

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort.....</b>	<b>I</b>
<b>Kurzfassung .....</b>	<b>III</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>V</b>
<b>Liste der eigenen Veröffentlichungen im Kontext.....</b>	<b>VII</b>
<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>XIV</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation und thematische Einordnung .....	2
1.2 Problemstellung und Zielsetzung .....	8
1.3 Vorgehensweise / Gliederung der Arbeit.....	9
<b>2 Stand der Technik und Forschung .....</b>	<b>11</b>
2.1 Technische Systeme und Komponenten .....	12
2.1.1 Roboter und Robotersysteme .....	12
2.1.1.1 Klassischer Roboter und sicherheitstechnische Steuerungserweiterungen ...	15
2.1.1.2 Roboter mit hohem MRK-Einsatzpotenzial .....	19
2.1.1.3 Vorwettbewerbliche Roboter für den MRK-Einsatz .....	25
2.1.2 Sensorik .....	25
2.1.2.1 Verfügbare Sensorsysteme für den MRK-Einsatz .....	26
2.1.2.2 Vorwettbewerbliche Sensorsysteme für den MRK-Einsatz .....	30
2.1.3 Endeffektoren.....	31
2.2 Mensch-Roboter-Kollaboration – Definitionen, Betriebsmodi, Beispiele.....	32
2.2.1 Begriffsdefinitionen .....	33
2.2.2 Betriebsmodi in der Mensch-Roboter-Kollaboration.....	35
2.2.3 Das Forschungsprojekt ‚rorarob‘ als Beispiel für die MRK .....	38
2.2.3.1 Referenzprozess Rahmenbaugruppe (Fa. Böcker Maschinenwerke GmbH)...	39
2.2.3.2 Referenzprozess Rohrbaugruppe (Fa. MAN SE) .....	40
2.2.3.3 Prozessablauf .....	43
2.2.3.4 Sicherheitskonzept.....	44
2.2.4 Weitere Anwendungsbeispiele mit MRK in Forschung und Industrie .....	48

2.3	Normen, Richtlinien und rechtlicher Stand .....	51
2.3.1	Relevante Normen und Richtlinien .....	51
2.3.1.1	Europäische Maschinenrichtlinie 2006/42/EG .....	52
2.3.1.2	Typ-A-Norm.....	53
2.3.1.3	Typ-B-Normen.....	55
2.3.1.4	Typ-C-Norm.....	61
2.3.1.5	ISO/TS 15066 – Robots and robotic devices – Collaborative robots .....	63
2.3.1.6	BG/BGIA-Empfehlungen für die Gefährdungsbeurteilung nach Maschinenrichtlinie .....	66
2.3.2	Anpassungen der neuen Fassungen / Entwicklungen im Bereich der Normen .....	66
2.3.3	Zusammenfassung der relevante Normen und Richtlinien.....	68
2.3.4	Rechtlicher Stand.....	68
2.4	Personal und Personaleinsatz.....	69
2.4.1	Belastungen von Mitarbeitern .....	70
2.4.2	Personengruppen in der industriellen Montage .....	70
2.4.3	Wohlbefinden der Mitarbeiter in der Mensch-Roboter-Interaktion .....	72
2.4.4	Demographie und leistungsgewandelte Mitarbeiter .....	74
2.5	Produktionsplanung und -optimierung .....	75
2.5.1	Optimierung der Produktion .....	75
2.5.2	Produktionsplanung in der Montage .....	76
2.5.3	Fähigkeitsorientierte Montageplanung.....	76
2.6	Industrielle Montage .....	77
2.6.1	Bauteileigenschaften .....	77
2.6.2	Montage in der Produktion .....	78
2.6.3	Montage- und automatisierungsgerechte Produktgestaltung .....	79
2.7	Thematische Einordnung und Abgrenzungen .....	80
2.7.1	Industrielle Robotik vs. Servicerobotik.....	81
2.7.2	Beschränkung auf die Montage.....	82
2.7.3	Weitere Abgrenzungen.....	82
2.8	Zwischenfazit des Standes der Technik.....	83
<b>3</b>	<b>Bewertungssystematik zur Auswahl technischer Systeme .....</b>	<b>87</b>

