	Planung einer Programmerstellung	708
<hr/> Digitale Automatisierung <hr/>					
HANDLUNGSFELD: Prozessautomatisierung planen 656					
1	Entwicklung zur digitalen Automatisierung..... 657		HANDLUNGSFELD: Präsentation kreativ entwickelter Lösungen 711		
1.1	Mechanisierung und Automatisierung.....	657	1	Kreativtechniken	712
1.2	Digitalisierung und Automatisierung	658	1.1	Brainstorming	713
2	Sensortechnik..... 661		1.2	Mind-Mapping	714
2.1	Überblick über Sensoren und Messprinzipien.....	661	1.3	Ursache-Wirkungs-Diagramm (Ishikawa-Diagramm)	715
2.1.1	Aktive und passive Sensoren	662	2	Präsentationstechniken	716
2.1.2	Normiertes Strom- und Spannungssignal als Abbild der Messgröße	M 662	2.1	Ziele festlegen	716
2.1.3	Smarte Sensoren	662	2.2	Zielgruppe beschreiben	718
2.2	Sensoren	663	2.3	Inhalte bearbeiten	719
2.2.1	Sensoren für die Messung von Dehnung, Kraft und Druck	663	2.4	Darstellung (Visualisierung) anfertigen	719
2.2.2	Induktiver Durchflusssensor	664	2.5	Präsentation planen und durchführen	722
2.2.3	Kapazitive Sensoren	665	2.6	Urheberrecht	723
2.2.4	Induktiver Näherungsschalter	666			
2.2.5	Kapazitive Näherungsschalter	667			
2.2.6	Piezoelektrischer Sensor	667			
2.2.7	Thermoelemente	M 668			
2.2.8	Temperatursensor PT-100	M 669			
2.2.9	Optoelektronische Sensoren	670			
2.2.9.1	Physikalische Grundlagen	670			
2.2.9.2	Dioden	671			
2.2.9.3	Fotodioden	671			
2.2.9.4	Leuchtdioden (LED – light-emitting diode)	672			
2.2.9.5	Lichtschranken	672			
2.2.9.6	Optokoppler	672			
2.2.10	Sensorsysteme zur Bilderkennung und Bildverarbeitung	673			
2.3	Digitalisierung und Signalverarbeitung	675			
2.3.1	Signalformen und Umformen von Messsignalen	675			
			Quellenverzeichnis 742		
			Sachwortverzeichnis 744		