

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>i</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>vii</b>
<b>Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen</b>	<b>xi</b>
<b>Verzeichnis der verwendeten Symbole</b>	<b>xv</b>
<b>1 Motivation</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung . . . . .	2
1.2 Zielsetzung der Arbeit . . . . .	3
<b>2 Ablaufplanung</b>	<b>5</b>
2.1 Begriffserklärung . . . . .	5
2.2 Ablaufplanung innerhalb der produktionswirt. Organisation . . . . .	11
2.2.1 Aufbauorganisation . . . . .	14
2.2.2 Ablauforganisation . . . . .	17
2.2.2.1 Gegenstand der Ablauforganisation . . . . .	17
2.2.2.2 Ziele der Ablauforganisation . . . . .	20
2.3 Ablaufplanung innerhalb der Produktionsplanung . . . . .	27
2.3.1 Produktionsprogrammplanung . . . . .	29
2.3.2 Bereitstellungsplanung . . . . .	31
2.3.3 Prozeßplanung . . . . .	34
2.4 Zusammenfassung . . . . .	37

<b>3</b>	<b>Das Job Shop Scheduling Problem</b>	<b>39</b>
3.1	Deterministische Scheduling Probleme . . . . .	41
3.1.1	Maschinencharakteristika . . . . .	42
3.1.2	Auftragscharakteristika . . . . .	43
3.1.3	Optimalitätskriterien . . . . .	45
3.1.4	Zusammenfassung . . . . .	49
3.2	Job Shop Scheduling . . . . .	51
3.2.1	Grundbegriffe . . . . .	51
3.2.2	Sequencing . . . . .	54
3.2.3	Scheduling . . . . .	56
3.3	Komplexitätstheoretische Betrachtungen . . . . .	58
3.3.1	Grundbegriffe . . . . .	59
3.3.2	Zur Komplexität des JSP . . . . .	63
3.4	Alternative Lösungsverfahren . . . . .	63
3.4.1	Problemklassen . . . . .	63
3.4.2	Exakte Verfahren . . . . .	64
3.4.3	Heuristiken . . . . .	65
3.4.3.1	Simulated Annealing . . . . .	67
3.4.3.2	Threshold Accepting . . . . .	68
3.4.3.3	Genetische Algorithmen . . . . .	69
3.4.4	Künstliche Neuronale Netzwerke . . . . .	70
3.4.5	Fuzzy-Logik . . . . .	72
3.5	Zusammenfassung . . . . .	75
<b>4</b>	<b>Verteiltes Problemlösen</b>	<b>77</b>
4.1	Konventionelle PPS-Systeme . . . . .	79
4.2	Fertigungsleitstand . . . . .	85
4.3	Dezentrale Ansätze . . . . .	88
4.3.1	Konventionelle dezentrale Verfahren . . . . .	88
4.3.1.1	Prioritätsregeln . . . . .	89
4.3.1.2	Kanban . . . . .	91
4.3.1.3	Fortschrittszahlen . . . . .	92
4.3.1.4	Verteilte Simulation . . . . .	93
4.3.2	Verfahren der Verteilten Künstlichen Intelligenz . . . . .	95

