

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Beiträge der Informatik zur Robotik	5
1.2	Zukünftige Roboterentwicklung	8
1.3	Einsatz von Robotern in der industriellen Fertigung	10
1.3.1	Roboteranwendung in der Automobilindustrie	12
1.4	Anwendungen von Robotern im Weltraum	16
1.4.1	Struktur der Roboter im Weltraum	17
1.5	Aufbau des Textbuches	20
<b>2.</b>	<b>Architektur und Informationsfluß eines Robotersystems</b>	<b>21</b>
2.1	Komponenten eines Robotersystems	21
2.1.1	Mechanische Struktur	21
2.1.2	Roboterkinematik	27
2.1.3	Achsregelung und Antriebe	29
2.1.4	Greifersysteme	31
2.1.5	Sensorik	33
2.1.6	Robotersteuerung	33
2.1.7	Roboterprogrammierung	34
2.1.8	Rechner und Rechnernetze	37
2.2	Informationsverarbeitung in der Robotik	38
2.3	Entwicklung in der Robotik durch die Informationsverarbeitung	40
<b>3.</b>	<b>Modellbildung als Basis der Informationsverarbeitung</b>	<b>43</b>
3.1	Umweltmodellierung	43
3.2	Informationsanalyse für das Modell der Roboterzelle	45
3.2.1	Reale Objekte der Roboterzelle	47
3.2.2	Struktur der Roboterzelle	49

3.2.3	Prozeßinformation in einer Roboterzelle . . . . .	52
3.3	Geometrische Modellierung . . . . .	56
3.3.1	Anforderungen der Robotik an CAD-Systeme . . . . .	56
3.3.2	Modelliertechniken . . . . .	58
3.3.3	Geometriemodelle und Datenstrukturen . . . . .	60
3.4	Kinematische Modellierung . . . . .	64
3.4.1	Modell der Roboterkinematik . . . . .	64
3.4.2	Modell der Effektorkinematik . . . . .	66
3.4.3	Kinematik der Roboterperipherie . . . . .	67
3.5	Technologische Modellierung . . . . .	68
3.6	Semantische Modellierung der Roboterzelle . . . . .	69
3.6.1	Entity-Relationship-Modell zur semantischen Datenmodellierung . . . . .	70
3.6.2	Einzelansichten der Roboterzelle . . . . .	73
3.6.3	Konsolidierung der Ansichten zu dem semantischen Weltmodell . . . . .	81
3.6.4	Der logische Entwurf des Weltmodells . . . . .	82
3.7	Modellierung von Roboter und Greifer . . . . .	84
3.7.1	Kinematische Modellierung des Roboters . . . . .	84
3.7.2	Geometriemodell des Roboters . . . . .	85
3.7.3	Vollständiges Robotermodell . . . . .	87
3.7.4	Modellierung eines Dreifinger-Greifers . . . . .	88
3.8	Funktionale Modellierung . . . . .	89
3.8.1	Roboteremulation . . . . .	89
3.8.1.1	Koordinatentransformation . . . . .	90
3.8.1.2	Bahnplanung . . . . .	92
3.8.1.3	Diskussion des Roboteremulators . . . . .	98
3.8.2	Emulation der Effektorsteuerung . . . . .	98
3.8.3	Emulation der Sensorik . . . . .	101
3.8.4	Emulation der Peripherie . . . . .	102
<b>4.</b>	<b>Offline-Programmierung auf der Basis des Weltmodells . . . . .</b>	<b>103</b>
4.1	Einsatz graphischer Robotersimulationssysteme . . . . .	103
4.1.1	Zellentwurf mit Robotersimulationssystemen . . . . .	104
4.1.2	Robotersimulationssysteme als Programmierwerkzeug . . . . .	105
4.1.3	Anwendungsbereiche und Nutzen von Robotersimulationssystemen . . . . .	106