3.1	Problemstellung.....	87
3.2	Entscheidungshilfe durch Bewertungssysteme.....	88
3.3	Anforderungen an eine Bewertungssystematik im Kontext Mensch-Roboter-Kollaboration .....	91
3.4	Zusammenfassung des Handlungsbedarfs .....	92
<b>4</b>	<b>Darstellung des Konzeptes der Bewertungssystematik für die Mensch-Roboter-Kollaboration.....</b>	<b>95</b>
4.1	Detaillierte Beschreibung des Bewertungssystems .....	95
4.2	Paarweiser Vergleich der Bewertungskriterien.....	101
4.3	Einflussparameter.....	102
4.3.1	Personal .....	103
4.3.2	Bauteile.....	107
4.3.3	Montageaufgabe .....	110
4.3.4	Technische Gegebenheiten .....	113
4.3.5	Produktionssystem .....	116
4.4	Ausschlusskriterien.....	119
<b>5</b>	<b>Umsetzung des Konzeptes der Bewertungssystematik für die Mensch-Roboter-Kollaboration.....</b>	<b>121</b>
5.1	Umsetzung der Bewertungssystematik.....	122
5.2	Struktureller Aufbau der Bewertungssystematik.....	123
5.2.1	Startseite der Bewertungssystematik .....	123
5.2.2	Abfrage der Kriterien .....	124
5.2.3	Darstellung des Ergebnisses .....	127
5.2.4	Nutzung des Ergebnisses .....	128
<b>6</b>	<b>Verifikation der Bewertungssystematik für die Mensch-Roboter-Kollaboration .....</b>	<b>131</b>
6.1	Einsatz der Bewertungssystematik in der Klemmenleistenmontage.....	131
6.1.1	Aufgabenbeschreibung.....	132
6.1.2	Eingangsgrößen für die Klemmenleistenmontage in der universitären Produktion .....	134
6.1.3	Ergebnis für die Klemmenleistenmontage in der universitären Produktion .....	139

6.1.4	Eingangsgrößen für die Klemmenleistenmontage in der industriellen Produktion .....	140
6.1.5	Ergebnis für die Klemmenleistenmontage in der industriellen Produktion .....	145
6.2	Einsatz der Bewertungssystematik bei der Montage von Haushaltsgeräten .....	146
6.2.1	Aufgabenbeschreibung.....	146
6.2.2	Eingangsgrößen bei der Montage von Hausgeräten.....	147
6.2.3	Ergebnis der Bewertungssystematik bei der Montage von Haushaltsgeräten.....	152
<b>7</b>	<b>Überprüfung der Bewertungssystematik .....</b>	<b>155</b>
7.1	Allgemeine Tauglichkeitsbewertung .....	155
7.2	Vergleich der Verifikationen von der universitären und der industriellen Produktion ....	156
7.3	Bewertung der Übertragbarkeit auf unterschiedliche Montageprozesse .....	158
7.4	Zusammenfassung der Verifikation.....	159
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>161</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>165</b>
	Literatur.....	165
	Normen und Richtlinien .....	182
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>184</b>
	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>187</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>191</b>
A	Ergänzungen zu 2.3: Normen, Richtlinien und rechtlicher Stand .....	191
A.1	Zusammenfassung bedeutender Begriffe der DIN EN ISO 12100 .....	191
A.2	DIN EN ISO 13849.....	192
B	Tabellen zu 4.3 Einflussparameter .....	194
B.1	Tabellen zu 4.3.1 Einflussparameter Personal.....	194
B.2	Tabellen zu 4.3.2 Einflussparameter Bauteile .....	203
B.3	Tabellen zu 4.3.3 Einflussparameter Montageaufgabe.....	208
B.4	Tabellen zu 4.3.4 Einflussparameter Technische Gegebenheiten.....	214
B.5	Tabellen zu 4.3.5 Einflussparameter Produktionssystem.....	218
C	Matrizen der paarweisen Vergleiche (Kapitel 4.2).....	224
	<b>Schriftenreihe des Lehrstuhls für Produktionssysteme .....</b>	<b>231</b>
	<b>Lebenslauf.....</b>	<b>241</b>