

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG .....</b>	<b>13</b>
1.1	Interdisziplinäre Wissenschaft.....	13
1.2	Definition des Roboters .....	14
<b>2</b>	<b>GESCHICHTE DER ROBOTER.....</b>	<b>16</b>
2.1	Erste Ansätze .....	16
2.2	Jahrhunderte danach .....	17
2.3	Die Bezeichnung „Roboter“ .....	17
2.4	Modernere Konzepte .....	18
2.5	Im 20. Jahrhundert .....	18
2.5.1	Von 1961 bis 1970.....	19
2.5.2	Von 1971 bis 1980.....	19
2.5.3	Von 1981 bis 1990.....	20
2.5.4	Von 1991 bis 2000.....	21
2.6	Ab 2001 .....	22
<b>3</b>	<b>ROBOTERARTEN.....</b>	<b>24</b>
3.1	Stationäre Roboter .....	25
3.2	Mobile Roboter.....	25
3.3	Arbeitsroboter .....	28
3.4	Serviceroboter .....	29
3.5	Personal Roboter.....	31
3.6	Erkundungsroboter .....	31
3.7	Humanoide Roboter .....	33
3.8	Androiden.....	34
3.9	Industrieroboter .....	34
3.10	Militär- und Kampfroboer .....	35
3.11	Rettungsroboter.....	37
3.12	Roboter in der Medizin .....	38
3.13	Spielzeugroboter .....	41
3.14	Schwarmroboter .....	42
3.15	BEAM .....	44
3.16	Nanoroboter .....	44
3.17	Bionische Roboter.....	47
3.18	Bots .....	48
3.19	Autonome Kraftfahrzeuge .....	48
<b>4</b>	<b>AUTONOMIE BEI MOBILEN ROBOTERN.....</b>	<b>50</b>
4.1	Grade der Autonomie.....	50
4.2	Fähigkeiten und Forderungen.....	51

<b>4.3</b>	<b>Weltmodelle .....</b>	<b>51</b>
<b>4.4</b>	<b>Sensoren .....</b>	<b>52</b>
<b>4.5</b>	<b>Navigation .....</b>	<b>53</b>
<b>4.6</b>	<b>Steuerungsarchitekturen autonomer Roboter .....</b>	<b>54</b>
<b>4.7</b>	<b>Energieversorgung mobiler Roboter.....</b>	<b>56</b>
4.7.1	Akkumulatoren.....	57
4.7.2	„Supercaps“ .....	58
4.7.3	Brennstoffzellen .....	59
4.7.4	Photovoltaik .....	59
4.7.5	Strom von Mikroben .....	60
<b>5</b>	<b>DIE ROBOTERGESETZE .....</b>	<b>62</b>
<b>5.1</b>	<b>Nulltes Gesetz.....</b>	<b>62</b>
<b>5.2</b>	<b>Zukünftige Herausforderungen.....</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>MECHANISCHE KOMPONENTEN EINES ROBOTERS .....</b>	<b>64</b>
<b>6.1</b>	<b>Mechanischer Aufbau .....</b>	<b>64</b>
<b>6.2</b>	<b>Roboterkinematik .....</b>	<b>65</b>
<b>6.3</b>	<b>Freiheitsgrade .....</b>	<b>66</b>
<b>6.4</b>	<b>Gelenke und Achsen .....</b>	<b>67</b>
6.4.1	Rotations- und Translationsachsen .....	67
6.4.2	Gelenkbauformen .....	68
6.4.3	Symbole für Roboterachsen .....	69
<b>6.5</b>	<b>Rotatorische Achsen.....</b>	<b>70</b>
6.5.1	Kompaktgelenke.....	70
6.5.2	Konstruktive Maßnahmen.....	71
6.5.3	Getriebearten.....	72
6.5.4	Harmonic Drive Getriebe .....	75
<b>6.6</b>	<b>Translatorische Achsen – Linearantriebe.....</b>	<b>77</b>
6.6.1	Antriebskonzepte und Eigenschaften .....	78
6.6.2	Zahnstangen-Stirnrad-Antrieb.....	78
6.6.3	Spindelantriebe .....	79
