

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung (R. D. Schraft)</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Definitionen (R. König)</b>	<b>4</b>
2.1	Institutionen und Richtlinien zur Normung	4
2.2	Roboterkategorien	4
2.3	Aufbau von Industrierobotern	7
2.4	Anwendungen von Robotern	7
<b>3</b>	<b>Die Mechanik</b>	<b>9</b>
3.1	Technischer Aufbau (M. C. Wanner, W. Engeln)	9
3.1.1	Aufbau von Industrierobotern	9
3.1.1.1	Kinematik	9
3.1.1.2	Gestellbauarten	10
3.1.2	Anforderungen an einen Industrieroboter in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung	10
3.1.2.1	Lackieren	10
3.1.2.2	Punktschweißen	12
3.1.2.3	Bahnschweißen	13
3.1.2.4	Montage	14
3.1.2.5	Werkstückhandhabung	14
3.1.3	Vorgehensweise beim Entwurf von Industrierobotern	15
3.1.3.1	Erstellung eines Anforderungsprofils durch Arbeitsplatzanalyse	15
3.1.3.2	Lastenheft für Industrieroboter	16
3.1.3.3	Auswahl und Entwurf der mechanischen Komponenten	16
3.1.3.3.1	Antriebe	16
3.1.3.3.2	Wegmeßsysteme	17
3.1.3.3.3	Kraftübertragungssysteme	17
3.1.3.3.4	Kupplungen	18
3.1.3.4	Gesamtentwurf	20
3.1.3.5	Schwachpunkte in der mechanischen Konstruktion	21
3.1.3.6	Rechnergestützte Konstruktionshilfen	21
3.1.4	Ausführungsbeispiele	21

3.1.4.1	Modulares Baukastensystem — Bosch FMS . . . . .	21
3.1.4.2	Roboter mit Direktantrieb — Adept One. . . . .	23
3.1.4.3	Universalroboter mit sechs Achsen — KUKA Serie IR 100. . . . .	25
3.1.5	Zusammenfassung. . . . .	25
3.2	Werkzeugwechselsysteme (D. Boley, A. Stolz). . . . .	26
3.2.1	Einführung. . . . .	26
3.2.2	Grundformen. . . . .	26
3.2.3	Pflichtenheft . . . . .	27
3.2.3.1	Kopplung . . . . .	27
3.2.3.2	Zentrierung . . . . .	27
3.2.3.3	Sicherheit . . . . .	28
3.2.3.4	Übertragungselemente . . . . .	28
3.2.3.5	Magazinierung . . . . .	28
3.2.3.6	Baugröße . . . . .	28
3.2.3.7	Schließ- und Verriegelungsprinzipien. . . . .	28
3.2.4	Zusammenfassung. . . . .	29
3.3	Greifer (W. Glaess) . . . . .	29
3.3.1	Einführung. . . . .	29
3.3.1.1	Definitionen . . . . .	29
3.3.1.2	Grundfunktionen . . . . .	30
3.3.2	Aufbau . . . . .	30
3.3.2.1	Haltesystem . . . . .	31
3.3.2.2	Antrieb . . . . .	31
3.3.2.3	Kinematik . . . . .	33
3.3.2.4	Flansch . . . . .	33
3.3.2.5	Steuerung . . . . .	34
3.3.2.6	Sensoren . . . . .	35
3.3.3	Bauformen . . . . .	35
3.3.3.1	Einzweckgreifer. . . . .	36
3.3.3.2	Umbaubare oder umstellbare Greifer . . . . .	36
3.3.3.3	Universelle Greifer . . . . .	37
3.3.3.4	Greiferwechselsysteme . . . . .	37
3.3.4	Beispiele ausgeführter Greifer. . . . .	37
3.4	Werkzeuge (K. Hölldampf). . . . .	43
3.4.1	Einführung. . . . .	43
3.4.2	Bearbeitungsverfahren ohne mechanischen Kontakt . . . . .	44
3.4.2.1	Schutzgasschweißen . . . . .	44
3.4.2.2	Beschichten (K. Ortlieb, P. Svejda) . . . . .	45
3.4.2.3	Brennschneiden (K. Hölldampf). . . . .	46
3.4.2.4	Plasmaschneiden . . . . .	46
3.4.2.5	Laserschneiden/-schweißen . . . . .	47
3.4.2.6	Wasserstrahlschneiden . . . . .	48
3.4.2.7	Kleben . . . . .	48

