

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
0 <u>Abkürzungen und Formelzeichen</u>	12
1 <u>Einleitung</u>	16
1.1    Problemstellung	16
1.2    Zielsetzung und Vorgehensweise	18
2 <u>Ausgangssituation</u>	19
2.1    Begriffe und Definitionen	19
2.2    Stand der Technik	21
2.2.1    Automatisierte Montagesysteme für feinwerktechnische Produkte	21
2.2.2    Toleranzausgleichssysteme	23
3 <u>Analyse der Montageaufgabe und Ableitung von Anforderungen an programmierbare Montagesysteme für feinwerktechnische Produkte</u>	25
3.1    Analyse der Montageaufgabe	25
3.1.1    Produktspektrum	25
3.1.2    Analyse ausgewählter Montageaufgaben	27
3.1.2.1    Analyse des Werkstückspektrums	28
3.1.2.2    Analyse der Montagevorgänge	31
3.1.2.3    Toleranzbetrachtung	33
3.1.3    Folgerungen aus den Analyseergebnissen	34
3.2    Anforderungen an flexibel automatisierte Montagesysteme für feinwerktechnische Produkte	35
3.2.1    Teilfunktionen und deren Zuordnung zu Teilsystemen	35
3.2.2    Anforderungen an das Gesamtsystem	36
3.2.3    Anforderungen an Teilsysteme	36
3.2.3.1    Toleranzausgleichssysteme	37
3.2.3.2    Sensorsysteme	38

4	<u>Konzeption von Toleranzausgleichssystemen für Industrieroboter und Aufstellung eines Lösungskatalogs für Gesamtsysteme</u>	40
4.1	Lösungskonzepte für Toleranzausgleichssysteme	40
4.1.1	Verfahrensübersicht	41
4.1.2	Konzepte für die Suchphase	42
4.1.2.1	Geregelte Suchsysteme	43
4.1.2.2	Gesteuerte Suchsysteme	47
4.1.3	Konzepte für die Abschlußphase	48
4.1.4	Kombinierte Systeme	49
4.2	Einsatzbereiche für Toleranzausgleichssysteme	51
4.3	Lösungskatalog für Gesamtsysteme	52
5	<u>Entwicklung von gesteuerten Verfahren für den Toleranzausgleich</u>	54
5.1	Pneumatische Fügeteilzentrierung	54
5.1.1	Funktionsmuster und Funktionsprinzip	54
5.1.2	Theoretische Untersuchungen	56
5.1.3	Experimentelle Untersuchungen	56
5.2	Taktile Tastmethoden	58
5.2.1	Suchstrategien	58
5.2.2	Experimentelle Untersuchungen	60
5.3	Verfahren mit Vibrationsunterstützung	61
5.3.1	Prinzipien der Suchbewegung	61
5.3.2	Ermittlung von Suchparametern und Suchtrajektorien	63
5.3.3	Entwicklung von Funktionsmustern	68
5.3.4	Experimentelle Untersuchungen	72
5.4	Bewertung und Anwendungsbereiche der Lösungsprinzipien	75
6	<u>Entwicklung von geregelten Verfahren für den Toleranzausgleich mit taktiler Sensorik</u>	77
6.1	Theorie des Fügeprozesses	77
6.2	Greifer-Sensorsystem	79
6.3	Taktile Fügestrategien	80
6.3.1	Auswertung von Kippsignalen	80
6.3.2	Verfahren zur Kompensation von Geometrieabweichungen und Parallelitätsfehlern	82

6.4	<b>Experimentelle Untersuchungen</b>	84
6.4.1	<b>Versuchsaufbau</b>	84
6.4.2	<b>Versuchsergebnisse</b>	85
7	<b><u>Entwicklung eines Fügesystems mit aktivem Toleranzausgleich</u></b>	87
7.1	<b>Teilfunktionen und Teilsysteme</b>	87
7.2	<b>Greifsystem</b>	88
7.2.1	<b>Greiffunktion</b>	88
7.2.2	<b>Konstruktive Gestaltung</b>	89
7.3	<b>Toleranzausgleichssystem</b>	90
7.3.1	<b>Sensorik</b>	90
7.3.2	<b>Feinpositionierung</b>	92
7.3.3	<b>Integration der Komponenten in ein Fügesystem</b>	93
7.4	<b>Steuerungssystem</b>	93
8	<b><u>Erprobung der Teilsysteme im Gesamtsystem</u></b>	96
8.1	<b>Festlegung des Produktspektrums und der Montageabläufe</b>	96
8.2	<b>Aufbau der Montageversuchszelle</b>	97
8.2.1	<b>Gesamtaufbau</b>	97
8.2.2	<b>Teilsysteme</b>	97
8.2.2.1	<b>Teilebereitstellung</b>	97
8.2.2.2	<b>Fügesystem mit aktivem Toleranzausgleich</b>	98
8.2.2.3	<b>Programmierbarer Kleinstteilegreifer</b>	99
8.3	<b>Versuchsergebnisse</b>	100
8.3.1	<b>Montagezeiten</b>	100
8.3.2	<b>Fehlerbetrachtung</b>	102
8.4	<b>Folgerungen aus den Versuchen</b>	104
9	<b><u>Zusammenfassung und Ausblick</u></b>	105
10	<b><u>Schrifttum</u></b>	108