

Inhaltsverzeichnis

1	<i>Maschinennaher Materialfluss im Industriebetrieb</i>	13
1.1	Geschichtlicher Rückblick	13
1.2	Begriffe und Definitionen	17
2	Robotik – Technik für den Menschen	25
2.1	Systematische Einordnung	26
2.2	Leistungsmerkmale	29
2.3	Industrieroboter	32
2.3.1	Einführung und allgemeine Grundlagen	32
2.3.2	Kinematische Grundbauarten und Arbeitsräume	38
2.3.3	Handgelenkachsen	46
2.3.4	Endeffektor	48
2.3.5	Tragfähigkeit	51
2.3.6	Steuerung und Ausprägung von Intelligenz	51
2.4	Sensorik	54
2.4.1	Positionssensoren	55
2.4.2	Inkrementale Weg- und Winkelgeber	55
2.4.3	Absolutwertgeber für Position	56
2.4.4	Induktive Wegmessung	57
2.4.4.1	Resolver	59
2.4.4.2	Elektronischer Kompass	60
2.4.5	Optische Positionsmessung	62
2.4.5.1	Laserlaufentfernungsmessung	63
2.4.5.2	Entfernungsmessung durch Laser-modulation	63
2.4.5.3	Lasertriangulation	64
2.4.5.4	Laserinterferometrie	65
2.4.6	Kraftmessung	65
2.4.6.1	Piezoelektrische Kraftmessung	66
2.4.6.2	Kraftmessung über Dehnmessstreifen	67
2.4.7	Trägheitssensorik	70
2.4.7.1	Beschleunigungssensoren	70
2.4.7.2	Gyroskop	71
2.5	Programmierung	74
2.5.1	Programmiermethoden	74
2.5.2	Programmiersprachen	75
2.5.3	Programmierbeispiel	84
2.6	Endeffektoren	90

2.6.1	Aufgabe und Definition	90
2.6.2	Greifprinzipie	96
2.6.3	Kraftübertragung bei mechanischen Greifern	99
2.6.4	Synchronisation der Greiferfinger	102
2.6.5	Greifbackenführung	103
2.6.6	Greifertypen	104
2.6.7	Greifgerechte Werkstückgestaltung	107
2.6.8	Greifkraft	107
2.6.9	Vakuumgreifer	111
2.6.9.1	Wirkprinzip und Saugerbauformen	111
2.6.9.2	Haltekraft	114
2.6.10	Flexible Greiftechnik	119
2.6.11	Wechseleinrichtungen	122
2.6.12	Roboterwerkzeuge	125
2.7	Aktorik bei Industrierobotern	128
2.7.1	Pneumatische Aktoren	128
2.7.2	Hydraulische Aktoren	133
2.7.3	Bürstenbehaftete Gleichstrommaschine	134
2.7.3.1	Magnetische Kräfte und Momente	134
2.7.3.2	Prinzip des Gleichstrommotors	137
2.7.4	Bürstenlose Gleichstrommaschine	141
2.7.5	Asynchronmaschine	146
2.7.6	Elektrischer Linearmotor als Direktantrieb	149
2.7.7	Getriebe	150
2.7.7.1	Planetengetriebe	152
2.7.7.2	Weitere Getriebearten	154
2.8	Steuerung von Industrierobotern	156
2.8.1	Bewegungssystem und Architektur	157
2.8.2	Bewegungsarten	162
2.8.3	Koordinatensysteme und Bezugspunkte	164
2.8.4	Analyse und Steuerung von Roboterbewegungen	169
2.8.5	Interpolation	188
2.8.6	Sensorführung	194
2.8.7	Betriebsarten	195
2.8.8	Einfluss von Temperaturschwankungen	197
2.8.9	Robotersimulation	199
2.9	Einzelachs- und Mehrachsregelungen	202
2.9.1	Regelung im Gelenkraum	203
2.9.2	Regelung im Arbeitsraum	204
2.9.3	Einzelachsregelung	204
2.9.3.1	Reglerentwurf für das Einzelachsenmodell	205
2.9.3.2	PID-basierte Regelung	208