3.4.2.8	Qualitätsprüfung . . . . .	49
3.4.3	Bearbeitungsverfahren mit mechanischem Kontakt zum Werkstück	49
3.4.3.1	Widerstandspunktschweißen . . . . .	49
3.4.3.2	Schleifen . . . . .	50
3.4.3.3	Bürsten/Polieren . . . . .	51
3.4.3.4	Fräsen . . . . .	52
3.4.3.5	Sonderwerkzeuge . . . . .	52
3.4.4	Werkzeugaufhängungen . . . . .	52
<b>4</b>	<b>Steuerung und Programmierung . . . . .</b>	<b>54</b>
4.1	Steuerungen (U. Ahrens). . . . .	54
4.1.1	Steuerungsarten . . . . .	55
4.1.1.1	Punkt-zu-Punkt-Steuerung . . . . .	55
4.1.1.2	Vielpunkt-Steuerung. . . . .	55
4.1.1.3	Bahnsteuerung . . . . .	56
4.1.3	Steuerungsfunktionen, Steuerungskomponenten . . . . .	57
4.1.4	Hardwaresystem . . . . .	58
4.1.4.1	Zentrale Recheneinheit. . . . .	58
4.1.4.2	Speichereinheit . . . . .	59
4.1.4.3	Lagereinheit . . . . .	61
4.1.4.4	Ein-/Ausgabe-Komponenten . . . . .	61
4.1.5	Aufbau des Hardwaresystems. . . . .	61
4.1.5.1	Einkartensystem . . . . .	62
4.1.5.2	Mehrkartensystem. . . . .	62
4.1.5.3	Bedienfeld . . . . .	63
4.1.6	Steuerungssoftware . . . . .	65
4.1.6.1	Betriebssystem . . . . .	67
4.1.6.2	Bediensystem . . . . .	68
4.1.6.3	Programmiersystem . . . . .	69
4.1.6.4	Bewegungssteuerung. . . . .	69
4.1.6.5	Koordinatentransformation. . . . .	72
4.1.6.6	Lageregelung . . . . .	73
4.1.6.7	Zeitrahen. . . . .	74
4.1.6.8	Ein-/Ausgabe. . . . .	74
4.1.6.9	Sensorschnittstellen . . . . .	75
4.1.6.10	Überwachung und Diagnose . . . . .	76
4.1.7	Zusammenfassung. . . . .	77
4.2	Programmieren (M. Göhner) . . . . .	78
4.2.1	Beschreibung der Programmierverfahren . . . . .	78
4.2.1.1	On-line-Programmierung. . . . .	78
4.2.1.2	Off-line-Programmierung. . . . .	79
4.2.1.3	Eingabemöglichkeiten bei der Programmerstellung. . . . .	79
4.2.1.4	Rechnerinternes Ablegen der Befehle . . . . .	80

4.2.1.5	Testen . . . . .	81
4.2.2	Allgemeine Vorgehensweise bei der Programmerstellung für Industrierobotersysteme . . . . .	81
4.2.3	Stand der Technik . . . . .	82
4.2.3.1	On-line-Programmiersysteme . . . . .	82
4.2.3.2	Off-line-Programmiersysteme . . . . .	82
4.2.3.2.1	Explizite Programmiersysteme . . . . .	82
4.2.3.2.2	Implizite Programmiersysteme . . . . .	84
4.2.3.3	Testsysteme . . . . .	85
4.2.3.4	Datenaustausch mit der Steuerung des Industrieroboters . . . . .	85
4.2.4	Entwicklungstendenzen in der Programmierung von Industrierobotern	86
4.2.4.1	Tendenz zur Off-line-Programmierung . . . . .	86
4.2.4.2	Bestrebungen zur Standardisierung eines Zwischencodes . . . . .	86
4.2.4.3	Effizientere Programmierung . . . . .	86
4.3	Sensortechnik (G. Drunk, N. Hild) . . . . .	86
4.3.1	Einführung . . . . .	86
4.3.1.1	Historische Entwicklung . . . . .	86
4.3.1.2	Sensordefinition/Abgrenzung Meßaufnehmer . . . . .	87
4.3.1.3	Sensoreinsatz in der Fertigungstechnik . . . . .	88
4.3.2	Sensorarten für IR-Bewegungsführung . . . . .	88
4.3.2.1	Übersicht/Systematik . . . . .	88
4.3.2.2	Taktile tastende Sensoren . . . . .	88
