

## I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

0	<u>Abkürzungen und Formelzeichen</u>	13
1	<u>Einleitung</u>	16
1.1	Problemstellung	16
1.2	Zielsetzung	17
1.3	Vorgehensweise	18
2	<u>Stand der Technik</u>	19
2.1	Bestückautomaten	19
2.2	Bestückroboter	20
2.3	Sensorsysteme	23
2.4	Bauelementbereitstellung	23
2.5	Informationsfluß	25
3	<u>Analyse des Produktspektrums bei Kleinserienbestückung</u>	26
3.1	Produkt- und Produktionskennzahlen	27
3.2	Automatisierungshemmnisse	31
3.3	Tendenzen in der Bestückung kleiner Serien	32
3.4	Folgerungen aus den Analyseergebnissen	34
4	<u>Anforderungen an ein hochflexibles Bestücksystem für Kleinserienfertigung</u>	35
4.1	Teilfunktionen	35
4.2	Anforderungen an das Gesamtsystem	37
4.3	Anforderungen an die Teilsysteme	37
4.3.1	Bereitstellung	37
4.3.2	Greifer, Toleranzerkennung und Toleranzausgleich	39
4.3.3	Anforderungen an Programmierung und Steuerung	40

5	<u>Konzeption von hochflexiblen Bestück-</u> <u>systemen für Kleinserienfertigung</u>	42
5.1	Lösungskonzept für Teilfunktionen	42
5.1.1	Automatisch umrüstbare Teilebereitstellung	42
5.1.2	Fügen ungenau gegriffener und toleranz- behafteter Bauelemente	43
5.1.3	Programmgenerierung	45
5.2	Entwicklung von Rüstkonzepten	46
5.2.1	Rüstkonzepte für die Teilebereitstellung	46
5.2.2	Rüstkonzepte für die Robotersteuerung	47
5.3	Lösungskonzepte für das Gesamtsystem	47
5.3.1	Einrobotersysteme	47
5.3.2	Mehrrobotersysteme	50
5.4	Bewertung der Alternativen Gesamtsysteme	51
5.4.1	Grad der Umrüstflexibilität der Teile- bereitstellung	51
5.4.2	Typenflexibilität der Gesamtsysteme	54
6	<u>Entwicklung eines taktzeitoptimierten Füge-</u> <u>verfahrens für ungenau positionierte und</u> <u>toleranzbehaftete Bauelemente</u>	57
6.1	Verfahren zum Messen der Bereitstellungs- und Bauteiltoleranzen	57
6.1.1	Lösungsprinzipien	57
6.1.2	Entkopplung der Handachse von der Bahn- bewegung des Roboters	57
6.1.3	Untersuchung der Abschirmungsmöglichkeiten von Umgebungslicht	59
6.1.4	Entwicklung und Auswahl der geeigneten Hintergrundbeleuchtung	62
6.2	Verfahren zum Fügen ungenau gegriffener und toleranzbehafteter Bauelemente mit zwei Anschlußdrähten	65
6.2.1	Lösungsprinzipien	65

6.2.2	Herleitung des maximalen Kippwinkels	66
6.2.3	Herleitung des maximal möglichen Toleranzausgleichs für die vereinfachte ebene Problemstellung	68
6.2.4	Erweiterte Herleitung des maximal möglichen Toleranzausgleichs für die räumliche Problemstellung	70
6.3	Praktische Untersuchung des entwickelten Verfahrens	71
6.3.1	Fügegenauigkeit	71
6.3.1.1	Genauigkeit des Sensorsystems	71
6.3.1.2	Genauigkeit der Bestückpunktskorrektur	72
6.3.2	Fügesicherheit der Fügestrategie mit gekipptem Greifer in Abhängigkeit vom eingestellten Kippwinkel	73
6.3.3	Fügesicherheit in Abhängigkeit von den Bauteiltoleranzen	75
6.3.4	Fügekräfte	76
6.3.4.1	Minimierung der Fügekräfte durch Optimierung der Fügestrategie	78
6.3.4.2	Fügekräfte in Abhängigkeit von der Bauteilgeometrie, den Bauteiltoleranzen und dem Kippwinkel des Greifers	78
7	<u>Versuchsaufbau zum Bestücken von Leiterplatten in Kleinserien</u>	80
7.1	Gesamtaufbau	80
7.2	Arbeitsablauf	82
7.2.1	Bereitstellen von Material, CAD-Daten und Roboterprogrammen	82
7.2.2	Bestücken der Leiterplatte	84
7.3	Mechanischer Aufbau	86
7.3.1	Handhabungsroboter	86
7.3.1.1	Werkzeuge des Handhabungsroboters	86

7.3.2	Bestückroboter	87
7.3.2.1	Bestückgreifer	88
7.3.3	Peripheriekomponenten	89
7.4	Steuerung	90
7.5	Versuche mit der Pilotanlage	93
7.5.1	Versuchsergebnisse	94
7.5.1.1	Bestücktaktzeit	94
7.5.1.2	Taktzeitanteile der Rüstvorgänge	95
7.5.2	Störungen	96
8	<u>Zusammenfassung und Ausblick</u>	98
9	<u>Literaturverzeichnis</u>	101