

Kai Brüssau

# Evolutionäre Algorithmen zur simultanen Losgrößen- und Ablaufplanung



Deutscher Universitäts-Verlag

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>XV</b>
<b>T<sup>^</sup>bellenverzeichnis</b>	<b>XVII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>XIX</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>XXI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung . . . . .	1
1.2 Ziel der Arbeit . . . . .	2
1.3 Gang der Untersuchung . . . . .	3
<b>2 Produktionssysteme der Fertigungsindustrie</b>	<b>7</b>
2.1 Typisierung . . . . .	7
2.1.1 Erzeugnisorientierte Typisierung . . . . .	8
2.1.2 Einsatzorientierte Typisierung . . . . .	9
2.1.3 Fertigungsorientierte Typisierung . . . . .	9
2.2 Produktionsplanung . . . . .	11
2.2.1 Produktionsprogrammplanung . . . . .	12
2.2.2 Bereitstellungsplanung . . . . .	12
2.2.3 Produktionsprozessplanung . . . . .	13
2.2.3.1 Aufgaben der Produktionsprozessplanung . . . . .	13
2.2.3.2 Charakterisierung von Ablaufplanungsproblemen. . . . .	13
2.2.3.2.1 Maschinencharakteristik . . . . .	14
2.2.3.2.2 Auftragscharakteristik . . . . .	16
2.2.3.2.3 Zielsetzung . . . . .	17
2.2.3.2.4 Bezug zum Produktionssystem. . . . .	18
2.2.3.3 Job-Shop-Problem (JSP). . . . .	18
2.2.3.4 Extended Job-Shop-Problem (EJSP). . . . .	20
2.2.4 Beziehungen zwischen den Teilplänen der Produktion. . . . .	21
2.3 Anwendungsgebiete. . . . .	24
<b>3 Evolutionäre Algorithmen</b>	<b>25</b>
3.1 Mathematische Grundlagen. . . . .	27
3.1.1 Optimierungsproblem . . . . .	27
3.1.2 Optimierungsverfahren. . . . .	28
3.1.3 Lokales Optimum. . . . .	29
3.2 Mutations-Selektions-Verfahren. . . . .	30
3.2.1 Grundlagen. . . . .	30
3.2.2 Einsatz. . . . .	32
3.2.3 Simulated Annealing (SA). . . . .	34

3.2.3.1	Beschreibung . . . . .	34
3.2.3.2	Merkmale . . . . .	35
3.2.4	Threshold Accepting (TA). . . . .	37
3.2.4.1	Beschreibung . . . . .	37
3.2.4.2	Merkmale . . . . .	37
3.2.4.3	Implementierung . . . . .	38
3.2.5	Vergleich Simulated Annealing und Threshold Accepting. . . . .	42
3.2.6	Stabilisierung-Destabilisierung . . . . .	42
3.2.6.1	Beschreibung . . . . .	42
3.2.6.2	Varianten der Implementierung . . . . .	45
3.2.6.3	Anwendungsgebiete . . . . .	46
3.3	Automatische Parametrisierung . . . . .	47
3.3.1	Stabilisierung-Destabilisierung . . . . .	47
3.3.2	Dynamisches TA-Verfahren . . . . .	48
3.3.2.1	Vorüberlegungen . . . . .	48
3.3.2.2	Entwicklung des Verfahrens . . . . .	48
3.3.2.3	Merkmale . . . . .	51
3.3.2.4	Wahrscheinlichkeitstheoretische Betrachtung . . . . .	52
3.3.3	TA-Verfahren mit Destabilisierung . . . . .	54
3.3.4	Dynamisches SA-Verfahren . . . . .	55
3.4	Optimieren des Job-Shop-Problems (JSP). . . . .	55
3.4.1	Klassische Optimierungsansätze zur Lösung des JSP. . . . .	56
3.4.1.1	Prioritätsregeln zur Lösung des Ein-Maschinen-Problems . . . . .	56
3.4.1.2	Gemischt-ganzzahliges lineares Programm . . . . .	57
3.4.1.3	Modellierung des JSP als disjunktiver Graph . . . . .	60
3.4.2	Genetische Algorithmen . . . . .	62
3.4.3	Modellierung zur Lösung des JSP mit MUSE-Verfahren . . . . .	63
3.4.3.1	Genotyp und Genetischer Vektor. . . . .	63
3.4.3.1.1	Binäre Darstellung. . . . .	64
3.4.3.1.2	Reihenfolgeliste für jede Maschine. . . . .	64
3.4.3.1.3	Reihenfolgeliste aller Arbeitsgänge. . . . .	65
3.4.3.2	Mutationen und Nachbarschaft . . . . .	66
3.4.4	Lösung des JSP mit dem TA-Verfahren. . . . .	67
3.4.4.1	Einfluss der Parameter auf die Lösungsqualität . . . . .	67
3.4.4.2	Signifikanz der Ergebnisse. . . . .	69
3.4.4.3	Robustheit. . . . .	71
3.4.4.4	Konstanter Schwellenwert . . . . .	72
3.4.5	Lösung des JSP mit dem DTA-Verfahren. . . . .	73
3.4.5.1	Parameter beim DTA-Verfahren. . . . .	73
3.4.5.2	Optimierungsqualität des DTA-Verfahrens. . . . .	76
3.4.5.3	Varianten . . . . .	83
3.4.6	Lösung des JSP mit dem DSA-Verfahren. . . . .	85