4.3.2.3	Taktile Kraft/Momenten-Sensoren . . . . .	92
4.3.2.4	Video-Optische Sensoren . . . . .	93
4.3.2.5	Optische abstandsmessende Sensoren . . . . .	96
4.3.2.6	Ultraschall-Sensoren . . . . .	98
4.3.2.7	Induktive, kapazitive und magnetische Sensoren . . . . .	99
4.3.2.8	Sonstige Sensoren . . . . .	100
4.3.3	Bewegungsführung von IR . . . . .	100
4.3.3.1	Sensor-Rückführungskreis . . . . .	100
4.3.3.2	Voraussetzungen für sinnvollen Sensoreinsatz . . . . .	101
4.3.3.3	Einsatzhemmnisse für sensorgeführte IR-Systeme . . . . .	103
4.3.4	Anwendungsbeispiele . . . . .	104
4.3.4.1	Einsatzbereich . . . . .	104
4.3.4.2	Entladen teilgeordneter und ungeordneter Werkstücke . . . . .	105
4.3.4.3	Werkstückentnahme von bewegten Fördermitteln . . . . .	107
4.3.4.4	Bestimmung der Montageposition . . . . .	107
4.3.4.5	Sensorführung von Fügebewegungen . . . . .	109
4.3.4.6	Anfangs- und Endenerkennung . . . . .	110
4.3.4.7	Konturverfolgung . . . . .	110
4.3.4.8	Geschwindigkeitsadaption . . . . .	110
4.3.5	Zusammenfassung . . . . .	111
4.4	Sensorsysteme für das Schutzgasschweißen (W. Utner) . . . . .	111
4.4.1	Einführung . . . . .	111
4.4.2	Einteilung . . . . .	112

4.4.2.1	Taktile Sensoren . . . . .	112
4.4.2.2	Induktive Sensoren . . . . .	113
4.4.2.3	Elektrische Sensorsysteme . . . . .	114
4.4.2.4	Optische Sensoren. . . . .	115
4.4.3	Zusammenfassung. . . . .	117
<b>5</b>	<b>Einsatzplanung (A. Altenhein). . . . .</b>	<b>118</b>
5.1	Einführung. . . . .	118
5.2	Schwerpunkt . . . . .	118
5.3	Vorgehen . . . . .	118
5.4	Erfassung des Istzustandes . . . . .	121
5.4.1	Arbeitsplatzanalyse . . . . .	121
5.4.2	Beurteilung der Automatisierbarkeit eines gegebenen Arbeitsplatzes	122
5.5	Erarbeitung von Konzeptvarianten . . . . .	122
5.6	Arbeitsstrukturierung für einen Industrieroboter-Arbeitsplatz . . . .	125
5.7	Ausarbeiten der Gesamtlösung . . . . .	126
5.7.1	Automatisierung der gegebenen Fertigungsmittel . . . . .	126
5.7.2	Auswahl des zum Einsatz kommenden Industrieroboters . . . . .	126
5.7.3	Auswahl weiterer Peripherieeinrichtungen . . . . .	127
5.7.4	Abschließende Auswahl des Industrieroboters und der Aufstellungsplanung . . . . .	128
5.7.4.2	Vorgehen bei einer systematischen Aufstellungsplanung . . . . .	130
5.7.5	Vergleich alternativer Lösungen. . . . .	132
5.8	Realisierung der gewählten Lösung . . . . .	132
5.9	Zusammenfassung. . . . .	134
<b>6</b>	<b>Anwendungen . . . . .</b>	<b>135</b>
6.1	Industrieroboter zum Lichtbogenschweißen (H. Gzik) . . . . .	135
6.1.1	Einführung. . . . .	135
6.1.2	Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen für das Industrieroboterschweißen	140
6.1.3	Schweißzelle und Schweißsystem . . . . .	142
6.2	Industrieroboter zum Punktschweißen (S. Müller) . . . . .	146
6.2.1	Einführung. . . . .	146
6.2.2	Allgemeine Merkmale von Robotersystemen zum Punktschweißen. .	146
6.2.2.1	Robotermechanik . . . . .	147
6.2.2.2	Robotersteuerung . . . . .	147

