

**Franz Kugelmann**

**Einsatz nachgiebiger Elemente  
zur wirtschaftlichen Automatisierung  
von Produktionssystemen**

Mit 76 Abbildungen

**Springer-Verlag**  
**Berlin Heidelberg New York London Paris**  
**Tokyo HongKong Barcelona Budapest 1993**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung	1
1.2	Problemfelder beim Einsatz von Industrierobotern, Automatisierungshemmnisse	2
1.2.1	Technische Hemmnisse	2
1.2.2	Wirtschaftliche Hemmnisse	4
1.2.3	Resümee	6
1.3	Lösungsansätze: aktiver und passiver Toleranzausgleich	6
1.4	Stand der Technik	7
1.5	Ziele der Arbeit und Vorgehensweise	13
<b>2</b>	<b>Grundlagen und Strukturierung komplienter Systeme</b>	<b>14</b>
2.1	Einleitung	14
2.2	Grundlagen komplienter Systeme	14
2.2.1	Definition und Funktionsweise	14
2.2.2	Voraussetzungen für den Einsatz komplienter Systeme	15
2.2.3	Kräfte beim Bauteilkontakt	18
2.2.3.1	Einpunktkontakt	18
2.2.3.2	Zweipunktkontakt	19
2.2.3.3	Zusammenhang zwischen den Kräften am Bauteil und den Kräften im Toleranzausgleichssystem am Beispiel des RCC-Systems	20
2.2.4	Fasencharakteristik	21
2.2.5	Toleranzausgleichsgröße	22
2.3	Aufbau komplienter Systeme (Komponenten)	23

2.4	Strukturierung der Einsatzbereiche komplierter Systeme	25
2.4.1	Einfache Bewegungen	26
2.4.2	Komplexe Bewegungen	27
2.4.3	Ermittlung der Füge- und Führungsbewegung	27
2.5	Zielgrößen für den Einsatz komplierter Systeme	29
2.5.1	Passiver Toleranzausgleich bei einfachen Bewegungen	29
2.5.2	Bewegungsvereinfachung bei komplexen Bewegungen	30
2.5.2.1	Vergrößerung des Toleranzbereichs	31
2.5.2.2	Reduzierung von NC-Achsen	32
2.5.2.3	Rückführung komplexer Bewegungen auf elementare Grundbewegungen	32
2.6	Zusammenfassung	33
<b>3</b>	<b>Konzeption komplierter Systeme</b>	<b>34</b>
3.1	Einführung	34
3.2	Vorgehensweise bei der Konzeption komplierter Systeme	34
3.3	Analyse der Wirkflächen zwischen zwei Bauteilen	35
3.3.1	Bauteilspezifische Einflußgrößen	37
3.3.2	Werkzeugspezifische Einflußgrößen	38
3.4	Konzeption der Nachgiebigkeit	38
3.4.1	Nachgiebigkeit der Bauteilwirkflächen	39
3.4.2	Nachgiebigkeit der Werkzeugwirkflächen	39
3.4.3	Nachgiebigkeit in der Werkzeugaufhängung	39
3.4.4	Zielgrößen bei der Konzeption der Nachgiebigkeit	40
3.4.4.1	Ansprechverhalten	40
3.4.4.2	Berechenbarkeit, Vorspannung	40
3.4.4.3	Gewicht, Baugröße	41

3.4.5	Konstruktionskataloge	41
3.4.5.1	Kinematik	41
3.4.5.2	Nachgiebigkeitselemente	44
3.5	Vorgehensweise bei der Konstruktion eines komplizierten Systems	47
3.5.1	Einführung	47
3.5.2	Lösungskatalog am Beispiel der Dichtschnurmontage	47
3.6	Zusammenfassung	49
<b>4</b>	<b>Passiver Toleranzausgleich bei Bauteilen mit mehreren Fügestellen</b>	<b>51</b>
4.1	Einführung	51
4.2	Analyse der Fehler bei Bauteilen mit mehreren Fügestellen	51
4.2.1	Analyse möglicher Fehlerlagen	51
4.2.2	Fehlergröße	53
4.2.3	Anforderung an den passiven Toleranzausgleich	54
4.3	Konzeption des Toleranzausgleichs bei Bauteilen mit mehreren Fügestellen	55
4.3.1	Zentrale und dezentrale Toleranzausgleichsstrategie	55
4.3.2	Ermittlung der Ausgleichsbewegungen	56
4.3.3	Toleranzausgleichsmodule für translatorische Ausgleichsbewegungen	58
4.3.3.1	Konzeption des Toleranzausgleichs am Festlager (Scherenmodul 2 D)	58
4.3.3.2	Konzeption des Toleranzausgleichs am Loslager (Scherenmodul 1 D und Translationsmodul)	61
4.3.3.3	Überblick der unterschiedlichen Toleranzausgleichsmodule	62
4.3.3.4	Konzeption des Toleranzausgleichs am Beispiel eines Bauteils mit 3 Fügestellen	63
4.3.4	Berechnung, Kennlinie	64