---

4.3.2.1	Verteilte Expertensysteme . . . . .	97
4.3.2.2	Blackboard-Systeme . . . . .	97
4.3.2.3	Neuronale Netze . . . . .	98
4.3.2.4	Multiagentensysteme . . . . .	99
4.4	Aspekte von Multiagentensystemen . . . . .	100
4.4.1	Der Agent . . . . .	100
4.4.2	Agentenarchitekturen . . . . .	103
4.4.3	Koordination und Kommunikation . . . . .	104
4.4.3.1	Kooperatives Problemlösen und seine Phasen	104
4.4.3.2	Dezentrale Organisationsformen der Kommunikation . . . . .	106
4.4.4	Kommunikationssysteme . . . . .	108
4.4.4.1	Systeme der indirekten Kommunikation . . . . .	108
4.4.4.2	Systeme der direkten Kommunikation . . . . .	112
4.4.4.3	Zusammenhang von Marktmodell und Kontrakt-Netz . . . . .	117
4.4.5	Dezentraler Leitstand, Simulation und MAS . . . . .	119
4.4.5.1	Dezentrale Leitstandssysteme . . . . .	119
4.4.5.2	Leitstand und Simulation . . . . .	122
4.4.5.3	Simulation und MAS . . . . .	123
4.4.5.4	MAS und Leitstand . . . . .	124
4.4.6	Prototypen . . . . .	126
4.4.6.1	MAGSY . . . . .	126
4.4.6.2	SOPP . . . . .	127
4.4.6.3	VERFLEX-BB . . . . .	129
4.4.6.4	Prototyp nach Gausemeier . . . . .	131
4.4.6.5	Prototyp nach Baldi . . . . .	133
4.4.6.6	Prototyp nach Hahndel . . . . .	134
4.4.6.7	Weitere Prototypen . . . . .	136
4.5	Zusammenfassung . . . . .	139

<b>5</b>	<b>Objektorientiertes Referenzmodell</b>	<b>141</b>
5.1	Die Modellierung . . . . .	142
5.1.1	Begriffserklärung . . . . .	142
5.1.2	Phasen der Modellierung eines Referenzmodells . . . . .	145
5.1.3	Das konzeptionelle Modell . . . . .	147
5.1.4	Das Entity-Relationship-Modell . . . . .	148
5.2	Eine Unternehmensanalyse für das JSP . . . . .	153
5.2.1	Die Strukturanalyse . . . . .	153
5.2.2	Die Ereignisanalyse . . . . .	156
5.3	Ein objektorientierter Entwurf für das JSP . . . . .	158
5.3.1	Grundlagen der objektorientierten Modellierung . . . . .	158
5.3.2	Aspekte der objektorientierten Modellierung . . . . .	162
5.3.3	Objektorientierte Entwurfsmethoden . . . . .	164
5.3.4	Die Object Modeling Technique . . . . .	166
5.3.4.1	Das Objektdiagramm . . . . .	167
5.3.4.2	Das Zustandsdiagramm . . . . .	171
5.3.4.3	Das Datenflußdiagramm . . . . .	175
5.3.5	Implementierung eines objektorientierten Entwurfs . . . . .	178
5.4	Zusammenfassung . . . . .	179
<b>6</b>	<b>Reihenfolgeplanung</b>	<b>181</b>
6.1	Situation einer Werkstatt . . . . .	182
6.1.1	Analyse der Werkstattsteuerung . . . . .	183
6.1.1.1	Aufgabengebiete der Werkstattsteuerung . . . . .	187
6.1.1.2	Reihenfolgeabhängige Rüstzeiten . . . . .	190
6.1.2	Analyse des Fertigungsauftragsdurchlaufs . . . . .	195
6.2	Eröffnungsverfahren . . . . .	200
6.2.1	Prioritätsregeln . . . . .	202
6.2.1.1	Zeitunabhängige Prioritätsregeln . . . . .	204
6.2.1.1.1	Stochastische Eigenschaften . . . . .	204
6.2.1.1.2	Bearbeitungszeitorientierung . . . . .	205
6.2.1.1.3	Fertigstellungszeitpunktorientierung . . . . .	208
6.2.1.2	Zeitabhängige Prioritätsregeln . . . . .	209
6.2.2	Verknüpfung von Prioritätsregeln . . . . .	211