6.2.3	Einteilung der Punktschweißroboter . . . . .	148
6.2.3.1	Roboter zum Zangenschweißen . . . . .	148
6.2.3.2	Roboter zum Halbzangenschweißen . . . . .	150
6.2.3.3	Roboter für kombinierte Aufgaben . . . . .	151
6.2.4	Schweißperipherie des Roboters . . . . .	151
6.2.4.1	Schweißperipherie für Zangenroboter . . . . .	152
6.2.4.2	Schweißperipherie für Halbzangenroboter . . . . .	155
6.2.5	Anlagenperipherie des Roboters . . . . .	156
6.2.5.1	Bauteilbereitstellung . . . . .	156
6.2.5.2	Bauteiltransport . . . . .	156
6.2.5.3	Anordnungsvarianten . . . . .	156
6.2.6	Anwendungsbeispiele . . . . .	157
6.2.6.1	Backröhren . . . . .	157
6.2.6.2	Gehäuse für fotografische Geräte . . . . .	157
6.2.6.3	Pkw-Heckklappen . . . . .	158
6.2.6.4	Lkw-Kühler-Verkleidungsklappen . . . . .	158
6.2.6.5	Lkw-Türen . . . . .	159
6.2.6.6	Lkw-Fahrerhäuser . . . . .	159
6.2.6.7	Transporterkarosserien . . . . .	160
6.2.6.8	Pkw-Gesamtkarosserien . . . . .	160
6.2.6.9	Pkw-Karosseriebaugruppen . . . . .	160
6.2.6.10	Pkw-Bodengruppen . . . . .	162
6.3	Bearbeiten mit Industrierobotern (D. Boley, A. Stolz) . . . . .	162
6.3.1	Einführung . . . . .	162
6.3.2	Robotergeeignete Bearbeitungsverfahren . . . . .	163
6.3.3	Aufbau eines Industrieroboterarbeitsplatzes zum Bearbeiten . . . . .	164
6.3.4	Für den Industrierobotereinsatz geeignete Verfahren . . . . .	165
6.3.4.1	Schleifen, Trennschleifen . . . . .	165
6.3.4.2	Bandschleifen . . . . .	166
6.3.4.3	Bearbeiten mit elastischen Schleifmitteln . . . . .	166
6.3.4.4	Bürsten . . . . .	166
6.3.4.5	Fräsen . . . . .	167
6.3.4.6	Feilen . . . . .	167
6.3.4.7	Hochdruckwasserstrahl-Bearbeitung . . . . .	167
6.3.5	Ausgleich von Toleranzen bei der zerspanenden Bearbeitung . . . . .	169
6.3.5.1	Verschleißkompensation am Beispiel von Schleifscheiben . . . . .	169
6.3.6	Zusammenfassung . . . . .	169
6.4	Industrieroboter zum Beschichten (K. Ortlieb, P. Svejda) . . . . .	170
6.4.1	Automatisierung in der Beschichtungstechnik . . . . .	170
6.4.2	Anforderungen an Beschichtungsroboter und die Peripherie . . . . .	171
6.4.2.1	Mechanischer Aufbau . . . . .	171
6.4.2.2	Steuerung und Programmierung . . . . .	171
6.4.2.3	Peripherie . . . . .	172
6.4.3	Einsatzbeispiele für Beschichtungsroboter . . . . .	174
6.4.4	Entwicklungstendenzen bei Beschichtungsrobotern . . . . .	175

6.5	Industrieroboter zur Werkstückhandhabung (K. Baumeister) . . . . .	176
6.5.1	Einführung. . . . .	176
6.5.2	Handhabung an Pressen, Schmiede- und Druck/Spritzgußmaschinen	177
6.5.3	Handhabung an Werkzeugmaschinen . . . . .	178
6.5.4	Palettieren . . . . .	180
6.5.5	Kommissionieren . . . . .	183
6.6	Montage (M. Schweizer) . . . . .	187
6.6.1	Bedeutung der Montageautomatisierung . . . . .	187
6.6.2	Bauformen heutiger Montageroboter . . . . .	188
6.6.3	Automatisierungsrechte Produktgestaltung, die Voraussetzung für erfolgreiche Montageautomatisierung. . . . .	189
6.6.3.1	Notwendigkeit zur montagegerechten Konstruktion . . . . .	189
