

0	<u>Abkürzungen und Formelzeichen</u>	13
1	<u>Einleitung</u>	18
1.1	Problemstellung	18
1.2	Zielsetzung und Vorgehensweise	19
2	<u>Stand der Technik</u>	21
2.1	Begriffe und Definitionen	22
2.2	Automatische Montage biegeschlaffer Teile	23
3	<u>Analyse an Montagearbeitsplätzen und Ableitung von Anforderungen an ein programmierbares Montagesystem für Schläuche</u>	26
3.1	Analyse an Montagearbeitsplätzen	26
3.1.1	Analyse der Fügeteilgeometrie	26
3.1.2	Analyse der Basisteilgeometrie	31
3.1.3	Montageaufgaben	32
3.1.4	Ist-Zustand-Analyse der Toleranzbereiche	33
3.1.5	Automatisierungshemmnisse	34
3.1.6	Ableitung von Untersuchungs- und Entwicklungsschwerpunkten für die flexible automatische Montage von Schläuchen	36
3.2	Anforderungen an eine flexibel automatisierte Montagestation für Schläuche	37
3.2.1	Definitionen und Teilfunktionen einer Montagestation	37
3.2.2	Anforderungen an das Gesamtsystem	38
3.2.3	Anforderungen an Teilsysteme	38
3.2.3.1	Industrieroboter	39

3.2.3.2	Systeme zum Toleranzausgleich	40
3.2.3.3	Greifer	40
3.2.3.4	Bereitstellereinrichtungen	42
4	<u>Theorie des Füge- und Greifprozesses</u>	43
4.1	Theorie des Fügeprozesses	43
4.2	Theorie des Greifprozesses	48
4.3	Einflüsse auf den Montageprozeß durch das Werkstoffverhalten	49
4.4	Einflußparameter auf den Montageprozeß von Schläuchen	50
5	<u>Konzeption von Teilsystemen eines automati- sierten Montagesystems für Schläuche und Integration zu Gesamtsystemen</u>	52
5.1	Greifsystem	52
5.1.1	Greifen unterschiedlicher Schlauchgeometrien bzw. Schlauchvarianten	52
5.1.2	Greifen mehrerer Schlauchenden	53
5.2	Fügesystem	56
5.3	Integration zu Gesamtsystemen	58
6	<u>Experimentelle Untersuchung der quantita- tiven und qualitativen Abhängigkeiten und Berechnung ausgewählter Montageparameter</u>	60
6.1	Versuchsaufbau	60
6.2	Untersuchung der Einflüsse ausgewählter Fügeparameter	61
6.2.1	Fügegeschwindigkeit	62
6.2.2	Basisteilgeometrie	63
6.2.3	Schmiermittel	64
6.2.4	Temperatur	65
6.2.5	Freie Länge	65
6.2.6	Fügeteilgeometrie und Fügeteilwerkstoff	66

6.3	Untersuchung der Einflüsse ausgewählter Greifparameter	67
6.3.1	Zusammenhang zwischen Verformungsgrad des Öffnungsquerschnitts, Greifkraft und freier Länge	68
6.3.2	Zusammenhang zwischen Greifkraft und übertragbarer Fügekraft	70
6.3.3	Vergleichende Gegenüberstellung	73
6.4	Berechnung von Montageparametern und Simulation des Montageprozesses	74
6.4.1	Berechnung ausgewählter Montageparameter mit Hilfe von analytischen Rechenformeln	74
6.4.1.1	Ermittlung der Fügekraft	74
6.4.1.2	Abschätzung der freien Länge	81
6.4.2	Berechnung ausgewählter Montageparameter und Simulation des Montageprozesses mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode	81
6.4.2.1	Berechnung der Fügekraft	82
6.4.2.2	Berechnung der benötigten Greifkraft	82
6.4.2.3	Stauchung der Schlauchschale während des Fügeprozesses	83
6.4.2.4	Berechnung von Montageparametern bei asymmetrischen Montagevorgängen	85
6.4.2.5	Simulation des Montagevorganges	86
6.4.3	Vergleich von Finiter-Elemente-Rechnung, analytischer Berechnung und Versuch	87
7	<u>Entwicklung von Methoden zum Toleranzausgleich</u>	89
7.1	Methode des passiven Toleranzausgleichs	90
7.1.1	Ausgleich mit Hilfe von Elementen definierter Nachgiebigkeit	90
7.2	Fügestrategien für den Toleranzausgleich	93
7.2.1	Geometrische Einflußparameter	101
7.2.1.1	Greifzone	101

7.2.1.2	Einfluß der Fügeteilstabilität	102
7.2.1.3	Basisteilgeometrie	104
7.2.2	Technologische Einflußgrößen	105
7.2.2.1	Werkstoff	105
7.2.2.2	Fügegeschwindigkeit (Fügezeit)	107
7.2.2.3	Fügekraft	109
7.2.3	Einsatz technologischer Hilfen zum Toleranz- ausgleich	112
7.2.4	Vergleichende Gegenüberstellung der unter- suchten Fügestrategien	113
8	<u>Erprobung im Gesamtsystem</u>	115
8.1	Aufbau der Montageversuchszelle	116
8.1.1	Gesamtaufbau	116
8.1.2	Teilsysteme	118
8.1.2.1	Bereitstelleinrichtung für die Fügeteile	118
8.1.2.2	Greifer für Fügeteile	118
8.1.2.3	Handhabungssysteme	123
8.1.2.4	Erkennungssystem für Fügeteile mit mehre- ren Fügeenden	123
8.2	Funktionsablauf der Versuchsanlage	124
8.3	Versuchsergebnisse	125
8.3.1	Montagezeiten	125
8.3.2	Fügestrategien, Fügekräfte und -momente	128
8.4	Folgerungen aus den Versuchen	129
9	<u>Zusammenfassung und Ausblick</u>	130
10	<u>Schrifttum</u>	133