

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Einführung	1
1.2 Einordnung des Aufgabengebiets	3
1.3 Stand der förderbandsynchronen Automatisierung	4
<b>2 Ziel der Arbeit</b>	<b>7</b>
2.1 Zielsetzung	7
2.2 Vorgehen	8
<b>3 Anforderungen an eine förderbandsynchrone Montageanlage</b>	<b>9</b>
3.1 Zielsetzung und Vorgehen zur Festlegung der Anforderungen	9
3.2 Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverläufe von Förderanlagen	10
3.2.1 Ziel der Analyse	10
3.2.2 Meßaufbau	11
3.2.3 Untersuchte Förderanlagen	12
3.2.3.1 Montagelinien	12
3.2.3.2 Aufbau eines Plattenbandes	13
3.2.3.3 Aufbau eines Schleppkettenförderers	14
3.2.3.4 Aufbau einer Elektrohängebahn	14
3.2.4 Laufverhalten der Förderanlagen	15
3.2.4.1 Plattenband	15
3.2.4.2 Kettenförderer	16
3.2.4.3 Elektrohängebahn	18
3.2.5 Zusammenfassung der Förderbanduntersuchungen	19
3.3 Positioniergenauigkeit	19
3.3.1 Begriffsdefinition	19
3.3.2 Festlegung der Genauigkeitsanforderung	22

3.4	Flexibilität	22
3.4.1	Begriffsdefinition	22
3.4.2	Variantenflexibilität	23
3.4.3	Nachfolgeflexibilität	24
3.5	Arbeitsraum	24
3.6	Tragkraft	25
3.7	Zusammenfassung der Anforderungen	26
<b>4</b>	<b>Istanalyse bestehender Lösungen</b>	<b>27</b>
4.1	Zielsetzung der Istanalyse	27
4.2	Strukturierung der bestehenden Synchronisationsansätze	27
4.3	Beschreibung und Grobanalyse	28
4.3.1	Mechanische Koppelung	28
4.3.1.1	Formschlüssige Koppelung	29
4.3.1.2	Kraftschlüssige Koppelung	31
4.3.2	Gesteuerte Koppelung	33
4.3.2.1	Koppelung der Sollwertvorgaben	34
4.3.2.2	Conveyorsynchronisation	34
4.3.3	Geregelte Koppelung	36
4.3.4	Schnelle Zusatzachse	40
4.3.5	Zusammenfassung	42
4.4	Experimentelle Untersuchung der Conveyorsynchronisation	42
4.4.1	Zielsetzung und Vorgehensweise	42
4.4.2	Aufbau und Beschreibung der Conveyorsynchronisation	43
4.4.2.1	Anwendung	43
4.4.2.2	Funktionsstruktur	43
4.4.3	Versuchsaufbau zur experimentellen Untersuchung der Positioniergenauigkeit	47
4.4.4	Genauigkeitsuntersuchung	51
4.4.4.1	Einstellung der Steuerungsparameter	51
4.4.4.2	Verhalten an realen Fördereinrichtungen	53

4.4.4.3	Verhalten bei analytischen Geschwindigkeitsvorgaben	56
4.4.5	Ursachen der Verfolgungenauigkeiten	61
4.4.6	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	62
<b>5</b>	<b>Konzeption von Lösungsansätzen</b>	<b>63</b>
5.1	Voraussetzungen und Vorgehen	63
5.2	Konzeption des Koppelungsprinzips	63
5.2.1	Mechanische Koppelungskonzepte	63
5.2.2	Konzepte mit gesteuerter Signalkoppelung	65
5.2.2.1	Koppelung der Sollwertvorgaben	65
5.2.2.2	Direktsynchronisation	66
5.2.3	Geregelte Signalkoppelung	69
5.2.3.1	Geregelte Koppelung von Roboterachsen	69
5.2.3.2	Geregelte Koppelung einer schnellen Zusatzachse an der Roboterhand	72
5.3	Festlegung des Synchronisationskonzepts	72
<b>6</b>	<b>Umsetzung des Konzepts in ein Robotersystem</b>	<b>73</b>
6.1	Auswahl eines geeigneten Robotersystems	73
6.1.1	Vorläufige Auswahl und Beschreibung	73
6.1.2	Dynamische Eigenschaften des Traggestells und des Antriebsstrangs	75
6.1.3	Mechanische Ungenauigkeiten der synchronisierten Linearachse	77
6.1.4	Zusammenfassung zur Roboterauswahl	80
6.2	Reglerauslegung	80
6.2.1	Zielsetzung	80
6.2.2	Reglerstruktur des eingesetzten Roboters	81
6.2.3	Schleppfehlerkompensation	83
6.2.3.1	Überblick	83

6.2.3.2	Geschwindigkeitsvorsteuerung, Beschleunigungsvorsteuerung	84
6.2.4	Versuchsdurchführung zur Reglerauslegung	86
6.2.5	Untersuchung geeigneter Regelungskonzepte	88
6.2.5.1	P-Regelung	88
6.2.5.2	Zustandsregler	91
6.2.6	Zusammenfassung der Reglerauslegung	92
6.3	Meßsystem zur Erfassung der Bewegung des Montagehauptkörpers	93
6.3.1	Auswahl des Meßsystems	93
6.3.2	Anbringung des Meßsystems	94
6.3.3	Steuerungstechnische Integration des Abtastarmes	95
6.4	Zusätzliche Erweiterungen der Pilotanlage gegenüber einer Anlage zur Montage an getakteten Fördereinrichtungen	96
6.4.1	Erweiterung der Steuerungsfunktionen	96
6.4.2	Erweiterungen der Lageregelkarte der zu synchronisierenden Achse	98
6.5	Quer- und Höhenbewegungen des Montagehauptkörpers	99
6.6	Zusammenfassende Beschreibung des entwickelten Gesamtsystems	100
<b>7</b>	<b>Untersuchung der Lösung</b>	<b>103</b>
7.1	Zielsetzung und Vorgehensweise der Untersuchung	103
7.2	Experimentelle Untersuchung der Verfolgegenauigkeit	103
7.2.1	Versuchsaufbau und Durchführung	103
7.2.2	Verfolgegenauigkeit bei realen Geschwindigkeits- profilen	104
7.2.3	Verfolgegenauigkeit bei analytischen Geschwindigkeitsvor- gaben und Bestimmung der Signalverarbeitungsdauer	108
7.3	Applikationsbeispiele	114
7.3.1	Zielsetzung	114
7.3.2	Praxisnaher Versuchsaufbau	115

7.3.3	Ablauf einer bandsynchronen Montage	115
7.3.4	Versuchsergebnisse der Applikation Türenmontage	117
7.3.5	Applikationsbeispiel Scheibenmontage	119
7.3.5.1	Zielsetzung	119
7.3.5.2	Einsatzbeschränkungen von Sensoren	119
7.3.5.3	Untersuchung von Anbauorten für eine mitbewegte Sensorik	121
7.3.5.4	Wiederholgenauigkeit eines sensorgeführten Prozesses	122
7.4	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	125
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>127</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>130</b>