6.6.3.2	Stand der montagegerechten Produktgestaltung . . . . .	190
6.6.3.3	Maßnahmen zur montagegerechten Produktgestaltung . . . . .	191
6.6.3.3.1	Maßnahmen am Einzelbauteil . . . . .	191
6.6.3.3.2	Maßnahmen an Baugruppen . . . . .	192
6.6.3.3.3	Maßnahmen am Produktaufbau. . . . .	192
6.6.4	Neue Montageroboter . . . . .	193
6.6.4.1	Horizontale Gelenkkinematik (SCARA) . . . . .	193
6.6.4.2	Vertikale Gelenkkinematik . . . . .	194
6.6.4.3	Programmierbare Montagezellen mit Bildverarbeitungssystem. . . . .	195
6.6.5	Anwendung von Industrierobotern in der Montage . . . . .	196
6.6.5.1	Montage von kleinen Baugruppen. . . . .	196
6.6.5.2	Lötroboter . . . . .	199
6.6.5.3	Bestücken von Leiterplatten . . . . .	200
6.6.5.4	Kabelbaummontage . . . . .	200
6.6.5.5	Pkw-Endmontagesysteme. . . . .	200
6.6.5.6	Zukünftige Montagesysteme und Entwicklungstendenzen . . . . .	203
6.7	Einsatz in flexiblen Laserbearbeitungssystemen (G. Hardock) . . . . .	206
6.7.1	Lasermaterialbearbeitung in der Fertigungstechnik. . . . .	206
6.7.1.1	Laserstrahlschneiden. . . . .	206
6.7.1.2	Laserstrahlschweißen . . . . .	207
6.7.2	Aufbau und Systemkomponenten einer flexiblen Laserfertigungszelle	210
6.7.2.1	Laserstrahlquellen. . . . .	210
6.7.2.2	Laserstrahlführung und Laserstrahlformung . . . . .	212
6.7.3	Systemkonzepte einer Kopplung zwischen Industrieroboter und Laserstrahlführungssystem . . . . .	215
6.7.3.1	Klassifizierung realisierter mehrachsiger Laseranlagen unter Berücksichtigung des kinematischen Aufbaus . . . . .	216
6.7.3.2	Qualitative Bewertung mehrachsiger Laseranlagen . . . . .	217
6.7.4	Zusammenfassung. . . . .	221
6.8	Automatisierte Kabelbaummontage (G. Schlaich) . . . . .	223
6.8.1	Konventionelle Montage von Kabelbäumen . . . . .	223

6.8.2	Industrieroboter zur Kabelbaummontage . . . . .	224
6.8.2.1	Verlegeautomaten mit Industrierobotern . . . . .	225
6.8.2.2	Industrieroboter zur Herstellung von Kabelbäumen in Crimp-Technik	226
6.8.2.3	Anlagen zur Herstellung von Kabelbäumen in Schneid-Klemm-Technik	228
6.8.3	Industrierobotersystem zur vollautomatischen off-line-programmierten Kabelbaummontage . . . . .	230
6.9	Löten mit Industrierobotern (E. Wolf) . . . . .	233
6.9.1	Anwendungsbereich . . . . .	233
6.9.2	Lötverfahren für das Löten mit automatischer Löt drahtzufuhr . . . . .	235
6.9.2.1	Kolbenlöten mit Industrieroboter . . . . .	236
6.9.2.1.1	Anforderungen an Industrieroboter . . . . .	236
6.9.2.1.2	Robotergerichte Lötwerkzeuge . . . . .	236
6.9.2.1.3	Off-line-Programmierung von Lötaufgaben . . . . .	237
6.9.2.1.4	Prozeßbeschreibung . . . . .	238
6.9.2.1.5	Anwendungsbeispiele . . . . .	238
6.9.2.2	Laserlöten mit Industrierobotern . . . . .	240
6.9.2.3	Flammlöten mit Industrierobotern . . . . .	240
6.10	Handhabungssysteme in Reinraumfertigungen (J. Geißinger) . . . . .	241
6.10.1	Einführung. . . . .	241
6.10.2	Geräteinterne Handhabungssysteme . . . . .	243
6.10.3	Reinraumindustrieroboter . . . . .	244
