

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	I
Kurzfassung .....	III
Abstract .....	IV
Inhaltsverzeichnis .....	1
Formelzeichen .....	IX
Abkürzungen .....	XI
Abbildungsverzeichnis .....	XIII
Tabellenverzeichnis .....	XVI
1 Einleitung.....	1
1.1 Systemverständnis der DEVEKOS-Komponente .....	2
1.2 Problemstellung und Handlungsbedarf .....	5
1.3 Anforderungen und Zielsetzung .....	6
2 Stand der Technik und der Forschung .....	9
2.1 Komponenten einer positionsgesteuerten Achse .....	9
2.1.1 Mechanischer Aufbau der Antriebsarten.....	9
2.1.2 Antriebsverstärker und Lageregelung .....	10
2.1.3 Bewegungssteuerung .....	11
2.1.4 Feldbusssystem.....	12
2.2 Grundlagen der Bewegungssynchronisierung.....	13
2.2.1 Sequentielle, ereignisbasierte Bewegungssteuerung .....	13
2.2.2 Asynchrone Bewegungssteuerung .....	14
2.2.3 Synchrone Bewegungssteuerung .....	16
2.3 Methoden und Systeme zur Bewegungssynchronisierung.....	17
2.3.1 Königswellen mit Kurvenscheiben .....	17
2.3.2 MC und CNC-Systeme .....	18
2.3.3 Leader-Follower-Architekturen.....	19
2.3.4 Camming und Sollwertelisten .....	20
2.3.5 Cross-Coupling .....	21
2.4 Forschungsarbeiten zur Bewegungssynchronisierung .....	22
2.4.1 Bahnregelung .....	22
2.4.2 Scheduling von Bewegungsausführungen auf eingebetteten Low-Level-Controllern.....	24
2.4.3 Betrachtung der Netzwerkverzögerungen zur synchronen Ansteuerung von dezentralen Mehrachssystemen .....	25

2.5	Fazit aus der Betrachtung der Grundlagen sowie des Stands der Technik und Forschung.....	27
3	Systemarchitekturen zur Bewegungssynchronisierung .....	29
3.1	Begriffsklärung zu zentralen, parallelen, dezentralen und verteilten Systemarchitekturen .....	29
3.2	Gegenüberstellung von Systemkonzepten zur synchronen Bewegungssteuerung auf Miniatursteuerungen.....	32
3.2.1	Konzept mit zentraler Bewegungssynchronisierung .....	34
3.2.2	Konzept mit leaderbasierter Bewegungssynchronisierung .....	36
3.2.3	Konzept mit partitionierter Bewegungssynchronisierung .....	39
3.2.4	Konzept mit agentenbasierter Bewegungssynchronisierung .....	41
3.3	Bewertung der Lösungsansätze anhand der Anforderungskriterien.....	42
3.4	Auswahl eines Lösungsansatzes und Vorstellung der weiteren Vorgehensweise.....	45
4	Systemanalyse der verteilten Interpolation als Multiagentensystem .....	47
4.1	Grundlagen zu Multiagentensystemen.....	47
4.1.1	Interaktion in Multiagentensystemen .....	48
4.1.2	Vor- und Nachteile von Multiagentensystemen .....	50
4.2	Multiagentensysteme in der Produktion .....	51
4.3	Analyse des Anwendungsfalls als Multiagentensystem .....	54
4.3.1	Technische Entsprechung des Anwendungsfalls .....	54
4.3.2	Einordnung in Taxonomien für Multiagentensysteme .....	55
4.3.3	Auswahl des Vorgehensmodells und der Agentenarchitektur.....	59
4.3.4	Analyse der Aufgabeneigenschaften .....	61
4.4	Interaktion, Konsensfindung und koordinierte Bewegungen in Multiagentensystemen .....	66
4.4.1	Interaktionsmuster und Konsensfindung.....	67
4.4.2	Interaktionsmuster Zusammenführung .....	68
4.4.3	Interaktionsmuster Ausrichtung .....	68
4.4.4	Interaktionsmuster Formationsbewegung .....	69
4.4.5	Interaktionsmuster Rendez-Vous.....	70
4.5	Bewertung der Übertragbarkeit der Interaktionsmuster.....	71
5	Konzeption der verteilten Interpolation .....	75
5.1	Grundlagen zur Trajektorienplanung für synchronisierte Bewegungen .....	75
5.1.1	Homogene Transformation der Bahn in Achskoordinaten .....	76
5.1.2	Dynamikplanung .....	77

5.1.3 Transfer der Dynamikplanung auf die einzelnen Achsen .....	79
5.1.4 Kinodynamische Bewegungsplanung .....	81
5.2 Trajektorienplanung als Multiagentensystem .....	82
5.2.1 Kombination der Interaktionsmuster .....	83
5.2.2 Festlegung der Koordinationsvariable .....	85
5.2.3 Agentenverhalten.....	87
5.2.4 Kommunikationsprotokoll.....	95
5.3 Zusammenfassung des Interaktionsmusters.....	97
<b>6 Realisierung der verteilten Interpolation .....</b>	<b>99</b>
6.1 Validierung von Interaktionsmuster, Agentenverhalten und Kommunikationsprotokoll .....	100
6.1.1 Simulative Validierung .....	100
6.1.2 Funktionsnachweis durch variable Achsdynamiken.....	105
6.2 Anwendungsfallbetrachtung .....	108
6.2.1 Erweiterbarkeit und Rekonfiguration der verteilten Interpolation....	108
6.2.2 Schnittstellen und Funktionen der verteilten Interpolation .....	110
6.2.3 Integration des Ansatzes in kommerzielle Antriebskomponenten..	112
6.2.4 Integration des Ansatzes in die DEVEKOS-Miniatursteuerung.....	119
6.3 Bewertung von Potential und Funktionsumfang der verteilten Interpolation .....	120
<b>7 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>125</b>
<b>8 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>127</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>153</b>
<b>Publikationsliste .....</b>	<b>156</b>
<b>Betreute studentische Arbeiten .....</b>	<b>158</b>
<b>Lebenslauf .....</b>	<b>161</b>