

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG .....</b>	<b>15</b>
1.1	Interdisziplinäre Wissenschaft .....	15
1.2	Definition des Roboters .....	16
<b>2</b>	<b>GESCHICHTE DER ROBOTER.....</b>	<b>18</b>
2.1	Erste Ansätze .....	18
2.2	Jahrhunderte danach .....	19
2.3	Die Bezeichnung „Roboter“ .....	19
2.4	Modernere Konzepte .....	20
2.5	Im 20. Jahrhundert.....	20
2.5.1	Von 1961 bis 1970 .....	21
2.5.2	Von 1971 bis 1980 .....	21
2.5.3	Von 1981 bis 1990 .....	22
2.5.4	Von 1991 bis 2000 .....	23
2.6	Ab 2001 .....	24
<b>3</b>	<b>ROBOTERARTEN.....</b>	<b>26</b>
3.1	Stationäre Roboter.....	27
3.2	Mobile Roboter.....	27
3.3	Arbeitsroboter .....	30
3.4	Serviceroboter.....	31
3.5	Personal Roboter .....	32
3.6	Erkundungsroboter .....	33
3.7	Humanoide Roboter.....	34
3.8	Androiden .....	35
3.9	Industrieroboter .....	36
3.10	Militär- und Kampfroboter .....	36
3.11	Rettungsroboter.....	38

<b>3.12</b>	<b>Roboter in der Medizin .....</b>	<b>39</b>
<b>3.13</b>	<b>Spielzeugroboter .....</b>	<b>42</b>
<b>3.14</b>	<b>Schwarmroboter .....</b>	<b>43</b>
<b>3.15</b>	<b>BEAM .....</b>	<b>45</b>
<b>3.16</b>	<b>Nanoroboter .....</b>	<b>46</b>
<b>3.17</b>	<b>Bionische Roboter .....</b>	<b>48</b>
<b>4</b>	<b>AUTONOMIE BEI MOBILEN ROBOTERN .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1</b>	<b>Grade der Autonomie .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2</b>	<b>Fähigkeiten und Forderungen .....</b>	<b>51</b>
<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>129</b>
9.7.1	Aufgaben und Anforderungen .....	130
9.7.2	Komponenten der Steuerung.....	131
9.7.3	Programmiergeräte.....	133
9.7.4	Bewegungsarten .....	134
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>142</b>
<b>10.1</b>	<b>Definitionen .....</b>	<b>142</b>
<b>10.2</b>	<b>Roboter-Handachsen .....</b>	<b>144</b>
10.2.1	Antriebe .....	144
10.2.2	Kinematikstrukturen .....	145
<b>10.3</b>	<b>Greifer .....</b>	<b>146</b>
<b>10.4</b>	<b>Greiferprinzipien .....</b>	<b>148</b>
<b>10.5</b>	<b>Anthropomorphe Greifer.....</b>	<b>156</b>
10.5.1	Roboterhände .....	156
10.5.2	Antriebe .....	157
10.5.3	Die DLR-Hand .....	158
<b>10.6</b>	<b>Roboterwerkzeuge.....</b>	<b>159</b>

<b>11</b>	<b>SICHERHEIT UND SCHUTZEINRICHTUNGEN IN DER ROBOTIK ...</b>	<b>163</b>
<b>11.1</b>	<b>Sicherheitstechnik allgemein .....</b>	<b>163</b>
<b>11.2</b>	<b>Risikobeurteilung.....</b>	<b>164</b>
11.2.1	Fehlverhalten .....	165
11.2.2	Gefährdungen .....	165
11.2.3	Risikobewertung .....	166
11.2.4	Risikominderung .....	166
<b>11.3</b>	<b>Die Richtlinie EN ISO 13849-1.....</b>	<b>167</b>
11.3.1	Performance-Level .....	168
11.3.2	Einstufung des Risikos.....	168
11.3.3	Risikograf .....	169
11.3.4	Ermittlung des Performance Levels .....	169
<b>11.4</b>	<b>Von Robotern ausgehende Gefahren .....</b>	<b>170</b>
<b>11.5</b>	<b>Schutzmaßnahmen .....</b>	<b>171</b>
11.5.1	Sicherheitsfunktionen .....	172
11.5.2	Schutzeinrichtungen .....	172
11.5.3	Berührungslos wirkender Schutz .....	174
<b>11.6</b>	<b>Sicheres Stillsetzen .....</b>	<b>175</b>
<b>11.7</b>	<b>Redundanz.....</b>	<b>178</b>
<b>11.8</b>	<b>Mensch-Roboter-Kollaboration .....</b>	<b>179</b>
11.8.1	DIN EN ISO 10218-1/2.....	179
11.8.2	Kollaborierende Roboter .....	180
11.8.3	Roboter ohne Schutzzaun.....	180
11.8.4	Kollisionsüberwachung .....	182
<b>12</b>	<b>PROGRAMMIERUNG VON ROBOTERN.....</b>	<b>184</b>
<b>12.1</b>	<b>Online-Programmierung .....</b>	<b>185</b>
12.1.1	Teach-in-Programmierung.....	185
<b>12.2</b>	<b>Offline-Programmierung .....</b>	<b>189</b>
12.2.1	Textuelle Programmierung .....	189
12.2.2	CAD-gestützte Verfahren .....	190
12.2.3	Simulation .....	192
12.2.4	Explizite Programmierverfahren .....	192
12.2.5	Implizite Programmierverfahren .....	193
12.2.6	Weitere Verfahren .....	194
<b>12.3</b>	<b>Programmiersprachen für Roboter.....</b>	<b>194</b>
12.3.1	Grundelemente von Robotersprachen .....	195
12.3.2	Einige Programmiersprachen.....	198
12.3.3	Kurzbeschreibung einiger Programmiersprachen .....	199
12.3.4	KRL von Kuka.....	201