6.10.4	Mobile Reinraumindustrieroboter und Reinraumtransportsysteme . . . . .	245
6.10.5	Zusammenfassung. . . . .	247
6.11	Mobile Industrieroboter (C. Claussen) . . . . .	247
6.11.1	Einführung. . . . .	247
6.11.2	Einteilung mobiler Industrieroboter . . . . .	248
6.11.3	Aufbau und technische Merkmale eines induktiv geführten Industrieroboters . . . . .	251
6.11.4	Anwendungsgebiete und Ausführungsformen von mobilen Industrierobotern . . . . .	252
6.12	Industrieroboter messen und prüfen (R.-J. Ahlers). . . . .	257
6.12.1	Einführung. . . . .	257
6.12.2	Die Notwendigkeit der Vermessung von Industrierobotern . . . . .	257
6.12.3	Die Notwendigkeit des Messens und Prüfens mit Industrierobotern . . . . .	258
6.12.4	Anwendungsbeispiele . . . . .	260
6.12.4.1	Industrieroboter zur Meßmittel- bzw. Meßobjekthandhabung . . . . .	260
6.12.4.2	Industrieroboter und Nulltaster . . . . .	260
6.12.4.3	Universeller Einsatz gekoppelter Systeme. . . . .	261
6.12.5	Zusammenfassung. . . . .	264

<b>7</b>	<b>Prüfung (R. König)</b> . . . . .	<b>265</b>
7.1	Einführung. . . . .	265
7.2	Kenngrößen von Industrierobotern . . . . .	265
7.2.1	VDI-Richtlinie 2861 . . . . .	265
7.2.1.1	Stand der VDI-Normungsarbeit. . . . .	265
7.2.1.2	Blatt 1 der VDI 2861 . . . . .	266
7.2.1.3	Blatt 2 der VDI 2861 . . . . .	267
7.2.1.4	Blatt 3 der VDI 2861 . . . . .	269
7.2.2	ISO-Normung von Industrieroboter-Kenngrößen . . . . .	270
7.2.2.1	Stand der ISO-Normungsarbeit . . . . .	271
7.2.2.2	Gegenüberstellung VDI 2861 und ISO/DP 9283 . . . . .	272
7.2.3	Meßergebnisse . . . . .	272
7.2.4	Zusammenfassung. . . . .	273
7.3	Modalanalyse an Industrierobotern . . . . .	273
7.3.1	Modales Modell . . . . .	273
7.3.2	Ziele der Modalanalyse . . . . .	273
7.3.3	Ermitteln der modalen Parameter . . . . .	274
7.3.3.1	Aufnahme der Signale . . . . .	274
7.3.3.2	Fourier-Transformation . . . . .	275
7.3.3.3	Bestimmung der modalen Parameter. . . . .	276
7.3.4	Beispiel einer Modalanalyse . . . . .	277
<b>8</b>	<b>Arbeitsschutz (P. Nicolaisen)</b> . . . . .	<b>278</b>
8.1	Einführung. . . . .	278
8.2	Problemstellung: Arbeitsschutz und neue Technologien . . . . .	278
8.3	Bedeutung und Stellenwert des Arbeitsschutzes . . . . .	280
8.3.1	Was ist Arbeitsschutz?. . . . .	280
8.3.2	Rechtliche Aspekte . . . . .	280
8.3.3	Annäherung und Integration . . . . .	280
8.3.4	Demokratisierung und Akzeptanz . . . . .	281
8.4	Zum Stand des Arbeitsschutzes bei Industrierobotern . . . . .	281
8.4.1	Rechtliche Situation . . . . .	281
8.4.2	Problemindikatoren . . . . .	282
8.4.3	Problembereiche . . . . .	283
8.4.3.1	Gefährdete Personengruppen . . . . .	283
8.4.3.2	Schwachstellen im Innovationsprozeß . . . . .	284
8.4.3.3	Fehlen praxisiertechnischer sicherheitstechnischer Lösungen für bestimmte Personengruppen . . . . .	285

<b>8.5</b>	<b>Grundsätzliche Erfordernisse und Lösungsmöglichkeiten für den Arbeitsschutz bei Industrierobotern . . . . .</b>	<b>287</b>
