

1	Einleitung .....	1
1.1	Ausgangssituation.....	1
1.2	Zielsetzung.....	3
1.3	Vorgehensweise.....	4
2	Stand der Forschung und Technik.....	5
2.1	Übersicht.....	5
2.2	Flexible Fertigungssysteme .....	5
2.3	Steuerungssysteme in der flexiblen Fertigung.....	7
2.3.1	Hierarchische Strukturierung der Steuerung .....	7
2.3.2	Die Leitebene .....	8
2.3.3	Die Zellenebene.....	10
2.3.4	Die Steuerungsebene .....	12
2.4	Störungsbehandlung in der flexiblen Fertigung .....	12
2.5	Autonome Systeme in der Technik .....	14
2.5.1	Einsatzbereiche autonomer Systeme .....	14
2.5.2	Definitionen des Begriffes "Autonomie" .....	14
2.5.3	Charakteristika autonomer Systeme.....	15
2.5.4	Steuerungskonzepte und -architekturen autonomer Systeme....	16
2.6	Verteilte Künstliche Intelligenz.....	18
3	Analyse bestehender Ansätze und Systeme zur Steuerung und Störungsbehandlung .....	20
3.1	Übersicht.....	20
3.2	System- und Steuerungsstrukturen .....	21
3.3	Störungsbehandlung .....	23
3.4	Integration von Steuerung und Störungsbehandlung.....	25
3.5	Einbindung des Benutzers im Rahmen der Steuerung und Störungsbehandlung .....	28
3.6	Zusammenfassung und Ableitung von Anforderungen.....	28
4	Grundlagen für die Gestaltung autonomer Systeme in der Fertigung.....	31

4.1	Übersicht.....	31
4.2	Aspekte der Autonomie.....	31
4.2.1	Übersicht .....	31
4.2.2	Technische Aspekte der Autonomie .....	33
4.2.3	Organisatorische Aspekte der Autonomie.....	34
4.2.4	Personelle Aspekte der Autonomie .....	35
4.3	Einflußfaktoren auf die Autonomie eines Systems .....	37
4.4	Systematisches Vorgehen für die Gestaltung autonomer Systeme .....	41
4.4.1	Übersicht .....	41
4.4.2	Vorgehensmodell .....	41
4.4.3	Designaspekte der aufgabenorientierten Modularisierung.....	43
4.4.4	Designaspekte der Verteilung der Steuerungskompetenz.....	44
4.4.5	Zusammenfassung der Designaspekte .....	46
4.5	Autonome Fertigungssysteme .....	47
4.5.1	Übersicht .....	47
4.5.2	Analyse der steuerungstechnischen Aufgaben.....	47
4.5.3	Aufgabenorientierte Modularisierung .....	48
4.5.3.1	Grundlagen.....	48
4.5.3.2	Autonome Fertigungszellen .....	48
4.5.4	Verteilung der Steuerungskompetenz .....	50
4.5.4.1	Alternative Szenarien der Auftragsbehandlung .....	50
4.5.4.2	Dezentrales Szenario der Auftragsbehandlung .....	51
4.6	Zusammenfassung .....	55
5	Konzept zur störungstoleranten Steuerung autonomer Fertigungszellen.....	56
5.1	Übersicht.....	56
5.2	Anforderungsprofil der Steuerung und Störungsbehandlung.....	56
5.3	Grundlagen des Konzepts.....	57
5.3.1	Analyse der steuerungstechnischen Aufgaben.....	57
5.3.2	Aufgabenorientierte Modularisierung .....	58

5.3.3	Verteilung der Steuerungskompetenz .....	59
5.3.4	Hierarchieebenen der Steuerung und Störungsbehandlung .....	61
5.3.5	Ebenenübergreifende Aspekte der Autonomie .....	63
5.3.6	Einbindung des Benutzers .....	66
5.4	Organisationsebene.....	69
5.4.1	Funktionen der Organisationsebene .....	69
5.4.2	Vorgabenorientierte Auftragsdisposition .....	71
5.4.2.1	Grundlagen der Auftragsdisposition .....	71
5.4.2.2	Vorgaben der Auftragsdisposition .....	73
5.4.2.3	Abbildung der Vorgaben auf die Zellendurchlaufzeit .....	77
5.4.2.4	Algorithmus der Auftragseinplanung.....	78
5.4.2.5	Bewertung der Einplanung.....	81
5.4.3	Aspekte der Autonomie.....	81
5.5	Koordinationsebene .....	84
5.5.1	Steuerung von Abläufen mittels Petrinetzen .....	84
5.5.2	Phasen der Auftragsabwicklung .....	85
5.5.3	Störungsbehandlung in der Koordinationsebene.....	86
5.5.3.1	Motivation .....	86
5.5.3.2	Grundlagen der Störungsbehandlung .....	87
5.5.3.3	Störungserkennung.....	90
5.5.3.4	Störungslokalisierung.....	90
5.5.3.5	Störungsbehebung .....	91
5.5.3.6	Bewertung des Ansatzes zur Störungsbehandlung .....	93
5.5.4	Aspekte der Autonomie.....	93
5.6	Ausführungsebene .....	95
5.6.1	Generischer Aufbau der Agenten .....	95
5.6.2	Zustands- und Verhaltensmodellierung .....	96
5.6.3	Bildung und Durchführung von Agentenfunktionen .....	97
5.6.4	Synchronisationsschema zur Kooperation von Agenten.....	99

5.6.5	Aspekte der Autonomie.....	100
5.7	Zusammenfassung .....	102
6	Realisierung und Einsatzbeispiel .....	103
6.1	Übersicht.....	103
6.2	Realisierung des Systems zur störungstoleranten Steuerung .....	103
6.2.1	Grundlagen .....	103
6.2.2	Organisationsebene .....	105
6.2.3	Koordinationsebene.....	106
6.2.4	Ausführungsebene .....	107
6.2.5	Benutzeroberfläche.....	108
6.2.6	Simulationsumgebung.....	110
6.3	Einsatzbeispiel.....	110
6.3.1	Beschreibung der Fertigungszelle .....	110
6.3.2	Bildung von Agenten .....	112
6.3.3	Steuerungsstruktur.....	113
6.3.4	Abläufe in der Fertigungszelle .....	114
6.3.5	Behandlung auftretender Störungen.....	116
7	Zusammenfassung und Ausblick .....	118
8	Literaturverzeichnis.....	122