2.9.4	Mehrachsregelung	208
2.9.5	Digitale Achsregler	209
2.10	Spezielle Regelungsansätze in der Robotik	211
2.10.1	Spezielle Anforderungen	211
2.10.2	Praktisches Beispiel	211
2.10.3	Nichtlineare Regelung	213
2.10.4	Adaptive Regelung mit Schätzung physikalischer Parameter	215
2.10.4.1	Regelung durch gemischte Modellbildung mit Systemidentifikation	215
2.10.4.2	Auswahl der zu schätzenden Modellparameter	217
2.10.4.3	Lernen mit der Methode der Kleinsten Quadrate	218
2.10.4.4	Einführung der Designparameter c und λ	220
2.10.4.5	Überwachung des Lernalgorithmus	223
2.11	Künstliche Intelligenz und Robotik	225
2.12	Sicherheitstechnische Anforderungen	228
2.12.1	Anforderungsbild	229
2.12.2	Gesetzliche Regelungen	233
2.12.3	EN ISO 13849-1 Sicherheit von Maschinen	235
2.13	Fehlerbehandlung	239
2.13.1	Software-Fehlerbehandlung	239
2.13.2	Fehlersuche und Störungsbeseitigung	240
2.14	Roboter als Bearbeitungsmaschine	242
2.15	Industrieroboterperipherie	245
2.16	Ausgewählte Anwendungsbeispiele	250
2.16.1	MIG/MAG-Schweißanlage	250
2.16.2	Palettieranlage	252
2.16.3	Werkstückhandhabung	254
3	Mensch-Roboter-Kooperation	257
3.1	Manuell geführte Manipulatoren	257
3.1.1	Aufgaben und Lastenhandhabungsverordnung	257
3.1.2	Funktionen und Baugruppen	258
3.1.3	Antriebe	265
3.1.3.1	Fluidantrieb	266
3.1.3.2	Elektroantrieb	268
3.1.4	Gelenkbremse	269
3.1.5	Standsicherheit von Säulengeräten	269
3.1.6	Greifer und Lastaufnahmemittel	271
3.2	Teleoperatoren	272

3.2.1	Definition und Arten	273
3.2.2	Möglichkeiten und Probleme der Fernhandhabung	275
3.2.3	Master-Slave-Manipulatoren	278
3.3	Assistenzroboter und Kobot	281
3.3.1	Definition und Prinzip des Assistenzroboters	281
3.3.2	Anlagenkonzepte	282
3.3.3	Führung des Roboterarmes	283
3.3.4	Definition und Einordnung des Kobots	284
3.3.4.1	Funktionsprinzip	285
3.3.4.2	Anwendungen	288
3.4	Serviceroboter	289
3.4.1	Grundlagen	290
3.4.2	Aktuelle Einsatzfelder	292
3.4.2.1	Serviceroboter für gewerbliche Anwendungen	292
3.4.2.2	Serviceroboter für den häuslichen Bereich	297
3.4.3	Schlüsseltechnologien	300
3.4.3.1	Low-cost-Reinigungsroboter	300
3.4.3.2	Multifunktionale Haushaltssistenten	307
3.5	Fahrerlose Flurförderzeuge	312
3.5.1	Fahrerlose Transportsysteme	312
3.5.2	Spurführungssysteme	313
3.5.2.1	Mechanische Führung	314
3.5.2.2	Magnetische Führung	315
3.5.2.3	Induktive Führung	315
3.5.2.4	Optische Führung	316
3.5.2.5	Laserstrahlführung	317
3.5.2.6	Externe Positionsgeber	318
3.5.3	Sicherheit	318
3.5.3.1	Gefahrenklassifizierung	318
3.5.3.2	Sicherheitseinrichtungen	320
3.6	Autonome mobile Roboter	320
3.6.1	Einteilung	322
3.6.1.1	Bodengebundene AMR	322
3.6.1.2	Unbemannte Luftfahrzeuge	324
3.6.1.3	Unbemannte Unterwasserroboter	324
3.6.2	Prinzipieller Aufbau	325
3.6.2.1	Lokomotorische Komponenten	325
3.6.2.2	Ausführung von Radantrieben	328
3.6.2.3	Antrieb und Energieversorgung	331
3.6.2.4	Sensorik	332

