

# Flachheitsbasierte Positionsregelungen für Parallelkinematiken am Beispiel eines hochdynamischen hydraulischen Hexapoden

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung	2
1.2 Zielsetzung	4
1.3 Aufbau der Arbeit	4
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1 Aufbau und Komponenten des hydraulischen Hexapoden	5
2.2 Modellbildung	6
2.2.1 Serielle Kinematiken	6
2.2.2 Parallele Kinematiken	7
2.2.3 Hydraulische Aktoren	11
2.2.4 Parameter des Zielsystems	15
2.3 Regelungstechnische Grundlagen	17
2.3.1 Zwei-Freiheitsgrade-Regelung und flachheitsbasiertes Entwurfskonzept	17
2.3.2 Zustandsbeobachtung	18
2.3.3 Lokale Kraftregelung hydraulischer Aktoren	19
<b>3 Stand der Technik und Methoden zur Regelung von Parallelkinematiken</b>	<b>25</b>
3.1 Regelungsansätze	25
3.1.1 Basisreglerstrukturen	26
3.1.2 Verschiedene Ansätze zur Reglersynthese für PKM	28
3.2 Lösung des direkten kinematischen Problems	33
3.2.1 Iterative Verfahren	33
3.2.2 Direkte Messung	34
3.2.3 Beobachtung aus den verfügbaren Messdaten	35
3.3 Tabellarische Übersicht	36
3.4 Handlungsbedarf	38
3.5 Themeneingrenzung und Zieldefinition	38
<b>4 Reglersynthese für PKM mit endlicher Dynamik und Stellgrößenbegrenzungen</b>	<b>41</b>
4.1 Flachheitsbasierte Steuerungen und Regelungen für PKM mit sechs FHG	41
4.1.1 Realisierung im OS	42

4.1.2 Realisierung im JS . . . . .	43
4.2 Regelungsentwurf unter Berücksichtigung der Aktordynamik im Zeit- und Frequenzbereich . . . . .	45
4.2.1 Vorgehensweise . . . . .	46
4.2.2 Anwendung auf das Zielsystem . . . . .	47
4.2.3 Zur Linearisierbarkeit der Regelstrecke . . . . .	55
4.3 Filterung der Solltrajektorie zur Vermeidung von Windup-Effekten . . . . .	58
4.3.1 Mehrgrößenzustandsfilter . . . . .	60
4.3.2 Modellgestütztes nichtlineares Führungsfiler für PKM . . . . .	63
4.4 Simulationsbasierter Vergleich der Regelungen . . . . .	75
4.4.1 Streckenmodell und Simulationsnomenklatur . . . . .	75
4.4.2 Simulationen und Analysen . . . . .	76
4.4.3 Ergebnisse . . . . .	85
<b>5 Zustands- und Störbeobachtung für PKM . . . . .</b>	<b>87</b>
5.1 Beobachtbarkeit . . . . .	87
5.1.1 Definitionen und Kriterien . . . . .	87
5.1.2 Beobachtbarkeit von PKM für Beobachter im OS . . . . .	89
5.1.3 Beobachtbarkeit von PKM für Beobachter im JS . . . . .	90
5.2 Kalman-Bucy-Filter . . . . .	91
5.2.1 Grundlagen . . . . .	91
5.2.2 Zustands- und Störbeobachtung von PKM im OS . . . . .	95
5.2.3 Zustands- und Störbeobachtung im JS . . . . .	99
5.3 Sliding-Mode-Beobachter . . . . .	101
5.3.1 Grundlagen . . . . .	101
5.3.2 Zustands- und Störbeobachtung von PKM im OS . . . . .	105
5.3.3 Zustands- und Störbeobachtung im JS . . . . .	110
5.4 Simulationsbasierter Vergleich der Beobachter . . . . .	111
5.4.1 Setup, Beobachervarianten und Nomenklatur . . . . .	112
5.4.2 Simulationen und Analysen . . . . .	115
5.4.3 Ergebnisse . . . . .	124
<b>6 Beobachterbasierte Regelung . . . . .</b>	<b>127</b>
6.1 Simulationsbasierte Analyse . . . . .	127
6.1.1 Ideales System ohne Modellabweichungen . . . . .	127
6.1.2 System mit Modellabweichungen . . . . .	129
6.1.3 Einfluss von Sensor- und Verzögerungseffekten . . . . .	131
6.2 Validierung am Prüfstand . . . . .	134
6.3 Ergebnisse . . . . .	143
<b>7 Zusammenfassung und Ausblick . . . . .</b>	<b>145</b>
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>147</b>