8.5.1	IR-Einsatzplanung und Arbeitsschutz . . . . .	287
8.5.1.1	Erweiterter Planungsansatz . . . . .	287
8.5.1.2	Planungshilfsmittel . . . . .	289
8.5.2	Spektrum der Arbeitsschutzmaßnahmen . . . . .	291
8.5.2.1	Sicherheitsgerechte Konstruktion . . . . .	291
8.5.2.2	Sicherheitstechnische Einrichtungen . . . . .	293
8.5.2.3	Organisatorische Sicherheitsmaßnahmen . . . . .	294
8.5.2.4	Persönliche Schutzausrüstung . . . . .	296
8.5.2.5	Sicherheitsschulung/-training . . . . .	297
<b>9</b>	<b>Soziale Aspekte (R. Winter-Hoss) . . . . .</b>	<b>300</b>
9.1	Einführung . . . . .	300
9.2	Arbeitswissenschaftliche Aspekte beim Industrierobotereinsatz . . . . .	301
9.2.1	Aussagefähigkeit der Einsatzfalldatei . . . . .	301
9.2.2	Beweggründe der Firmen zum Industrierobotereinsatz . . . . .	301
9.2.3	Freisetzungseffekte . . . . .	302
9.2.4	Auswirkungen des Robotereinsatzes auf die Arbeitssituation des Menschen . . . . .	306
9.2.4.1	Physische Belastungen . . . . .	306
9.2.4.2	Umgebungseinflüsse . . . . .	307
9.2.4.3	Arbeitssicherheit . . . . .	307
9.2.4.4	Psychomenteale Belastungen . . . . .	308
9.2.4.5	Arbeitsinhalte der direkt am System Beschäftigten . . . . .	309
9.2.4.6	Schichtarbeit . . . . .	310
9.2.4.7	Zusammenfassung . . . . .	310
9.3	Gestaltungsmaßnahmen zum menschengerechten Einsatz von Industrierobotern . . . . .	311
9.3.1	Ausdehnung des Planungsbereiches . . . . .	311
9.3.2	Verringerung der Arbeitsteilung/Erweiterung der Arbeitsinhalte . . . . .	312
9.3.3	Vergrößerung der Entscheidungs- und Dispositionsspielräume . . . . .	314
9.3.4	Entkopplungsmaßnahmen . . . . .	314
9.3.5	Blockbildung . . . . .	315
9.3.6	Bildung von Arbeitsgruppen . . . . .	315
9.3.7	Qualifizierung der Beschäftigten . . . . .	315
9.4	Fallbeispiele Industrieroboter zum Besäumen von Werkstücken aus Kunststoff . . . . .	316

<b>10</b>	<b>Roboter außerhalb der Fertigungstechnik (M.-C. Wanner, R. König)</b>	<b>319</b>
10.1	Einführung . . . . .	319
10.2	Bedeutung . . . . .	319
10.3	Gerätekonzeption . . . . .	320
10.3.1	Hochflexibles Handhabungssystem mit sehr großem Arbeitsraum für Arbeiten im Freien . . . . .	321
10.3.2	Stationäres, hochflexibles Handhabungssystem zur Oberflächenbearbeitung . . . . .	322
10.3.3	Hochflexibles Handhabungssystem für Arbeiten in Bereichen mit erschwerten Umgebungsbedingungen . . . . .	323
10.4	Wichtige Anwendungsgebiete und ausgeführte Einsatzbeispiele . . .	324
10.4.1	Kerntechnik . . . . .	324
10.4.2	Dienstleistungsbereich . . . . .	325
10.4.3	Bauwesen . . . . .	326
10.4.4	Brand- und Katastrophenschutz . . . . .	327
10.4.5	Land- und Forstwirtschaft . . . . .	327
10.4.6	Weltraum, Flugzeugbau, Flugzeugwartung . . . . .	328
10.4.7	Bergbau . . . . .	328
10.4.8	Gesundheitswesen . . . . .	329
10.5	Zusammenfassung . . . . .	329
	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	<b>331</b>
	<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	<b>339</b>