

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abkürzungsverzeichnis.....	vii
Verzeichnis der Formelzeichen	xi
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Flexibilitätssteigerung durch Arbeitsraumteilung	2
1.3 Zielsetzung und Vorgehensweise	4
2 Stand der Forschung und Technik	7
2.1 Industrieroboter.....	7
2.1.1 Grundkomponenten und -begriffe	7
2.1.2 Entwicklung und Einsatzfeld.....	8
2.1.3 Programmierverfahren und Robotersteuerung	10
2.2 Mensch-Roboter-Kooperation	12
2.2.1 Einführung	12
2.2.2 Formen der Kooperation.....	15
2.3 Sicherheit in der Kooperation.....	17
2.3.1 Allgemeines	17
2.3.2 Einsatzvoraussetzungen.....	19
2.3.3 Sicherheitsmaßnahmen	21
2.3.4 Normative Rahmenbedingungen	22
2.4 Sicherheitsstrategien.....	26

2.4.1	Einführung.....	26
2.4.2	Energieabsorption.....	27
2.4.3	Kontaktdetektion und -reaktion.....	30
2.4.4	Kontaktprediktion und -reaktion	32
2.4.5	Lokalisierung.....	36
2.4.6	Bewertung bestehender Ansätze	38
2.5	Konkretisierung des Handlungsbedarfs	42
3	Anforderungen an eine Mensch-Roboter-Koexistenz in der Fließmontage	45
3.1	Allgemeines.....	45
3.2	Montageprozess.....	46
3.3	Arbeitsraumüberwachung	47
3.4	Roboterbahnplanung	49
3.5	Ökonomische Effizienz.....	52
3.6	Systemaufbau	53
3.7	Fazit	53
4	Konzeption und Systementwurf	55
4.1	Übersicht und Vorgehen.....	55
4.2	Entwurf des Synchronisationskonzepts.....	57
4.2.1	Systemgrenzen und Synchronisationskaskade	57
4.2.2	Synchronisationsprinzip	58
4.2.3	System I: Montagehauptidekörper – Roboter	59
4.2.4	System II: Roboter – Überwachungsraum	61
4.3	Statechart-Modell	62

4.3.1	Allgemeines	62
4.3.2	Industrieroboter als Statechart	63
4.4	Robotermodell	64
4.4.1	Allgemeines	64
4.4.2	Modellierungsräume	65
4.4.3	Koordinatentransformation	66
4.4.4	Systemtheoretische Betrachtung	68
4.4.5	Auswahl Identifikationsverfahren	70
4.4.6	Systemidentifikation	73
4.4.7	Prädiktion	78
4.5	Arbeitsraumüberwachung und -synchronisation	80
4.5.1	Allgemeines	80
4.5.2	Positionserkennung	82
4.5.3	Ablaufmodellierung	83
4.5.4	Arbeitsraumsynchronisation	95
4.5.5	Zwischenfazit	101
4.6	Umgebungsmodell	102
4.6.1	Allgemeines	102
4.6.2	Konkretisierung der Aufgabe	103
4.6.3	Mapping	105
4.6.4	Simplifizierung	110
4.7	Roboterbahnplanung	113
4.7.1	Allgemeines	113
4.7.2	Bahnplanung – Montageprozess	114
4.7.3	Bahnregelung – Re-Synchronisation	115

4.7.4	Bahnanpassung – Kollisionsvermeidung	117
4.8	Zusammenfassung des Konzepts.....	129
5	Systemaufbau und -erprobung.....	131
5.1	Einführung.....	131
5.2	Systemaufbau	131
5.2.1	Übersicht.....	131
5.2.2	Elektrohängebahn mit PKW-Karosse	132
5.2.3	Vertikalknickarmroboter mit Endeffektor.....	132
5.2.4	Kamerasystem	134
5.2.5	Laserscanner	134
5.2.6	Robotersteuerung und Echtzeitsystem	134
5.3	Kommunikationsarchitektur.....	135
5.3.1	Übersicht.....	135
5.3.2	Schnittstellen	136
5.4	Anwendungsbeispiel	138
5.4.1	Einführung.....	138
5.4.2	Förderbandsynchrone Montage.....	138
5.4.3	Koexistenz	139
5.5	Sicherheits- und Zuverlässigkeitsbetrachtung.....	142
5.5.1	Allgemeines	142
5.5.2	Erforderliche Sicherheit.....	143
5.5.3	Entwicklungsmaßnahmen.....	143
5.5.4	Auslegung.....	143
5.5.5	Testroutinen.....	145

5.6	Fazit	146
6	Bewertung.....	147
6.1	Allgemeines	147
6.2	Technische Bewertung.....	148
6.2.1	Funktionsbewertung	148
6.2.2	Flexibilitätsbewertung	150
6.3	Wirtschaftliche Bewertung	152
6.3.1	Kostenstruktur.....	152
6.3.2	Kostenvergleichsrechnung.....	154
6.3.3	Kosteneinfluss Personal.....	155
6.3.4	Kosteneinfluss Hardware.....	157
6.3.5	Kosteneinfluss Verfügbarkeit.....	158
6.4	Fazit	161
7	Schlussbetrachtung.....	163
7.1	Zusammenfassung	163
7.2	Ausblick.....	165
8	Literaturverzeichnis	167
9	Studienarbeiten	193