

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	1
1.1 Problemstellung .....	2
1.2 Zielsetzung .....	3
1.3 Aufbau der Arbeit .....	3
<b>2 Grundlagen</b> .....	5
2.1 Grundlagen der Industrierobotik .....	5
2.2 Hybride Montagesysteme / Leichtbaurobotik .....	8
2.3 Rechtliche Rahmenbedingungen .....	12
2.3.1 Maschinenrichtlinie 2006/42/EG .....	13
2.3.2 Normenwerk der Maschinensicherheit .....	15
2.4 Risikobeurteilung nach EN ISO 12100 .....	17
2.5 Übersicht relevanter Normen und Spezifikationen für Koexistenz-Systeme .....	25
<b>3 Systematische Analyse und resultierende Handlungsfelder</b> .....	35
3.1 Grundlegende Anforderungen aus der EG-Maschinenrichtlinie .....	36
3.2 Konkretisierung der relevanten Anforderungen aus der EG-Maschinenrichtlinie .....	37
3.3 Sicherheitstechnische Anforderungen aus den Normen .....	41
3.4 Identifizierung normativer Handlungsfelder .....	44
3.5 Zusammenfassung .....	46
<b>4 Identifikation möglicher Ansatzpunkte für eine erweiterte Methodik</b> .....	49
4.1 Übersicht und Vorgehen .....	49

4.2	Ansätze für eine erweiterte Bewertungsmethodik .....	51
4.2.1	Identifizierung relevanter Einflussgrößen einer Roboterbewegung .....	51
4.2.2	Erweiterter Ansatz zur Reduzierung des Mindestabstands gemäß EN ISO 13855 .....	52
4.2.3	Ansatz für bewegliche trennende Schutzeinrichtungen .....	56
4.2.4	Offene Themen .....	56
4.3	Zusammenfassung .....	57
<b>5</b>	<b>Versuchsaufbau zur experimentellen Validierung der Ansätze .....</b>	<b>59</b>
5.1	Eingesetzte Hardware .....	59
5.1.1	Mechanischer Grundaufbau .....	60
5.1.2	Leichtbauroboter – Universal Robots UR3e .....	60
5.1.3	Messtechnik .....	65
5.2	Versuchsszenarien I – Allgemeines Verhalten und bei definiertem Stoppsignal .....	68
5.2.1	Beschreibung Versuchsszenario I .....	69
5.2.2	Allgemeines Verhalten – Sicherheitsparameter .....	69
5.2.3	Verhalten bei definiertem Stoppsignal .....	74
5.2.4	Verhalten bei Kontakt situation nach ausgelöstem Stoppsignal .....	78
5.3	Versuchsszenarien II – Öffnungszeit bewegliche trennende Schutzeinrichtung .....	82
5.3.1	Beschreibung Versuchsszenario II .....	82
5.3.2	Auswertung und Interpretation der Daten .....	82
5.4	Zusammenfassung .....	85
<b>6</b>	<b>Erweiterte Bewertungsmethodik für MRK-Anwendungen in Koexistenz .....</b>	<b>87</b>
6.1	Anforderungen an die erweiterte Bewertungsmethodik .....	87
6.2	Erweiterte Bewertungsmethodik in Form eines erweiterten Risikographen .....	88
6.2.1	Schadensausmaß .....	89
6.2.2	Eintrittswahrscheinlichkeit des Schadens .....	93
6.2.3	Risikomatrix / Risikokategorie .....	96
6.3	Vorgehensmodell der erweiterten Bewertungsmethodik .....	98

---

<b>7 Validierung der erweiterten Bewertungsmethodik</b> .....	101
7.1 Anwendungsbeispiel – reale Roboter-Anwendung .....	101
7.2 Relevante Daten des Anwendungsbeispiels .....	103
7.3 Erweiterte Bewertungsmethodik anwenden .....	105
7.3.1 Gefahrbringende Bewegungen und Kontaktarten identifizieren .....	106
7.3.2 Bestimmung des Schadensausmaßes .....	107
7.3.3 Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit .....	109
7.3.4 Risikokategorie bestimmen .....	110
7.3.5 Ergebnis der erweiterten Bewertungsmethodik .....	112
7.4 Konkrete Maßnahmen zur Risikominderung .....	114
7.5 Ergebnisse und Diskussion .....	116
<b>8 Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	119
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	125