

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	2
1.2	Zielsetzung	3
1.3	Aufbau der Arbeit	3
2	Grundlagen	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
3	Systematische Analyse und resultierende Handlungsfelder	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
4	Identifikation möglicher Ansatzpunkte für eine erweiterte Methodik	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
5	Versuchsaufbau zur experimentellen Validierung der Ansätze	59
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 Kontaktsituation 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
6	Erweiterte Bewertungsmethodik für MRK-Anwendungen in Koexistenz	87
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

7	Validierung der erweiterten Bewertungsmethodik	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
8	Zusammenfassung und Ausblick	119
	Literaturverzeichnis	125