

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung (R. D. Schraft)	1
2	Definitionen (R. König)	4
2.1	Institutionen und Richtlinien zur Normung	4
2.2	Roboterkategorien	4
2.3	Aufbau von Industrierobotern	7
2.4	Anwendungen von Robotern	7
3	Die Mechanik	9
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
4	Steuerung und Programmierung	54
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	Lageregeleinheit	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
5	Einsatzplanung (A. Altenhein).	118
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
6	Anwendungen	135
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-Verkleidungskappen	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

7	Prüfung (R. König)	265
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
8	Arbeitsschutz (P. Nicolaisen)	278
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 praxisiertgerechter sicherheitstechnischer Lösungen für bestimmte Personengruppen	285

8.5	Grundsätzliche Erfordernisse und Lösungsmöglichkeiten für den Arbeitsschutz bei Industrierobotern	287
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
9	Soziale Aspekte (R. Winter-Hoss)	300
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

10	Roboter außerhalb der Fertigungstechnik (M.-C. Wanner, R. König)	319
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
	Literaturverzeichnis	331
	Sachverzeichnis	339