6.6.4	Zahnriementrieb.....	80
6.6.5	Elektrozylinder .....	81
6.6.6	Hydraulik und Pneumatik.....	82
6.6.7	Linearmotoren.....	82
<b>6.7</b>	<b>Die kinematische Kette .....</b>	<b>84</b>
6.7.1	Serielle Kinematik.....	84
6.7.2	Parallelkinematik.....	85
6.7.3	Hexapoden, Tripoden.....	86
<b>6.8</b>	<b>DH-Transformation.....</b>	<b>86</b>
<b>6.9</b>	<b>Menschliche Gelenke .....</b>	<b>88</b>
6.9.1	Experiment .....	89
6.9.2	Rotationsbewegungen .....	90

<b>7</b>	<b>LAGERREGELUNG UND WEGMESSUNG .....</b>	<b>91</b>
<b>7.1</b>	<b>Lageregelkreise .....</b>	<b>91</b>
<b>7.2</b>	<b>Wegmessung .....</b>	<b>92</b>
7.2.1	Direkt und indirekt .....	92
7.2.2	Absolut oder inkremental .....	93
7.2.3	Gray-Code .....	95
<b>7.3</b>	<b>Drehzahlmessung .....</b>	<b>97</b>
<b>8</b>	<b>KOORDINATENSYSTEME .....</b>	<b>98</b>
<b>8.1</b>	<b>Koordinaten .....</b>	<b>98</b>
8.1.1	Kartesische Koordinaten .....	99
8.1.2	Polarkoordinaten .....	100
8.1.3	Zylinderkoordinaten .....	101
8.1.4	Kugelkoordinaten .....	102
<b>8.2</b>	<b>Bezugssysteme am Roboter .....</b>	<b>103</b>
8.2.1	Raumbezug .....	103
8.2.2	Achsenbezug .....	105
8.2.3	Transformationen .....	106
<b>9</b>	<b>INDUSTRIEROBOTER .....</b>	<b>107</b>
<b>9.1</b>	<b>Erste Industrieroboter .....</b>	<b>107</b>
<b>9.2</b>	<b>Definitionen, Kenngrößen und Anwendungen .....</b>	<b>108</b>
9.2.1	Definitionen .....	108
9.2.2	Kenngrößen von Industrierobotern .....	109
9.2.3	Anwendungsgebiete .....	112
<b>9.3</b>	<b>Aufbau von Industrierobotern .....</b>	<b>113</b>
9.3.1	Bestandteile .....	113
9.3.2	Mechanischer Aufbau .....	114
9.3.3	Bauarten .....	115
<b>9.4</b>	<b>Knickarm-Roboter .....</b>	<b>116</b>
<b>9.5</b>	<b>Schwenkarm-Roboter .....</b>	<b>118</b>
<b>9.6</b>	<b>Spezielle Bauformen .....</b>	<b>119</b>
9.6.1	SCARA-Roboter .....	119
9.6.2	Delta-Roboter .....	121
9.6.3	Leichtbauroboter .....	124
9.6.4	Soft Robotics .....	127
9.6.5	Portalroboter .....	128
<b>9.7</b>	<b>Aufgaben und Komponenten der Robotersteuerung .....</b>	<b>130</b>
9.7.1	Aufgaben und Anforderungen .....	130
9.7.2	Komponenten der Steuerung .....	131
9.7.3	Programmiergeräte .....	133
9.7.4	Bewegungsarten .....	135
9.7.5	Betriebsarten .....	137
<b>9.8</b>	<b>Markt und Hersteller .....</b>	<b>138</b>

<b>10</b>	<b>EFFEKTOREN UND GREIFER.....</b>	<b>144</b>
<b>10.1</b>	<b>Definitionen.....</b>	<b>144</b>
<b>10.2</b>	<b>Roboter-Handachsen .....</b>	<b>146</b>
10.2.1	Antriebe.....	146
10.2.2	Kinematikstrukturen .....	147
<b>10.3</b>	<b>Greifer .....</b>	<b>148</b>
<b>10.4</b>	<b>Greiferprinzipien.....</b>	<b>150</b>
<b>10.5</b>	<b>Anthropomorphe Greifer .....</b>	<b>158</b>
10.5.1	Roboterhände .....	158
10.5.2	Antriebe.....	159
