

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Zielsetzung	1
1.2 Stand der Technik	6
1.2.1 Modellierung, Regelung und Trajektoriengenerierung des Manipulators	6
1.2.2 Automatisierung des Greifprozesses	7
1.2.3 Automatisierung der Betonage	9
1.3 Struktur und Beitrag der Arbeit	12
1.3.1 Automatisierung des Greifprozesses	12
1.3.2 Automatisierung der Betonage	14
2 Prozessbeschreibung zur Herstellung von graduierten Beton-elementen	19
2.1 Schema des Gesamtprozesses	19
2.2 Zentrifuge zur Hohlkörperherstellung	21
2.3 Aufbau des Off-Site-Versuchsstands	22
2.3.1 Aufbau des Portalroboters	22
2.3.2 Aufbau des Pumpsystems	24
2.4 Aufbau des On-Site-Versuchsstands	25
2.4.1 Hydraulischer Manipulator	26
2.4.2 Endeffektoren des Manipulators	27
2.4.3 Pumpsystem	30
2.4.4 Steuerungsarchitektur und Kommunikation	32
2.4.5 Peripherie	33
3 Automatisierung des Greifprozesses	35
3.1 Modellierung und Regelung des hydraulischen Manipulators . .	37
3.1.1 Herleitung der Kinematik	37
3.1.2 Modellierung des dynamischen Verhaltens	38
3.1.3 Achspositionsregelung	42
3.1.4 Modellierung der statischen Deformation	44
3.2 Kollisionsfreie Trajektoriengenerierung und Abgriffsregelung .	47
3.2.1 Kollisionsfreie Trajektoriengenerierung und Trajektorienfolgeregelung	48

3.2.2	Abgriffsregelung unter Einhaltung von Posenbeschränkungen	54
3.3	Lokalisation, Exploration und Greifprozessplanung	57
3.3.1	Detektion und Lokalisation der Betonkugeln	57
3.3.2	Umgebungsmodellierung und Exploration	60
3.3.3	Optimierungsbasierte Greifreihenfolgenplanung	69
3.3.4	Gesamtlauf und experimentelle Validierung	78
3.4	Kurzzusammenfassung	81
4	Automatisierung der Betonage	83
4.1	Planung der Referenzpfade	85
4.1.1	Hamiltonsche Pfade und geschichtete Triangulationen	86
4.1.2	Ein Algorithmus zur Erstellung geschichteter Triangulationen in gradierten Betonelementen	93
4.1.3	Lokale Pfadplanung in geschichteten Triangulationen	103
4.1.4	Planung der Gelenkwinkelpfade	113
4.1.5	Planung des Volumenbedarfs	116
4.2	Pfadbasierte Regelung und Synchronisation	117
4.2.1	Die Pfaddynamikgleichung	118
4.2.2	Pfadbasierte Regelung	123
4.2.3	Pfadlinearisierung und Pfadsynchronisation	125
4.2.4	Eingangsskalierung zur beschränkten Pfadfolge	126
4.3	Modellierung und Regelung des Off-Site Versuchsstand	129
4.3.1	Modellierung der Volumenstromdynamik am OFV	129
4.3.2	Beobachterentwurf basierend auf dem Waagensignal	135
4.3.3	Füllstandsregelung für den OFV	138
4.4	Modellierung und Regelung des On-Site-Versuchsstands	141
4.4.1	Die Volumenstromdynamik am ONV	141
4.4.2	Modellierung des Hydrauliksystems	145
4.4.3	Zylindergeschwindigkeitsregelung der Betonpumpe	160
4.4.4	Füllstandsregelung für den ONV	163
4.5	Pfadsynchrone Fabrikation von Betonbauteilen	170
4.5.1	Herstellung am OFV	170
4.5.2	Herstellung am ONV	182
5	Zusammenfassung und Ausblick	197
A	Anhang	201
A.1	Die Kinematik beider Manipulator-Konfigurationen	202
A.2	Die Pfaddynamikgleichung	204
A.3	Definition einer Pfad-Vektorbasis	206

A.4 Parameter von Fluideodynamik und Beobachter	207
Abkürzungsverzeichnis	210
Symbolverzeichnis	211
Abbildungsverzeichnis	225
Tabellenverzeichnis	229
Literaturverzeichnis	231