

Dipl.-Ing. Christian Albrich von Albrichsfeld,
Darmstadt

**Ein Beitrag zur
selbsteinstellenden
Nachgiebigkeitsregelung
für kraftschlüssig
kooperierende Roboter**

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik Nr. **691**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Problemstellung	7
1.3	Stand der Forschung	10
1.3.1	Master-/Slave Koordination	11
1.3.2	Gleichberechtigte Koordination	13
1.3.3	Aktuelle Forschungsschwerpunkte	17
1.3.4	Wertung	21
1.4	Zielsetzung und Randbedingungen der Arbeit	23
1.5	Gliederung der Arbeit	25
2	Modellbildung eines Mehrarmrobotersystems	27
2.1	Verwendete mathematische Notationen	28
2.1.1	Verallgemeinerte Positionen und Kräfte	28
2.1.2	Verallgemeinerte Steifigkeits- und Nachgiebigkeitsmatrizen	29
2.1.3	Zusammenfassung von Vektoren und Matrizen für alle Arme	33
2.2	Systembeschreibung	34
2.3	Modellierung der Last	36
2.4	Modellierung der Roboterarme	42
2.5	Unterteilung des Bewegungs-/Kraftraums	47
2.5.1	Natürliche und künstliche Randbedingungen	48
2.5.2	Externer Bewegungs-/Kraftraum	50

2.5.3	Interner Bewegungs-/Kraftraum	52
2.5.4	Zusammenstellung der Unterräume	54
2.6	Steifigkeitsmodell des Gesamtsystems	57
2.6.1	Allgemeines Steifigkeitsmodell	59
2.6.2	Steifigkeitsmodell bei fixiertem Objekt	62
2.6.3	Steifigkeitsmodell bei frei beweglichem Objekt	64
2.6.4	Steifigkeitsmodell bei teilweise beweglichem Objekt	69
2.7	Zusammenfassung	74
3	Verwendete Koordinationsstrategie	76
3.1	Koordinationsziele	76
3.2	Einordnung der Strategie	77
3.3	Funktionaler Aufbau der Koordinationsstrategie	78
3.3.1	Objektbezogene Planungsebene	79
3.3.2	Koordinationsebene	81
3.3.3	Regelungsebene	84
3.4	Zusammenfassung	91
4	Identifikation der Nachgiebigkeit	92
4.1	Problemstellung	93
4.2	Transformation der Nachgiebigkeitsmatrix auf eindeutigen Unterraum	94
4.3	Identifikation der transformierten Nachgiebigkeit	96
4.3.1	Parameteridentifikation mit Wurzelfilterverfahren in Informationsform (DSFI)	97
4.4	Zusammenfassung	100
5	Simulatorische und experimentelle Validierung	101
5.1	Versuchsumgebungen	102
5.1.1	Simulationsumgebung	102
5.1.2	Experimentalsystem	105
5.2	Durchgeführte Versuche	110

5.2.1 Simulationen	111
5.2.2 Experimente	116
6 Zusammenfassung, Bewertung und Ausblick	127
A Verwendete Matrizenalgebra	130
A.1 Durch eine Matrix spezifizierte Räume und Eigenschaften ihrer Basen . .	130
A.2 Generalisierte Inverse einer Matrix	131
B Beweis zur positiven Semidefinitheit singulärer Steifigkeitsmatrizen	136
C Lernende Regelung eines Zweiarmroboters	138
Literaturverzeichnis	144