

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	vii
Abbildungsverzeichnis .....	ix
Tabellenverzeichnis .....	xi
Symbolverzeichnis .....	xiii
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Systematisierung der Fertigungssteuerung.....</b>	<b>5</b>
2.1 Problemdefinition.....	5
2.1.1 Gegenstand der Arbeit .....	5
2.1.1.1 Fertigungssteuerungsaufgabe .....	5
2.1.1.2 Fertigungssteuerungsverfahren.....	9
2.1.2 Ausgangssituation.....	11
2.1.3 Zielstellung der Arbeit.....	14
2.1.3.1 Modell.....	15
2.1.3.2 Klassifikation.....	17
2.1.4 Strukturierung der Problemstellung.....	18
2.2 Anforderungen an die Problemlösung .....	19
2.2.1 Anforderungen an das formale Modell für FST-Aufgaben .....	20
2.2.1.1 Sachanforderungen .....	20
2.2.1.2 Formalanforderungen .....	27
2.2.2 Anforderungen an das formale Modell für FST-Verfahren.....	28
2.2.2.1 Sachanforderungen .....	28
2.2.2.2 Formalanforderungen .....	28
2.2.3 Anforderungen an die Klassifikation für FST-Aufgaben .....	30
2.2.3.1 Sachanforderungen .....	30
2.2.3.2 Formalanforderungen .....	31
2.2.4 Anforderungen an die Klassifikation für FST-Verfahren.....	31
2.2.4.1 Sachanforderungen .....	31
2.2.4.2 Formalanforderungen .....	31
<b>3 Stand der Technik .....</b>	<b>33</b>
3.1 Modelle für FST-Aufgaben.....	39
3.1.1 Modelle aus den Ingenieurwissenschaften und der Produktionswirtschaft.....	39
3.1.2 Modelle aus der Produktionstheorie .....	42

3.1.3 Modelle aus dem Operations Research .....	45
3.1.4 Modelle aus der Wirtschaftsinformatik .....	50
3.1.5 Modelle aus der Künstlichen Intelligenz .....	59
3.2 Modelle für FST-Verfahren .....	64
3.2.1 Modelle aus dem Operations Research .....	64
3.2.2 Modelle aus der Wirtschaftsinformatik .....	65
3.2.3 Modelle aus der Künstlichen Intelligenz .....	68
3.3 Klassifikationen von FST-Aufgaben .....	72
3.3.1 Klassifikationen aus den Ingenieurwissenschaften und der Produktionswirtschaft .....	72
3.3.2 Klassifikationen aus dem Operations Research .....	74
3.3.3 Klassifikationen aus der Wirtschaftsinformatik .....	75
3.3.4 Klassifikationen aus der Künstlichen Intelligenz .....	76
3.3.5 Klassifikationen aus der Entscheidungstheorie .....	77
3.4 Klassifikationen von FST-Verfahren .....	78
<b>4 Zu leistende Arbeiten zur Entwicklung eines formalen Modells und einer Klassifikation für die Fertigungssteuerung .....</b>	<b>83</b>
<b>5 Ein formales Modell und eine Klassifikation für die Fertigungssteuerung .....</b>	<b>87</b>
5.1 Formales Modell für FST-Aufgaben .....	87
5.1.1 Ableitung der Modellkonzepte .....	87
5.1.1.1 Das Aufgabenobjekt - Das Modell des Produktionsprozesses .....	87
5.1.1.1.1 Modellierung des Produktionsablaufs .....	87
5.1.1.1.2 Modellierung der Zeit .....	102
5.1.1.1.3 Modellierung von Ereignissen und Zuständen im Produktionssystem .....	108
5.1.1.2 Das Sachziel .....	117
5.1.1.3 Das Formalziel .....	120
5.1.1.4 Vor- und Nachereignisse - Verknüpfung von FST- Aufgaben .....	121
5.1.1.5 Zusammenfassung .....	122
5.1.2 Formale Definition des Modells für FST-Aufgaben .....	122
5.1.2.1 Das Aufgabenobjekt - Das Modell des Produktionsprozesses .....	123
5.1.2.1.1 Graph des Produktionsablaufs .....	123
5.1.2.1.2 Zeit .....	126
5.1.2.1.3 Modellereignisse .....	127
5.1.2.2 Das Sachziel .....	130
5.1.2.3 Das Formalziel .....	136
5.1.2.4 Die FST-Aufgabe .....	136