6.2.2.1	Verknüpfungen einfacher Art . . . . .	211
6.2.2.2	AHP . . . . .	213
6.2.2.2.1	Systemanalyse . . . . .	215
6.2.2.2.2	Lösungsverfahren . . . . .	216
6.2.2.2.3	Entscheidung . . . . .	221
6.2.3	Zur Generierung von Ablaufplänen . . . . .	221
6.2.4	Ergebnisse . . . . .	225
6.3	Verbesserungsverfahren . . . . .	229
6.3.1	Genetische Algorithmen . . . . .	229
6.3.1.1	Evolutionäre Algorithmen - ein Überblick . . . . .	230
6.3.1.2	Grundlagen Genetischer Algorithmen . . . . .	231
6.3.1.3	Wahl einer geeigneten Kodierung . . . . .	233
6.3.1.3.1	Formen der Problemrepräsentation . . . . .	239
6.3.1.3.2	Kodierung nach Nakano und Yamada . . . . .	240
6.3.1.3.3	Kodierung nach Bierwirth et al. . . . .	243
6.3.1.3.4	Kodierung nach Rixen und Kopfer . . . . .	246
6.3.1.3.5	Ein neuer Kodierungsansatz . . . . .	248
6.3.1.4	Populationskonzepte . . . . .	252
6.3.1.4.1	Populationsgröße . . . . .	252
6.3.1.4.2	Zusammensetzung der Startpopula- tion . . . . .	252
6.3.1.4.3	Ersetzungsschema . . . . .	253
6.3.1.4.4	Populationsstruktur . . . . .	256
6.3.1.5	Lösungsevaluierung und Fitneßfunktion . . . . .	259
6.3.1.6	Selektionsoperatoren . . . . .	262
6.3.1.6.1	Einfaches Roulette-Schema . . . . .	263
6.3.1.6.2	Modifiziertes Roulette-Schema . . . . .	265
6.3.1.6.3	Ranglisten-Selektion (Ranking) . . . . .	265
6.3.1.6.4	Uniforme Selektion . . . . .	266
6.3.1.6.5	Exponentielle Selektion . . . . .	267
6.3.1.6.6	Turnier-Selektion . . . . .	267
6.3.1.6.7	Heirats-Selektion . . . . .	267
6.3.1.7	Rekombination und Crossover . . . . .	267
6.3.1.7.1	Vergleich gebräuchlicher Operatoren . . . . .	268

6.3.1.7.2	Generalized Order Crossover (GOX)	270
6.3.1.7.3	Generalized Position Based Crossover (GPBX)	271
6.3.1.8	Mutation	272
6.3.1.8.1	Shift-Operator	273
6.3.1.8.2	Order Based Mutation (OBM)	273
6.3.1.8.3	Position Based Mutation (PBM)	274
6.3.1.8.4	Scramble Sublist Mutation	275
6.3.1.8.5	Translokations-Mutation	275
6.3.1.8.6	Inversions-Mutation	276
6.3.1.8.7	Random-Mutation	276
6.3.1.9	Möglichkeiten zur weiteren Leistungssteigerung von GA	276
6.3.1.9.1	Destabilisierung	276
6.3.1.9.2	Tabu-Liste	277
6.3.1.9.3	Hybridisierung	279
6.3.2	Simulated Annealing	281
6.3.2.1	Überblick über das Verfahren	281
6.3.2.2	Parametereinstellung	282
6.3.3	Threshold Accepting	284
6.3.3.1	Überblick über das Verfahren	284
6.3.3.2	Parametereinstellung	285
6.3.4	Sintflut-Methode	286
6.3.4.1	Überblick über das Verfahren	286
6.3.4.2	Parametereinstellung	288
6.4	Testergebnisse	288
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>297</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>301</b>

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Inhaltliche Gliederung der Arbeit . . . . .	4
2.1	Hauptprozeß der Auftragsbearbeitung . . . . .	7
2.2	Aufgaben der Fertigungssteuerung . . . . .	10
2.3	Formen von Erzeugnisstrukturen . . . . .	14
2.4	Formen von Aufgabenstrukturen . . . . .	16
2.5	Einteilung von produktionswirtschaftlichen Zielen . . . . .	21
2.6	Einfluß der Ablaufplanung auf die Durchlaufzeit . . . . .	23
2.7	MRP-Konzepte . . . . .	28
2.8	Verschiedene Sichten zur Ablaufplanung . . . . .	37
3.1	Problem-Klassifikation . . . . .	50
3.2	Auswahl von Zielkriterien . . . . .	50
3.3	Maschinenfolgegraph . . . . .	53
3.4	Disjunktiver Graph . . . . .	54
3.5	Ablaufgraph . . . . .	55
3.6	Gantt-Diagramme . . . . .	56
3.7	Venn-Diagramm zum Verhältnis der semi-aktiven, aktiven und unverzögerten Belegungspläne . . . . .	58
4.1	Förderung der Motivation der Mitarbeiter . . . . .	82
4.2	Dynamisches Umfeld von PPS-Systemen . . . . .	83
4.3	Innovationsfelder von PPS-Systemen der 4. Generation . . . . .	85
4.4	Der Leitstand eines Logistiksystems als Regelkreismodell . . . . .	86
4.5	Dezentrale Verfahren der Fertigungsplanung und -steuerung . . . . .	89
4.6	Einordnung von Multiagentensystemen . . . . .	99
4.7	Agentenmodell . . . . .	102
4.8	Phasen des Verteilten Problemlösens . . . . .	105

