

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Einführung	1
1.2 Untersuchungsobjekt	3
2 Modelle und Parameteridentifikation.....	5
2.1 Modellbildung	5
2.2 Parameteridentifikation.....	6
2.3 Parameteridentifikation bei einem linearen Modell.....	8
2.4 Minimales Modell.....	11
3 Stand der Technik und der Wissenschaft	14
3.1 Genauigkeitskenngrößen von Industrierobotern	14
3.2 Probleme bei der Offline-Programmierung von Industrierobotern	17
3.3 Modellierung kinematischer Ketten.....	19
3.3.1 Homogene Transformationen.....	20
3.3.2 Kinematische Modelle	22
3.3.2.1 Modelle mit vier Parametern je Gelenkübergang	22
3.3.2.2 Modelle mit fünf Parametern je Gelenkübergang	22
3.3.2.3 Modelle mit sechs Parametern je Gelenkübergang.....	23
3.3.2.4 Bewertung der kinematischen Modelle.....	23
3.3.3 Parameteranzahl und -auswahl.....	23
3.4 Erweiterte Modelle	24
3.5 Steigerung der Genauigkeit von Industrierobotern.....	25
3.6 Meßverfahren	26
3.6.1 Teilpunktmessungen	28
3.6.2 Punktmessungen.....	28
3.6.3 Teilposemessungen	30
3.6.4 Posemessungen.....	30
3.6.5 Zusammenfassung	32
4 Entwicklung eines Meßsystems.....	33
4.1 Anforderungen an das Meßsystem.....	33
4.2 Entwurf des Meßsystems.....	35
4.2.1 Auswahl eines geeigneten Prinzips	35
4.2.2 Meßkopf	36
4.2.3 Kalibrierkörper.....	37
4.3 Poseberechnung.....	39
4.4 Versuchsstand	42

5 Genauigkeit des Meßsystems	44
5.1 Fehlerfortpflanzungsrechnung	44
5.2 Genauigkeit des Meßkopfes	47
5.2.1 Modellbildung	47
5.2.2 Genauigkeit der Teilsysteme	48
5.2.2.1 Vermessung des Meßkopfes	48
5.2.2.2 Tasterkennlinien und Meßkette	49
5.2.2.3 Meßtastermontage	50
5.2.2.4 Justierstiftlängen	50
5.2.2.5 Justierhilfe	50
5.2.3 Genauigkeitsanalyse	51
5.2.3.1 Geometrie des Meßkopfes	51
5.2.3.2 Tasterwege	52
5.2.3.3 Gesamter Meßkopf	53
5.3 Genauigkeit des Kalibrierkörpers	54
5.3.1 Modellbildung	55
5.3.2 Genauigkeitsanalyse	56
5.4 Genauigkeit des gesamten Meßsystems	57
5.5 Meßtechnische Überprüfung der berechneten Genauigkeitskenngrößen	58
6 Wiederholgenauigkeitskenngrößen des untersuchten Industrieroboters	64
6.1 Messung der Pose-Wiederholgenauigkeit	64
6.1.1 Auswertung	65
6.1.2 Pose-Wiederholgenauigkeit für einen SCARA	66
6.1.3 Dichtefunktionen gemessener Pose- Wiederholgenauigkeiten	67
6.2 Bewertung aus der Literatur bekannter Wiederholgenauigkeitskenngrößen	71
6.3 Einflußgrößen auf die Pose-Wiederholgenauigkeit	74
6.3.1 Stellwerte	74
6.3.2 Anfahrgeschwindigkeit und Anfahrweg	76
6.3.3 Umkehrspanne	77
6.4 Modell zur Beschreibung der Pose-Wiederholgenauigkeit	78
6.4.1 Modellbildung	78
6.4.2 Quantitative Erfassung der Modelleingangsgrößen	79
6.4.2.1 Winkelgeber	79
6.4.2.2 Getriebe	80
6.4.2.2.1 Achse 1 und 2	80
6.4.2.2.2 Achse 3	81
6.4.2.2.3 Achse 4	81
6.4.2.3 Gesamte Antriebseinheiten	81
6.4.3 Simulation der Pose-Wiederholgenauigkeit	83

7 Verfahren zur Steigerung der Pose-Genauigkeit von Industrierobotern	86
7.1 Parameteridentifikation von kinematischen Ketten	86
7.2 Modellierung des zu untersuchenden Industrieroboters.....	87
7.3 Entwurf von geeigneten Zielfunktionen	93
7.3.1 Poseauswertung.....	93
7.3.2 Abstandsauswertung.....	94
7.4 Unsicherheiten identifizierter Parameter	95
7.4.1 Lineares Modell mit normalverteilten Eingangsdaten	95
7.4.2 Linearisierbares Modell mit normalverteilten Eingangsdaten	96
7.4.3 Nichtlinearisierbares Modell mit beliebig verteilten Eingangsdaten	97
7.5 Analyse der Parameteridentifikation	97
7.5.1 Poseauswertung.....	98
7.5.2 Abstandsauswertung.....	101
8 Anwendung der Verfahren zur Steigerung der Pose-Genauigkeit	104
8.1 Poseauswertung	104
8.1.1 Parameteridentifikation	104
8.1.2 Pose-Genauigkeit.....	107
8.2 Abstandsauswertung	109
9 Zusammenfassung	111
10 Verzeichnis der verwendeten Symbole, Bezeichnungen und grundlegenden Definitionen.....	114
10.1 Abkürzungen.....	114
10.2 Formelzeichen	114
10.3 Hoch- und tiefgestellte Indizes	117
10.4 Mathematische Symbole.....	118
10.5 Definitionen.....	119
11 Literaturverzeichnis.....	120