10.5.3	Die DLR-Hand .....	160
<b>10.6</b>	<b>Roboterwerkzeuge .....</b>	<b>161</b>
<b>11</b>	<b>SICHERHEIT UND SCHUTZEINRICHTUNGEN IN DER ROBOTIK ...</b>	<b>165</b>
<b>11.1</b>	<b>Sicherheitstechnik allgemein.....</b>	<b>165</b>
<b>11.2</b>	<b>Risikobeurteilung .....</b>	<b>166</b>
11.2.1	Fehlverhalten .....	167
11.2.2	Gefährdungen .....	167
11.2.3	Risikobewertung.....	168
11.2.4	Risikominderung.....	168
<b>11.3</b>	<b>Die Richtlinie EN ISO 13849-1 .....</b>	<b>169</b>
11.3.1	Performance-Level .....	170
11.3.2	Einstufung des Risikos .....	170
11.3.3	Risikograf.....	171
11.3.4	Ermittlung des Performance Levels.....	171
<b>11.4</b>	<b>Von Robotern ausgehende Gefahren.....</b>	<b>172</b>
<b>11.5</b>	<b>Schutzmaßnahmen.....</b>	<b>173</b>
11.5.1	Sicherheitsfunktionen .....	174
11.5.2	Schutzeinrichtungen.....	174
11.5.3	Berührungslos wirkender Schutz.....	176
<b>11.6</b>	<b>Sicheres Stillsetzen.....</b>	<b>177</b>
<b>11.7</b>	<b>Redundanz .....</b>	<b>180</b>
<b>11.8</b>	<b>Mensch-Roboter-Kollaboration.....</b>	<b>181</b>
11.8.1	DIN EN ISO 10218-1/2 .....	181
11.8.2	Kollaborierende Roboter .....	182
11.8.3	Roboter ohne Schutzzaun .....	182
11.8.4	Kollisionsüberwachung .....	184
<b>12</b>	<b>PROGRAMMIERUNG VON ROBOTERN .....</b>	<b>186</b>
<b>12.1</b>	<b>Online-Programmierung .....</b>	<b>187</b>
12.1.1	Teach-in-Programmierung .....	187
<b>12.2</b>	<b>Offline-Programmierung.....</b>	<b>191</b>
12.2.1	Textuelle Programmierung.....	191
12.2.2	CAD-gestützte Verfahren .....	192
12.2.3	Simulation .....	194
12.2.4	Explizite Programmierverfahren .....	194

12.2.5	Implizite Programmierverfahren.....	195
12.2.6	Weitere Verfahren .....	196
<b>12.3</b>	<b>Programmiersprachen für Roboter.....</b>	<b>196</b>
12.3.1	Grundelemente von Robotersprachen .....	197
12.3.2	Einige Programmiersprachen.....	200
12.3.3	Kurzbeschreibung einiger Programmiersprachen.....	201
12.3.4	KRL von Kuka .....	203
<b>12.4</b>	<b>Das Problem der Normierung.....</b>	<b>206</b>
12.4.1	Programmiersprache IRL.....	207
12.4.2	IRDATA-Code.....	207
<b>12.5</b>	<b>Einbindung einer SPS .....</b>	<b>208</b>
<b>12.6</b>	<b>Tendenz: Einfachere Programmierung .....</b>	<b>209</b>
<b>13</b>	<b>DIE FIRMA KUKA .....</b>	<b>211</b>
<b>13.1</b>	<b>Unternehmensgeschichte.....</b>	<b>211</b>
<b>13.2</b>	<b>Kuka Roboter und Systems.....</b>	<b>212</b>
<b>13.3</b>	<b>Industrie 4.0.....</b>	<b>213</b>
<b>13.4</b>	<b>Mobiler Produktionsassistent .....</b>	<b>215</b>
<b>14</b>	<b>SENSOREN FÜR ROBOTER .....</b>	<b>216</b>
<b>14.1</b>	<b>Grundlagen der Sensorik.....</b>	<b>216</b>
14.1.1	Sensoren in der Automatisierung .....	217
14.1.2	Technische Sensoren.....	218
<b>14.2</b>	<b>Sensoren der Robotik .....</b>	<b>219</b>