4.9	Systematisierung . . . . .	106
4.10	Organisationsformen . . . . .	107
4.11	Das Blackboard-Problemlösungsmodell . . . . .	108
4.12	Hierarchie der Agenten . . . . .	110
4.13	Kommunikationswege . . . . .	111
4.14	Die Mikroökonomie innerhalb eines Unternehmens . . . . .	113
4.15	Architekturen für dezentrale Leitstandsysteme . . . . .	120
4.16	Simulationsgestützte Fertigungsplanung und -steuerung . . . . .	122
4.17	Agenteninterpretier . . . . .	124
4.18	Dezentrale hierarchische Leitstände . . . . .	125
4.19	Systemarchitektur des Systems VERFLEX-BB . . . . .	130
4.20	Leitstandarchitektur . . . . .	133
5.1	Zusammenhang von Referenz- und Metamodell . . . . .	144
5.2	Entwurfsschritte eines Referenzmodells . . . . .	145
5.3	Beziehungen zwischen Mengen . . . . .	149
5.4	Entities und Beziehungen im ERD . . . . .	150
5.5	Darstellungsformen und deren Erweiterungen im ERD . . . . .	152
5.6	ERD für das Job Shop Scheduling Problem . . . . .	156
5.7	Ereignisse der Feinsteuerung . . . . .	158
5.8	Notation für Objektklassen . . . . .	168
5.9	Objektklasse und Objektinstanzen . . . . .	169
5.10	Assoziation zwischen Klassen . . . . .	170
5.11	Aggregation von Klassen . . . . .	170
5.12	Generalisierung, Spezialisierung von Klassen . . . . .	171
5.13	Objektdiagramm für das JSP . . . . .	172
5.14	Notation für Zustandsdiagramme . . . . .	174
5.15	Zustandsdiagramm eines Fertigungsauftrages . . . . .	175
5.16	Datenflußdiagramm zur Auftragsterminplanung . . . . .	177
6.1	Aufgaben der Werkstattsteuerung und Arbeitsvorbereitung . . . . .	185
6.2	Werkstattsteuerung . . . . .	187
6.3	Stückzahlbereiche der Werkstattaufträge . . . . .	190
6.4	Durchschnittliches Verhältnis von Rüst- zur Bearbeitungszeit . . . . .	191
6.5	Abhängigkeiten zwischen Modellbestandteilen . . . . .	192