5.1.3	Beispiele für die Anwendung des Modells für FST-Aufgaben .....	136
5.1.3.1	Ein (akademisches) Beispiel aus der Fertigungstechnik .....	136
5.1.3.1.1	Beschreibung des Produktionssystems: Die flexible Fertigungszelle.....	136
5.1.3.1.2	FST-Aufgabe für die flexible Fertigungszelle: Mengenplanung .....	138
5.1.3.1.3	FST-Aufgabe für die flexible Fertigungszelle: Simulation.....	142
5.1.3.2	Ein (praktisches) Beispiel aus der Prozeßindustrie .....	148
5.1.3.2.1	Beschreibung des Produktionssystems: Die chemische Anlage .....	148
5.1.3.2.2	FST-Aufgabe für die chemische Anlage: Planänderung .....	150
5.2	Formales Modell für FST-Verfahren .....	159
5.2.1	Ableitung der Modellkonzepte .....	159
5.2.1.1	Struktur- und Ablaufkonzept eines FST-Verfahrens.....	159
5.2.1.1.1	Konzeption.....	159
5.2.1.1.2	Realisierungsaspekte - Aufgabenträgerebene.....	162
5.2.1.2	Aktionensteuerung.....	163
5.2.1.3	Aktionen - Lösungsverfahren für FST-Teilaufgaben .....	164
5.2.1.3.1	Ableitung von elementaren Aktionen für den zeitlichen Bezug .....	166
5.2.1.3.2	Ableitung von elementaren Aktionen für den sachlichen Bezug.....	172
5.2.1.3.3	Ableitung von elementaren Aktionen für Ereignisse ...	177
5.2.2	Formale Definition des Modells für FST-Verfahren .....	178
5.2.2.1	Elementare Aktionen für den zeitlichen Bezug.....	178
5.2.2.2	Elementare Aktionen für den sachlichen Bezug .....	181
5.2.2.3	Elementare Aktionen für Ereignisse.....	183
5.2.3	Beispiele für die Anwendung des Modells für FST-Verfahren.....	184
5.2.3.1	Verfahren zur Mengenplanungsaufgabe.....	184
5.2.3.2	Verfahren zur Simulationsaufgabe .....	189
5.3	Klassifikation von FST-Aufgaben .....	194
5.3.1	Gegenstand und Ziel der Klassifikation .....	194
5.3.2	Klassifikationsmerkmale von FST-Aufgaben .....	194
5.3.2.1	Mikrostrukturen.....	196
5.3.2.1.1	Klassifikationsmerkmal Graph des Produktionsablaufs	197
5.3.2.1.2	Klassifikationsmerkmal Ereignistypen.....	199
5.3.2.1.3	Klassifikationsmerkmal Restriktionen .....	200

5.3.2.1.4	Klassifikationsmerkmal Aufgabenstellung.....	202
5.3.2.1.5	Schema für die Mikrostruktur.....	205
5.3.2.2	Makrostrukturen .....	207
5.3.2.2.1	Klassifikationsmerkmal Graph des Produktionsablaufs	207
5.3.2.2.2	Klassifikationsmerkmal Restriktionen .....	208
5.3.2.2.3	Klassifikationsmerkmal Aufgabenstellung.....	209
5.3.2.2.4	Klassifikationsmerkmal Formalziel.....	209
5.3.3	Klassifikationsschema für FST-Aufgaben.....	210
5.3.3.1	Reduzierbarkeit.....	211
5.3.3.2	Vorgehensweise bei der Diskrimination .....	213
5.3.3.3	Darstellung .....	213
5.3.4	Beispiele .....	214
5.3.4.1	Konstruktionsaufgaben.....	215
5.3.4.1.1	Mengenbestimmung .....	215
5.3.4.1.2	Terminbestimmung.....	220
5.3.4.2	Planänderungsaufgaben.....	221
5.3.4.2.1	Mengenbestimmung .....	221
5.3.4.2.2	Terminbestimmung.....	222
5.3.4.3	Plandetaillierungsaufgaben.....	223
5.3.4.3.1	Mengenbestimmung .....	223
5.3.4.3.2	Terminbestimmung.....	224
5.4	Klassifikation von FST-Verfahren.....	226
5.4.1	Gegenstand und Ziel der Klassifikation .....	226
5.4.2	Klassifikationsmerkmale von FST-Verfahren.....	227
5.4.2.1	Klassifikationsmerkmal FST-Aufgabenklasse .....	227
5.4.2.2	Klassifikationsmerkmal Wirkprinzip .....	227
5.4.2.3	Klassifikationsmerkmal Struktur der Zwischenzustände .....	227
5.4.2.4	Klassifikationsmerkmal Zielerreichungseigenschaften.....	229
5.4.3	Klassifikationsschema für FST-Verfahren .....	233
5.4.4	Beispiele .....	234
5.4.4.1	Konstruktionsaufgaben.....	234
5.4.4.1.1	Mengenbestimmung .....	234
5.4.4.1.2	Terminbestimmung.....	236
5.4.4.2	Planänderungsaufgaben.....	236
5.4.4.2.1	Mengenbestimmung .....	236
5.4.4.2.2	Terminbestimmung.....	237