14.2.1	Aufgaben der Sensoren, Anforderungen .....	219
14.2.2	Interne Sensoren.....	220
14.2.3	Externe Sensoren .....	221
<b>14.3</b>	<b>Näherungsschalter .....</b>	<b>222</b>
14.3.1	Berührende Sensoren .....	222
14.3.2	Berührungslos wirkende Geber .....	223
<b>14.4</b>	<b>Funktion diverser Näherungsschalter.....</b>	<b>224</b>
14.4.1	Induktive Näherungsschalter .....	224
14.4.2	Kapazitive Näherungsschalter.....	225
14.4.3	Magnetische Näherungsschalter .....	226
<b>14.5</b>	<b>Photoelektrische Sensoren .....</b>	<b>229</b>
14.5.1	Photoelektrischer Effekt .....	230
14.5.2	Optische Näherungsschalter .....	230
14.5.3	Lichtschraken .....	230
<b>14.6</b>	<b>Bildverarbeitung .....</b>	<b>232</b>
<b>14.7</b>	<b>Sensoren für mobile Roboter .....</b>	<b>236</b>
14.7.1	Interne und externe Sensoren .....	236
14.7.2	Näherungssensoren .....	237
14.7.3	Taktile Sensoren.....	238
14.7.4	Ultraschallsensoren.....	239
14.7.5	Messung mit Infrarot .....	241
14.7.6	Laser.....	241

14.7.7	Kamera .....	242
14.7.8	„Dead-Reckoning“ .....	242
<b>15</b>	<b>HUMANOIDE ROBOTER.....</b>	<b>244</b>
<b>15.1</b>	<b>Der Traum vom künstlichen Menschen .....</b>	<b>244</b>
<b>15.2</b>	<b>Wesentliche Eigenschaften humanoider Roboter .....</b>	<b>246</b>
<b>15.3</b>	<b>Technische Realisierung .....</b>	<b>247</b>
15.3.1	Technische Herausforderungen .....	247
15.3.2	Sensoren.....	248
15.3.3	Nur menschliche Sinnesorgane? .....	250
<b>15.4</b>	<b>Aufbau .....</b>	<b>250</b>
<b>15.5</b>	<b>Die Roboterhand.....</b>	<b>252</b>
15.5.1	Die menschliche Hand.....	252
15.5.2	Roboterhände .....	253
15.5.3	Antriebe.....	254
15.5.4	Steuerung.....	256
15.5.5	Mensch-Roboter-Kooperation .....	258
<b>15.6</b>	<b>Der aufrechte Gang .....</b>	<b>259</b>
15.6.1	Analyse des Gehens.....	260
15.6.2	Neue Lösungsansätze.....	262
<b>15.7</b>	<b>Autonomie humanoider Roboter .....</b>	<b>265</b>
15.7.1	Autonome Roboter .....	265
15.7.2	Realisierung.....	266
<b>15.8</b>	<b>Bekannte humanoide Roboter .....</b>	<b>269</b>
<b>15.9</b>	<b>Roboterethik .....</b>	<b>272</b>
<b>16</b>	<b>KÜNSTLICHE INTELLIGENZ.....</b>	<b>275</b>
<b>16.1</b>	<b>Was ist Intelligenz? .....</b>	<b>275</b>
<b>16.2</b>	<b>Künstliche Intelligenz.....</b>	<b>276</b>
<b>16.3</b>	<b>Maschinelles Sehen .....</b>	<b>277</b>
<b>16.4</b>	<b>Mustererkennung .....</b>	<b>279</b>
<b>16.5</b>	<b>Künstliche neuronale Netze .....</b>	<b>281</b>
<b>16.6</b>	<b>Kybernetik.....</b>	<b>284</b>
<b>16.7</b>	<b>Pioniere der künstlichen Intelligenz .....</b>	<b>286</b>
<b>17</b>	<b>AUSBLICK: ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN.....</b>	<b>290</b>
	<b>STICHWORTVERZEICHNIS.....</b>	<b>300</b>