6.6	Belegungsplan bei ausschließlicher Rüstzeitminimierung . . . .	193
6.7	Belegungspläne bei Zykluszeitminimierung unter Vernachlässigung der reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten . . . . .	194
6.8	Belegungsplan bei Zykluszeitminimierung unter Beachtung der reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten . . . . .	195
6.9	Daten der Fertigung eines Maschinenbauunternehmens . . . .	196
6.10	Anzahl Aufträge pro Anzahl Arbeitsgänge . . . . .	197
6.11	Maschinenwechseldiagramm . . . . .	198
6.12	Hauptflußrichtung der Arbeitsvorgänge . . . . .	199
6.13	Klassifikation von Eröffnungsverfahren . . . . .	201
6.14	Klassifikation von Prioritätsregeln . . . . .	204
6.15	Stochastische Prioritätsregeln . . . . .	205
6.16	Bearbeitungszeitorientierte Prioritätsregeln . . . . .	206
6.17	Fertigstellungszeitpunktorientierte Prioritätsregeln . . . . .	208
6.18	Zeitabhängige Prioritätsregeln . . . . .	209
6.19	Güte von Prioritätsregeln bzgl. unterschiedlicher Zielfunktionen	210
6.20	Verknüpfungen elementarer Prioritätsregeln . . . . .	212
6.21	Grundelemente der AHP-Methode . . . . .	214
6.22	Hierarchische Zerlegung im AHP . . . . .	216
6.23	Eingangsdaten des Beispiels zum AHP . . . . .	220
6.24	Beispielrechnung des AHP . . . . .	220
6.25	Algorithmus zur Generierung eines aktiven Ablaufplanes . . .	222
6.26	Algorithmus zur Generierung eines aktiven Ablaufplanes aus einem bestehenden Ablaufplan . . . . .	223
6.27	Optimale Lösung des 10 × 10 Benchmarkbeispiels . . . . .	224
6.28	Elementare Prioritätsregeln . . . . .	226
6.29	Verknüpfungen elementarer Prioritätsregeln, Teil 1 . . . . .	227
6.30	Verknüpfungen elementarer Prioritätsregeln, Teil 2 . . . . .	228
6.31	Ein Beispiel mit einem Deadlock . . . . .	234
6.32	Reihenfolgebeziehungen . . . . .	235
6.33	Kodierung von <i>Nakano</i> und <i>Yamada</i> . . . . .	241
6.34	Erweiterung der Kodierung von <i>Nakano</i> und <i>Yamada</i> . . . .	242
6.35	Kodierung nach Bierwirth et al. . . . .	244
6.36	Verschiedene Genotypen mit gleichem Phänotyp . . . . .	245

6.37	Erzeugung einer Reihenfolge aus der kodierten Lösung . . . .	246
6.38	Redundante Lösung . . . . .	247
6.39	Nicht erzeugbare Einplanungsreihenfolge dieser Kodierung . .	248
6.40	Erzeugung einer Ausgangslösung. . . . .	249
6.41	Neue Kodierung für das JSP. . . . .	250
6.42	Generational Replacement . . . . .	254
6.43	Generational Replacement mit Elitismus . . . . .	255
6.44	Stetige Ersetzung (Steady-State GA) . . . . .	255
6.45	Bestimmung der Hamming-Distanz zweier Lösungen . . . . .	256
6.46	Inselmodell . . . . .	257
6.47	Netzwerkmodell . . . . .	258
6.48	Nachbarschaftsmodelle . . . . .	259
6.49	JSP-Lösungsevaluierung . . . . .	260
6.50	TSP-Lösungsevaluierung . . . . .	261
6.51	Selektionen . . . . .	264
6.52	n-Punkt- und Uniform-Crossover . . . . .	269
6.53	Generalized Order Crossover (GOX) . . . . .	271
6.54	Generalized Position Based Crossover (GPBX) . . . . .	272
6.55	Shift-Operator . . . . .	273
6.56	Order Based Mutation . . . . .	274
6.57	Position Based Mutation . . . . .	274
6.58	Scramble Sublist Operator . . . . .	275
6.59	Translokationsoperator . . . . .	275
6.60	Inversionsoperator . . . . .	276
6.61	Hillclimbing-Algorithmus zur lokalen Optimierung im JSP . .	279
6.62	Basisalgorithmus Simulated Annealing . . . . .	281
6.63	Basisalgorithmus Threshold Accepting . . . . .	285
6.64	Basisalgorithmus Sintflut-Methode . . . . .	287
6.65	Testbeispiele für Simulated Annealing . . . . .	289
6.66	Testbeispiele für Threshold Accepting . . . . .	290
6.67	Testbeispiele für Sintflut-Methode . . . . .	291
6.68	Testbeispiele für Genetische Algorithmen . . . . .	292
6.69	Testergebnisse anderer Autoren . . . . .	293
7.1	Parametereinstellung mittels Fuzzy-Regler . . . . .	299