3.6.2.5 Steuerung und Bordintelligenz	337
3.6.3 Kinematik	340
3.6.4 Odometrie	341
3.6.5 Lokalisation	341
3.6.6 Navigation	344
3.6.6.1 Navigation mittels Lokalisation	344
3.6.6.2 Verhaltensbasierte Steuerungen	345
3.6.6.3 Kombinierte Navigation	345
3.6.7 Entwicklungsbeispiel	346
3.6.7.1 Ausstattung	346
3.6.7.2 Steuerung	347
3.6.7.3 Anwendungen	347
3.7 Humanoide Roboter	348
3.7.1 Definition und Grundkonzepte	348
3.7.2 Null-Moment-Punkt	351
3.7.3 Gestik und Mimik	357
3.7.4 ICub	358
3.7.5 Ausblick	359
3.8 Mikrorobotik	360
3.8.1 Einführung	360
3.8.2 Grundaufbau	361
3.8.2.1 Aufbau eines Mikroroboters	361
3.8.2.2 Energieversorgung	363
3.8.2.3 Sensorik und Aktorik	364
3.8.2.4 Kooperation und Kommunikation	364
3.8.3 Anwendungsgebiete	365
3.8.4 Fortbewegungssysteme	366
3.8.4.1 Reibung im Mikrobereich und Hafteffekte .	366
3.8.4.2 Haft-Gleit-Effekt	370
3.8.4.3 Wurmartige Fortbewegungssysteme	371
3.8.4.4 Rad- und Spurradantrieb	372
3.8.4.5 Mikroroboterantrieb mit künstlichen Muskeln	373
3.8.4.6 Fliegende und schwimmende Mikro- roboter	374
3.8.4.7 Springender Roboter	375
4 Handhabungstechnik	376
4.1 Analytische Betrachtung der Werkstückhandhabung .	376
4.1.1 Handhabungsfunktionen	376
4.1.2 Handhabungsobjekte	380
4.2 Handhabungsgerechte Werkstückgestaltung	383

4.3	Achskomponenten und Handlingmodule	386
4.3.1	Lineareinheiten und Führungen	387
4.3.2	Portaleinheiten	397
4.3.3	Dreheinheiten	399
4.3.4	Auslegung von Positionierachsen	404
4.4	Einrichtungen zum Ordnen	408
4.4.1	Ordnen von Massenteilen	409
4.4.2	Konstruktive Lösungen	411
4.4.3	Vibrationszuführtechnik	417
4.5	Einrichtungen für das Zuteilen	426
4.5.1	Zuteilen als Funktion	427
4.5.2	Konstruktive Lösungen	428
4.6	Einrichtungen zum Magazinieren	433
4.6.1	Magazinieren als Funktion	433
4.6.2	Bauformen von Magazinen	436
4.7	Objekthandhabung mit Strömungstechnik	440
4.7.1	Grundgleichungen	441
4.7.2	Anwendungsgleichungen	442
4.7.2.1	BERNOULLI-Gleichung	442
4.7.2.2	Impulsbilanz	443
4.7.2.3	Kontinuitätsgleichung	443
4.7.3	Freistahl	443
4.7.4	Auftrieb und Widerstand umströmter Körper	446
4.7.5	Beispiele aus der Handhabungstechnik	450
4.8	Zuführung von Schüttgut und Fluiden	453
4.8.1	Stellen von Stoffströmen	454
4.8.2	Dosieren	455
4.8.3	Probleme beim Zuführen aus Bunkern	456
4.9	Einsatz bildverarbeitender Systeme	458
4.9.1	Grundkonzept	459
4.9.2	Bildverarbeitung	460
4.9.3	Anwendungsbeispiele	463
5	Montageautomatisierung	466
5.1	Montagevorgang und Bewegungsanforderungen	466
5.2	Methoden zur montagegerechten Konstruktion	470
5.3	Montagegerechtes Konstruieren	473
5.3.1	Produktbauweisen	473
5.3.2	Ausgewählte Gestaltungsregeln	477
5.4	Automatische Montagemaschinen	481
5.4.1	Montagelinie	483
5.4.2	Rundtaktautomaten	489

5.4.3 Montagezellen	494
5.4.4 Hybride Montagesysteme	496
5.5 Werkstückträger	498
5.6 Transfersysteme	501
5.7 Kontinuierliche Montage	510
5.8 Mikromontage	513
5.8.1 Montage von Mikrosystemen	513
5.8.2 Modellgesetze und Adhäsionseffekte	515
5.8.3 Werkzeuge zur Mikrohandhabung	517
5.8.4 Mikrohandhabungsprozesse und -strategien . .	521
5.9 Demontage	527
5.9.1 Demontagegerechte Gestaltung	528
5.9.2 Automatisierung der Demontage	532
Quellen und weiterführende Literatur	535
Sachwortverzeichnis	543