<b>12.4</b>	<b>Das Problem der Normierung.....</b>	<b>204</b>
12.4.1	Programmiersprache IRL.....	205
12.4.2	IRDATA-Code.....	205
<b>12.5</b>	<b>Einbindung einer SPS .....</b>	<b>206</b>
<b>12.6</b>	<b>Tendenz: Einfachere Programmierung .....</b>	<b>207</b>
<b>13</b>	<b>DIE FIRMA KUKA .....</b>	<b>209</b>
<b>13.1</b>	<b>Unternehmensgeschichte.....</b>	<b>209</b>
<b>13.2</b>	<b>Kuka Roboter und Systems.....</b>	<b>210</b>
<b>13.3</b>	<b>Industrie 4.0.....</b>	<b>211</b>
<b>13.4</b>	<b>Mobiler Produktionsassistent .....</b>	<b>213</b>
<b>14</b>	<b>SENSOREN FÜR ROBOTER .....</b>	<b>214</b>
<b>14.1</b>	<b>Grundlagen der Sensorik.....</b>	<b>214</b>
14.1.1	Sensoren in der Automatisierung .....	215
14.1.2	Technische Sensoren.....	216
<b>14.2</b>	<b>Sensoren der Robotik .....</b>	<b>217</b>
14.2.1	Aufgaben der Sensoren, Anforderungen .....	217
14.2.2	Interne Sensoren.....	218
14.2.3	Externe Sensoren .....	219
<b>14.3</b>	<b>Näherungsschalter .....</b>	<b>220</b>
14.3.1	Berührende Sensoren .....	220
14.3.2	Berührungslos wirkende Geber .....	221
<b>14.4</b>	<b>Funktion diverser Näherungsschalter .....</b>	<b>222</b>
14.4.1	Induktive Näherungsschalter .....	222
14.4.2	Kapazitive Näherungsschalter .....	223
14.4.3	Magnetische Näherungsschalter .....	224
<b>14.5</b>	<b>Photoelektrische Sensoren .....</b>	<b>227</b>
14.5.1	Photoelektrischer Effekt .....	228
14.5.2	Optische Näherungsschalter .....	228
14.5.3	Lichtschranken .....	229
<b>14.6</b>	<b>Bildverarbeitung .....</b>	<b>230</b>
<b>14.7</b>	<b>Sensoren für mobile Roboter .....</b>	<b>234</b>
14.7.1	Interne und externe Sensoren .....	234
14.7.2	Näherungssensoren .....	235
14.7.3	Taktile Sensoren.....	236
14.7.4	Ultraschallsensoren.....	237
14.7.5	Messung mit Infrarot .....	239

---

14.7.6	Laser.....	239
14.7.7	Kamera.....	240
14.7.8	„Dead-Reckoning“.....	240
<b>15</b>	<b>HUMANOIDE ROBOTER.....</b>	<b>242</b>
<b>15.1</b>	<b>Der Traum vom künstlichen Menschen.....</b>	<b>242</b>
<b>15.2</b>	<b>Wesentliche Eigenschaften humanoider Roboter.....</b>	<b>244</b>
<b>15.3</b>	<b>Technische Realisierung .....</b>	<b>245</b>
15.3.1	Technische Herausforderungen.....	245
15.3.2	Sensoren .....	246
15.3.3	Nur menschliche Sinnesorgane?.....	248
<b>15.4</b>	<b>Aufbau.....</b>	<b>248</b>
<b>15.5</b>	<b>Die Roboterhand.....</b>	<b>250</b>
15.5.1	Die menschliche Hand .....	250
15.5.2	Roboterhände .....	251
15.5.3	Antriebe .....	252
15.5.4	Steuerung.....	254
15.5.5	Mensch-Roboter-Kooperation.....	256
<b>15.6</b>	<b>Der aufrechte Gang.....</b>	<b>257</b>
15.6.1	Analyse des Gehens .....	258
15.6.2	Neue Lösungsansätze .....	260
<b>15.7</b>	<b>Autonomie humanoider Roboter.....</b>	<b>263</b>
15.7.1	Autonome Roboter .....	263
15.7.2	Realisierung .....	264
<b>15.8</b>	<b>Bekannte humanoide Roboter.....</b>	<b>266</b>
<b>15.9</b>	<b>Roboterethik.....</b>	<b>269</b>
<b>16</b>	<b>KÜNSTLICHE INTELLIGENZ.....</b>	<b>272</b>
<b>16.1</b>	<b>Was ist Intelligenz?.....</b>	<b>272</b>
<b>16.2</b>	<b>Künstliche Intelligenz.....</b>	<b>273</b>
<b>16.3</b>	<b>Maschinelles Sehen.....</b>	<b>274</b>
<b>16.4</b>	<b>Mustererkennung.....</b>	<b>275</b>
<b>16.5</b>	<b>Künstliche neuronale Netze.....</b>	<b>277</b>
<b>16.6</b>	<b>Kybernetik .....</b>	<b>281</b>
<b>16.7</b>	<b>Pioniere der künstlichen Intelligenz .....</b>	<b>282</b>

**17      AUSBLICK: ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN..... 286**

**STICHWORTVERZEICHNIS..... 294**