

# 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</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>209</b>
<b>13</b>	<b>Normen .....</b>	<b>211</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>213</b>
	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>215</b>