

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1. Einleitung</b> .....	1
1.1 Einführung .....	1
1.2 Geschichtliche Entwicklung des Robotereinsatzes .....	3
1.3 Das Roboter-Technologie-Experiment ROTEX .....	5
1.4 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit.....	9
<b>2. Stand der Technik</b> .....	13
2.1 Zielgerichtete Positionierung eines Roboters.....	13
2.2 Automatisches Greifen durch einen Roboter .....	16
2.3 Teleoperation mit langen Signalübertragungszeiten .....	18
2.4 Automatisierung von Andockmanövern.....	20
2.5 Erfassung von Bewegungen durch Rechnersehen .....	22
<b>3. Die dynamischen Bewegungsgleichungen</b> .....	26
3.1 Das freischwebende Objekt.....	26
3.1.1 Die Objektform.....	26
3.1.2 Das dynamische Bewegungsmodell des Freifliegers.....	27
3.1.2.1 Die translatorische Bewegung.....	29
3.1.2.2 Die rotatorische Bewegung .....	29
3.2 Der Robotergreifarm.....	32
3.2.1 Lagebeschreibung durch homogene Koordinaten.....	33
3.2.1.1 Allgemeine Koordinatentransformation .....	33
3.2.1.2 Zusammenstellung aller vorhandenen Koordinatensysteme .....	36
3.2.2 Das Bewegungsmodell des Greifarmes.....	37
3.2.3 Die Steuergrößen .....	38

<b>4.</b>	<b>Modellgestützte Schätzung der Systemzustände</b> .....	40
4.1	Das Kalman-Filter zur Zustandsschätzung .....	40
4.2	Das Kalman-Filter zur Zustandsschätzung des Roboters .....	47
4.3	Das Kalman-Filter zur Zustandsschätzung des Freifliegers .....	50
4.3.1	Die Kalman-Filter-Gleichungen .....	51
4.3.2	Die Meßdaten zur Zustandsschätzung des Freifliegers .....	57
4.3.2.1	Die Stereobildverarbeitung .....	58
4.3.2.2	Die monokulare Bildverarbeitung nach dem 4D-Ansatz.....	60
<b>5.</b>	<b>Totzeitkompensation durch Prädiktion</b> .....	65
5.1	Das Telerobotikkonzept bei ROTEX .....	67
5.2	Kompensation der Totzeiten durch Prädiktion .....	69
5.3	Der Einfluß der Totzeiten auf die Zustandsschätzung und die Prädiktion.....	73
5.3.1	Die Auswirkungen auf die Zustandsschätzung .....	74
5.3.2	Der Einfluß auf die Prädiktion .....	75
<b>6.</b>	<b>Automatisierung des Greifvorganges</b> .....	77
6.1	Strategie des Greifvorganges.....	78
6.2	Reglerauslegung für das Folgeregelungsproblem .....	83
<b>7.</b>	<b>Systemerprobung und Versuchsergebnisse</b> .....	87
7.1	Der Simulationskreis im Robotiklabor.....	87
7.1.1	Die Hardwarearchitektur.....	88
7.1.2	Die Integration in die Bodenstation .....	90
7.2	Simulationsergebnisse.....	93
7.3	Das Experiment während der D2-Mission.....	96
7.3.1	Der Ablauf und die Randbedingungen.....	96
7.3.2	Die Versuchsergebnisse.....	98

<b>8. Simulation eines automatischen Andockmanövers</b>	101
8.1 Die Gleichungen der Relativbewegung	103
8.2 Reglerentwurf zur Steuerung der Endannäherung	106
<b>9. Zusammenfassung und Ausblick</b>	111
<b>Anhang</b>	
A.1 Anhang zu Kapitel 3 (Bewegungsgleichungen)	114
A.1.1 Die Beziehungen zwischen Eulerwinkel und Quaternionen	114
A.1.2 Die Beziehungen zwischen einer Lagematrix und den Eulerwinkeln	118
A.1.3 Die zeitinvarianten Transformationsmatrizen	119
A.2 Anhang zu Kapitel 4 (EKF zur FF-Zustandsschätzung)	122
A.2.1 Berechnung der Funktionalmatrix der Freifliegerbewegung	122
A.2.2 Berechnung der Jacobimatrix des EKF zur Freifliegerzustandsschätzung	124
A.3 Anhang zu Kapitel 5 (Totzeitkompensation)	129
A.3.1 Herleitung der Prädiktionsgleichungen	129
A.3.1.1 Die Vorhersage der FF-Lage	129
A.3.1.2 Die Prädiktion der Roboterposition	130
A.3.2 Abschätzung des Prädiktionsfehlers	132
<b>Literatur</b>	135