

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Die Geschichte der kollaborativen Robotik .....	3
1.2	Arten der kollaborativen Robotik .....	4
1.2.1	Unterscheidung nach Norm .....	4
1.2.2	Unterscheidung nach Kontaktsituation .....	6
1.2.3	Was ist überhaupt ein kollaborativer Roboter? .....	7
<b>2</b>	<b>Auswahl des Roboters</b> .....	<b>11</b>
2.1	Technische Kennwerte .....	14
2.1.1	Positionsgenauigkeit vs. Positions-Wiederholgenauigkeit .....	14
2.1.2	Sicherheitskennzahlen .....	15
2.1.2.1	Der Performance Level .....	17
2.1.2.2	Safety Integrity Level .....	19
2.1.3	Geschwindigkeit .....	19
2.1.4	Schnittstellen .....	22
2.2	Programmierung und Bedienung .....	22
2.3	AddOns und Zusatzgeräte .....	24
<b>3</b>	<b>Der kollaborierende Roboter in der Normung</b> .....	<b>25</b>
3.1	CE-Richtlinien .....	26
3.2	Die Maschinenrichtlinie .....	28
3.3	Die Risikobeurteilung nach EN ISO 12100 .....	33
3.3.1	Grenzen der Maschine .....	34
3.3.2	Identifizierung der Gefährdung .....	36
3.3.3	Risikoeinschätzung .....	38
<b>4</b>	<b>Der sichere überwachte Halt</b> .....	<b>49</b>
4.1	Betrachtung der Stoppzeiten und Stoppwege .....	53
4.2	Berechnen oder Messen .....	56
4.3	Sicherheitsfunktionen für Stoppzeiten und Stoppwege .....	57

<b>5</b>	<b>Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>Kraft- und Leistungsbegrenzung</b>	<b>67</b>
6.1	Die ISO TS 15066 und ihre Anwendung	67
6.2	Messung der physikalischen Parameter	72
6.2.1	Kraft- und Druckmessung	72
6.2.2	Berechnung der Kollisionskräfte	77
6.3	Messungen in der Applikation	81
6.4	Bewertung der Kraft- und Druckwerte	84
<b>7</b>	<b>Die kollaborierende Applikation mit Handführung</b>	<b>89</b>
7.1	Normative Einführung	89
7.2	Assistierende Systeme in der Praxis	90
7.2.1	Roboter als Hebezeug	90
7.2.2	Roboter als Werkstückhalter	92
<b>8</b>	<b>Beispiele aus der Praxis</b>	<b>95</b>
8.1	Beispiele Maschinenbeladung	95
8.2	Beispiel Schraubanwendung	99
8.3	Beispiel Palettierer	101
8.4	Beispiel Handführungen mit dem Industrieroboter	107
8.4.1	Produktaufnahme handgeführt	107
8.4.2	Produktablage handgeführt	110
8.4.3	Qualitätskontrolle am Werkstück	111
8.5	Beispiel Klebeanwendung	118
8.6	Beispiel Montage	120
8.7	Beispiel Qualitätssicherung	123
8.8	Beispiel Schweißen mit dem Cobot	125
8.8.1	Offene Applikationen	125
8.8.2	Geschlossene Applikationen	128
8.9	Beispiel Schleifen und Polieren	130
<b>9</b>	<b>Der Zustimmungstaster: notwendig oder überflüssig?</b>	<b>133</b>
9.1	Aufgabe des Zustimmungstasters in traditionellen Anwendungen	133
9.2	Der Zustimmungstaster in kollaborierenden Anwendungen	135
9.3	Erkenntnisse zum Zustimmungstaster in kollaborierenden Anwendungen	138

<b>10 Regeln für die Planung und den Bau einer kollaborierenden Applikation</b> .....	<b>141</b>
10.1 Der Kollaborationsraum .....	144
10.2 Sinnvolle Verknüpfung von Sicherheitsfunktionen .....	146
10.2.1 Sicherheitskonzept – hybrides MRK-System .....	147
10.2.2 Personenerkennung zum Wechsel in Kraft- und Leistungsbegrenzung ..	149
10.2.3 Konzept Sequenzerkennung durch Scanner und Logik – Hintertretschutz	151
10.2.4 Hintertretschutz/Personendetektion durch Radar .....	152
10.2.5 Limitierung der $V_{\max}$ = Reduzierung des $S_{BWS}$ .....	153
10.2.6 Geschwindigkeitskaskaden, wenn wenig Platz vorhanden ist .....	158
10.2.7 Autonomer Wiederanlauf .....	160
10.3 Autonomer Wiederanlauf bei Kraft- und Leistungsbegrenzungen .....	163
10.4 Design des Roboters und Endeffektors .....	164
10.4.1 Kollisionsfreundlich ab Werk .....	164
10.4.2 Taktile Absicherung .....	166
10.4.3 Berührungslos wirkende Absicherung .....	167
10.5 Absicherung des Werkstücks .....	169
10.6 Schutzprinzipien .....	173
10.6.1 Inhärent sichere Konstruktion .....	174
10.6.2 Technische Schutzmaßnahmen .....	177
10.6.3 Schutzeinrichtungen des Industrieroboters .....	185
10.6.4 Not-Halt am Robotersystem .....	189
10.6.5 Betriebsanleitung des Robotersystems .....	190
10.6.6 Persönliche Schutzausrüstung (PSA) .....	193
10.6.7 Unterweisung .....	194
10.6.8 Signale und Warnungen .....	195
10.6.9 Kennzeichnung .....	196
<b>11 Ausblick auf kommende Techniken</b> .....	<b>199</b>
11.1 Vom Integrationsprojekt zur Online-Applikation .....	201
11.2 Von der Kollisionserkennung zur Kollisionsvermeidung .....	203
11.3 Simulationsbasierte Bewertung einer Kollision .....	205
<b>12 Zusammenfassung</b> .....	<b>209</b>
<b>13 Normen</b> .....	<b>211</b>
<b>Literatur</b> .....	<b>213</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>215</b>