4.1.4	Struktur von Robotersimulationssystemen	107
4.2	Computergraphik für die Robotik	109
4.2.1	Struktur und Funktionalität von Graphiksystemen	109
4.2.1.1	Graphische Eingabegeräte	111
4.2.1.2	Algorithmen und Darstellungsverfahren	111
4.2.1.3	Programmierung von Graphiksystemen	111
4.2.2	Einsatz der Graphik in der Robotik	111
4.2.2.1	Graphische Modellierung	113
4.2.2.2	Graphische Darstellung	115
4.2.2.3	Graphische Ein-/Ausgabe	120
4.2.3	Ausnutzung der graphischen Simulation für die Robotik	121
4.2.3.1	Optische Kollisionskontrolle	121
4.2.3.2	Bewertung von Bewegungspunkten und Bewegungsbahnen	121
4.2.3.3	Untersuchung von Greifvorgängen und Manipulationen	122
4.2.3.4	Untersuchung des globalen Programmablaufs	123
4.3	Programmierung mit graphischen Simulationssystemen	123
4.3.1	Programmierung mit Robotersprachen	125
4.3.2	Programmierung mit Systemsprachen	125
4.3.3	CAD-orientierte Bewegungsprogrammierung	126
4.3.4	Graphische Roboterprogrammierung	128
4.3.4.1	Graphisches Teachen	129
4.3.4.2	Spezifikation von Bewegungszeilen und Greifoperationen	130
4.3.4.3	Graphische Symbole zur Handhabung von Parametern und Zuständen	130
4.3.4.4	Beispiel zur graphischen Programmierung	131
4.4	Simulation von Roboterprogrammen	132
4.4.1	Ausführung von Roboterprogrammen	134
4.4.2	Evaluation und Test von Roboterprogrammen	134
4.4.2.1	Analytische Kollisionserkennung	134
4.4.2.2	Zustandsgrößenberechnung und analytische Fehleranalyse	137
4.4.3	Protokollierung von Roboterprogrammen	138
4.5	Graphische Robotersimulationssysteme und ihre Bewertung	138
4.5.1	Bewertung graphischer Robotersimulationssysteme	139
<b>5.</b>	<b>Sensoren und Sensordatenverarbeitung</b>	<b>141</b>
5.1	Die wichtigsten Sensoren und ihre Klassifikation	145
5.1.1	Lage-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungssensoren	146

5.1.2	Optische Sensoren	146
5.1.2.1	Aufbau eines optischen Erkennungssystems	148
5.1.2.2	Sichtsysteme mit Grauwertverarbeitung	152
5.1.2.3	Laser - Scanner zur Abstandsmessung	153
5.1.3	Kraft- und Momentensensoren	154
5.1.4	Kombiniertes Effektor-Sensor-System zur Durchführung von Fügeoperationen	160
5.1.5	Taktile Sensorfelder	165
5.1.6	Näherungssensoren	172
5.1.7	Sicherheitssensoren	172
5.1.8	Ausblick	172
5.2	Geometrische Repräsentation des Weltmodells für die Sensorverarbeitung	173
5.2.1	Oberflächendarstellung von geometrischen Objekten	174
5.2.2	Verallgemeinerte Zylinder	179
5.2.3	Volumenorientierte Darstellung	181
5.3	Wissensbasierte Systeme in der Sensorik	184
5.3.1	Spezifikationsmechanismen für Multisensorsysteme	187
5.3.1.1	Logische Sensorspezifikation	188
5.3.2	Repräsentationsmöglichkeiten für das Umweltmodell	190
5.3.3	Wissensrepräsentationsmechanismen	191
<b>6.</b>	<b>Hierarchische Modellierung von Robotersteuerungsarchitekturen</b>	<b>198</b>
6.1	Grundprinzipien hierarchischer Roboterarchitekturen	199
6.2	Funktionale Systemarchitektur	206
6.2.1	Prinzip der Taskzerlegung	206
6.2.2	Referenzierung von Weltmodellen zur Unterstützung von Planung und Exekutive	206
6.2.3	Sensorverarbeitung	209
6.3	Struktur und Aufgabe des H-Moduls	213
6.3.1	Generierung von Plänen	213
6.4	Aufgabe des G-Moduls; die Sensorverarbeitungshierarchie	221
6.5	Die Informationshierarchie	224
6.5.1	Schnittstellen	227

<b>7.</b>	<b>Architektur autonomer Robotersysteme</b>	235
7.1	Merkmale autonomer Systeme	236
7.2	Aufgaben intelligenter Robotersystemarchitekturen	238
7.2.1	Erfassung der Umwelt	238
7.2.2	Speicherung von Wissen	239
7.2.3	Planung und Planerkennung	240
7.2.4	Ausführung von Plänen	240
7.2.5	Behandlung von Ausnahmesituationen	241
7.2.6	Wissenserweiterung durch Lernen	241
7.3	Steuerungsarchitekturen für autonome Systeme	242
7.3.1	Hierarchische funktionsorientierte Architekturen	244
7.3.2	Verteilte funktionsorientierte Architekturen	245
7.3.3	Hierarchische verhaltensorientierte Architekturen	246
7.3.4	Verteilte verhaltensorientierte Architekturen	248
7.4	Ausblick	250
<b>8.</b>	<b>Planungssysteme</b>	251
8.1	Einleitung	252
8.2	Historie von Planungssystemen in der KI	253
8.3	Spezielle Planungsmethoden und -probleme	255
8.3.1	Planungsmethoden	255
8.3.2	Spezielle Planungsprobleme	255
8.4	Planungssysteme in der Robotik	256
8.5	Spezielle Probleme in der Robotik	258
<b>Anhang A</b>		267
<b>Anhang B</b>		277
<b>Anhang C</b>		292
<b>Anhang D</b>		298
<b>Anhang E</b>		307
<b>Literaturverzeichnis</b>		323
<b>Stichwortverzeichnis</b>		332