---

5.4.4.3	Plandetaillierungsaufgaben.....	237
5.4.4.3.1	Mengenbestimmung .....	237
5.4.4.3.2	Terminbestimmung.....	238
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>241</b>
<b>7</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>245</b>
<b>8</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>275</b>
8.1	Anwendung des Modells und der Klassifikation für FST-Aufgaben auf das MFST.....	275
8.1.1	Beschreibungen für Knoten und sachliche Bezüge im MFST .....	275
8.1.2	Das Bausteinkonzept des MFST.....	276
8.2	Ergänzungen zu Kapitel 5.2.....	278
8.2.1	Semantik der Aktionen für den zeitlichen Bezug .....	278
8.2.2	Ergebnisse zur Mengenplanungsaufgabe .....	284

## Abbildungsverzeichnis

Bild 1:	Struktur einer Aufgabe .....	7
Bild 2:	Struktur eines Lösungsverfahrens .....	10
Bild 3:	Morphologischer Kasten der FST .....	15
Bild 4:	Struktur der Problemstellung .....	19
Bild 5:	Abbildungseigenschaften des Modells für FST-Aufgaben .....	26
Bild 6:	Einordnung der im Stand der Technik betrachteten Wissenschaftsgebiete .....	36
Bild 7:	Im Stand der Technik zu betrachtende Modelle und Modellierungsmethoden....	38
Bild 8:	Klassifikation von FST-Aufgaben nach REFA .....	72
Bild 9:	Problemtypen .....	76
Bild 10:	Inferenztypen .....	80
Bild 11:	Symbole für Faktorknoten, Faktortransformationsknoten und Kante .....	99
Bild 12:	Symbolisierung möglicher Verknüpfungen von Faktoren und Faktortransformationen .....	99
Bild 13:	Symbolisierung von Mehrfachbeziehungen .....	100
Bild 14:	Symbolisierung des Gebrauchs von Faktoren in Faktortransformationen .....	101
Bild 15:	Graph des Produktionsablaufs mit Beschreibungen .....	101
Bild 16:	Formen von Zeitmodellen .....	105
Bild 17:	Mögliche Beziehungen zwischen Zeitmodellen .....	107
Bild 18:	Punkte für Ereignistypen am Faktorknoten .....	110
Bild 19:	Punkte für Ereignistypen am Faktortransformationsknoten .....	111
Bild 20:	Das Modell des Produktionsprozesses .....	114
Bild 21:	Ereignisse an einem Faktortransformationsknoten .....	115
Bild 22:	Zusammenhang der beiden Dimensionen Arbeitsfortschritt und Zeit .....	117
Bild 23:	Die flexible Fertigungszelle .....	137
Bild 24:	Der Modellroboter .....	138
Bild 25:	Graph des Produktionsablaufs für die Mengenplanungsaufgabe .....	139
Bild 26:	Graph des Produktionsablaufs für die Simulation .....	143
Bild 27:	Schematische Darstellung der chemischen Anlage .....	149
Bild 28:	Graph des Produktionsablaufs für das prozeßtechnische Beispiel .....	151
Bild 29:	Grafische Darstellung der Ausgangsdaten zum prozeßtechnischen Beispiel ....	158
Bild 30:	Struktur- und Ablaufkonzept eines FST-Verfahrens .....	160
Bild 31:	Aufgabenobjekte elementarer Aktionen .....	166
Bild 32:	Teilgraphen für die FST-Teilaufgaben .....	190