4.3.4.1	Scherenmodul	64
4.3.4.2	Vergleich zwischen RCC-System und Scherensystem	68
4.3.5	Toleranzausgleich der rotatorischen Fehler	71
4.4	Einsatz von Rechnerhilfsmitteln	72
4.4.1	Parametrierte Variantenkonstruktion mit Hilfe von CAD	72
4.4.1.1	Einführung	72
4.4.1.2	Rechnerunterstützte Konstruktion und Berechnung des Toleranzausgleichssystems	73
4.4.2	Einsatz der FE-Methode als Konstruktionshilfsmittel	74
4.4.2.1	Einführung	74
4.4.2.2	Vorgehensweise	75
4.4.2.3	Ergebnis	76
4.5	Applikationsbeispiel: Fügen von Dornleisten	77
4.5.1	Problemstellung	77
4.5.2	Konzeption des toleranzausgleichenden Greifwerkzeuges	78
4.6	Zusammenfassung	79
<b>5</b>	<b>Einsatz komplienter Systeme bei komplexen Bewegungen</b>	<b>80</b>
5.1	Einleitung	80
5.2	Problemstellung	80
5.3	Vergrößerung des Toleranzbereiches	82
5.3.1	Einführung	82
5.3.2	Einsatzbeispiel: Automatische Dichtschnurmontage	82
5.3.2.1	Problemstellung und Analyse der geometrischen Wirkflächen	82
5.3.2.2	Anforderungen an die kompliente Aufhängung der Einlegedüse	84
5.3.2.3	Konstruktion der kompliente Aufhängung der Einlegedüse	84

---

5.3.2.4	Zusammenfassung	86
5.4	Reduzierung von NC-Achsen	87
5.4.1	Einführung	87
5.4.2	Einsatzbeispiel: Entgraten von Zinn-Wismut-Kernen	87
5.4.2.1	Problemstellung und Analyse der geometrischen Randbedingungen	87
5.4.2.2	Konzeption des komplizierten Entgratwerkzeuges	88
5.4.3	Einsatzbeispiel: Abdornen von Formschläuchen I	90
5.4.3.1	Problemstellung und Analyse der geometrischen Randbedingungen	90
5.4.3.2	Konzeption des komplizierten Roboterabdornwerkzeuges	91
5.5	Rückführung komplexer Bewegungen auf elementare Bewegungen	93
5.5.1	Einführung	93
5.5.2	Einsatzbeispiel: Abdornen von Formschläuchen II	93
5.5.3	Einsatzbeispiel: Automatische Montage von Schnellbefestigungselementen mit komplexer Fügebewegung	95
5.5.3.1	Problemstellung und Analyse der Bauteilgeometrie sowie der Fügebewegung	95
5.5.3.2	Konzeption eines komplizierten Fügeworkzeuges	97
5.5.3.3	Ergebnis des komplizierten Fügeworkzeuges	99
5.6	Zusammenfassung	100
<b>6</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsanalyse komplizierter Systeme</b>	<b>101</b>
6.1	Einleitung	101
6.2	Analyse des Roboterhaltens	101
6.2.1	Versuchsreihe	102
6.2.2	Programmieraufwand	104
6.2.3	Bahngeschwindigkeit	105
6.2.4	Bahngenauigkeit	106
6.2.5	Resümee	108

6.3	Ermittlung der Kostensenkungspotentiale	108
6.3.1	Reduzierung des Programmieraufwandes	108
6.3.2	Reduzierung der Investitionskosten von Handhabungs- komponenten	109
6.3.3	Reduzierung der Taktzeit	110
6.4	Erweiterte Kostenvergleichsrechnung	111
6.4.1	Übersicht über Investitionsrechnungsverfahren	111
6.4.2	Statische Kostenvergleichsrechnung	112
6.4.3	Berücksichtigung der Flexibilität bei flexiblen Monta- geanlagen	113
6.4.4	Kostenvergleichsrechnung unter Einbeziehung der Ef- fekte komplienter Systeme	114
6.4.4.1	Kostenrechnung mit EXCEL-Tabellenkalkulation	116
6.4.4.2	Einsatzbeispiel: Abdornen von Formschläuchen	117
6.4.4.3	Einsatzbeispiel: Klipmontage	119
6.4.4.4	Zielkonflikt beim Einsatz komplienter Systeme	120
6.5	Nutzwertanalyse	120
6.5.1	Vorgehensweise	120
6.5.2	Zielkriterien und deren Gewichtung	121
6.5.3	Bestimmung der Nutzwerte	122
6.6	Zusammenfassung	124
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>125</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>127</b>