Bild 33:	Beispiel des Graphen einer Mikrostruktur .....	196
Bild 34:	Klassifikationsmerkmal Graph des Produktionsablaufs für Mikrostrukturen mit nicht entartetem Graphen .....	198
Bild 35:	Beispiel für die Repräsentation des Graphen einer Mikrostruktur.....	199
Bild 36:	Klassifikationsmerkmal Ereignistypen.....	200
Bild 37:	Klassifikationsmerkmal Restriktionen .....	202
Bild 38:	Klassifikationsmerkmal Aufgabenstellung .....	205
Bild 39:	Schema zur Darstellung von Mikrostrukturen .....	206
Bild 40:	Klassifikationsmerkmal Graph des Produktionsablaufs für Makrostrukturen - mögliche Verknüpfungen von Mikrostrukturen.....	208
Bild 41:	Beispiele für Graphen der Makrostrukturen.....	208
Bild 42:	Klassifikationsmerkmal Formalziel .....	210
Bild 43:	Prinzip der Selbstähnlichkeit.....	212
Bild 44:	Prinzip der entkoppelten Wiederholung.....	212
Bild 45:	Beispiele für nichtreduzierbare Verknüpfungen .....	213
Bild 46:	Beschreibungsschema für Klassen von FST-Aufgaben .....	214
Bild 47:	Prognose von Primärbedarfen als Klasse von FST-Aufgaben .....	216
Bild 48:	Losgrößenbildung ohne Berücksichtigung von Kapazitäten als Klasse von FST-Aufgaben.....	216
Bild 49:	Losgrößenbildung mit Berücksichtigung von Kapazitäten als Klasse von FST-Aufgaben.....	217
Bild 50:	Verbrauchsgesteuerte Materialdisposition als Klasse von FST-Aufgaben .....	218
Bild 51:	Stücklistenauflösung als Klasse von FST-Aufgaben .....	219
Bild 52:	Nettobedarfsermittlung als Klasse von FST-Aufgaben.....	220
Bild 53:	Rückwärtsterminierung als Klasse von FST-Aufgaben .....	221
Bild 54:	Losbildung bei MRP als Klasse von FST-Aufgaben .....	222
Bild 55:	Kapazitätsabgleich als Klasse von FST-Aufgaben .....	223
Bild 56:	Disaggregation der Mengen für Produktgruppen in Produktfamilien als Klasse von FST-Aufgaben.....	224
Bild 57:	Maschinenbelegungsplanung als Klasse von FST-Aufgaben .....	225
Bild 58:	Graphstrukturen bei Unterklassen der Klasse der FST-Aufgaben für Maschinenbelegungsplanung.....	226
Bild 59:	Arbeitsweise konstruktiver und verbessernder Verfahren .....	228
Bild 60:	Klassifikationsmerkmal Struktur der Zwischenzustände .....	229
Bild 61:	Beispiele für die Konvergenz von Verfahren.....	231
Bild 62:	Klassifikationsmerkmal Zielerreichungseigenschaften.....	232
Bild 63:	Bausteine im MFST.....	277

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	OR-Ansätze zu Modellen von FST-Aufgaben.....	46
Tabelle 2:	WI-Ansätze zu Modellen von FST-Aufgaben .....	51
Tabelle 3:	Wissensbasierte Ansätze zu Modellen von FST-Aufgaben.....	60
Tabelle 4:	WI-Ansätze zu Modellen von FST-Verfahren.....	66
Tabelle 5:	KI-Ansätze zu Modellen von FST-Verfahren.....	69
Tabelle 6:	Mögliche Beziehungen und Art der Zuordnungsvorschrift für Zeitmodelle verschiedener Formen.....	107
Tabelle 7:	Ausgangsdaten für die Mengenplanung.....	141
Tabelle 8:	Ausgangsdaten für die Simulation .....	147
Tabelle 9:	Beschreibungsschema für sachliche Bezüge an Faktorknoten .....	152
Tabelle 10:	Beschreibungsschema für sachliche Bezüge an Faktortransformationsknoten .....	153
Tabelle 11:	Definition der Aktionen für die Mengenplanungsaufgabe .....	185
Tabelle 12:	Ausgangsdaten für die erste Teilaufgabe.....	191
Tabelle 13:	Ergebnisse für die erste Teilaufgabe.....	192
Tabelle 14:	Beispiele für Konstruktionsaufgaben.....	204
Tabelle 15:	Klassen von ereignisbezogenen Formalzielen.....	210
Tabelle 16:	Klassifikationsschema für FST-Verfahren .....	233
Tabelle 17:	FST-Verfahrensklassen zur unkapazitierten Losgrößenbildung.....	234
Tabelle 18:	FST-Verfahrensklassen zur kapazitierten Losgrößenbildung.....	235
Tabelle 19:	FST-Verfahrensklassen zur Stücklistenauflösung .....	236
Tabelle 20:	FST-Verfahrensklassen zur Rückwärtsterminierung.....	236
Tabelle 21:	FST-Verfahrensklassen zum Kapazitätsabgleich .....	237
Tabelle 22:	FST-Verfahrensklassen zur Disaggregation bei der hierarchischen Produktionsplanung.....	237
Tabelle 23:	FST-Verfahrensklassen zur Maschinenbelegungsplanung .....	239
Tabelle 24:	Klassen von Teilaufgaben zu den Bausteinen im MFST.....	277
Tabelle 25:	Ergebnistabelle zur Mengenplanungsaufgabe .....	287