4.1	Betriebswirtschaftliche Betrachtung . . . . .	89
4.2	Einsatz von MUSE-Verfahren zur Ablaufplanung . . . . .	90
4.3	Auftragsreihenfolgeplanung . . . . .	91
4.3.1	Grundlegende Strategien . . . . .	91
4.3.2	Auftragsreihenfolgeplanungsmodelle. . . . .	94
4.3.2.1	Prioritätsregeln zur Auftragsreihenfolgeplanung . . . . .	95
4.3.2.2	MUSE-Verfahren zur Auftragsreihenfolgeplanung . . . . .	95
4.3.2.2.1	Genotyp und Genetischer Vektor. . . . .	95
4.3.2.2.2	Mutation und Selektion. . . . .	97
4.4	Maschinenbelegungsplanung. . . . .	100
4.4.1	Modellannahmen. . . . .	100
4.4.2	Einlastungsregel EVV. . . . .	101
4.4.3	Implikationen. . . . .	106
4.5	Zielfunktionsauswertung bei Mehrzieloptimierung . . . . .	107
4.5.1	Zielsetzungen. . . . .	107
4.5.2	Strafkosten. . . . .	109
4.6	Anwendungsbeispiele . . . . .	111
4.6.1	Job-Shop-Problem mit Maschinengruppen. . . . .	111
4.6.2	Job-Shop-Problem mit reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten. . . . .	114
4.7	Betriebswirtschaftliche Würdigung . . . . .	116
<b>5</b>	<b>Kombiniertes Verfahren zur Ablaufplanung</b>	<b>117</b>
5.1	Betriebswirtschaftliche Notwendigkeit der Modellerweiterung. . . . .	117
5.2	Zielsetzungen der Just-In-Time-Produktion. . . . .	117
5.3	Dekomposition des Ablaufplanungsproblems. . . . .	118
5.3.1	Dekompositionsschema . . . . .	118
5.3.2	LP-Modell zur Bestimmung der Belegungszeiten . . . . .	119
5.4	Kombination von MUSE-Verfahren und mathematischer Optimierung . . . . .	123
5.5	Vergleich von LP-Modell und Einlastungsregel zur Maschinenbelegung . . . . .	123
5.5.1	Merkmale des Produktionssystems. . . . .	123
5.5.2	Charakterisierung des Ablaufplanungsproblems. . . . .	124
5.5.3	Planungsrelevante Daten des Produktionssystems. . . . .	125
5.5.4	Zeitliche Ablaufplanung . . . . .	126
5.5.4.1	Zykluszeitminimierung. . . . .	126
5.5.4.2	Kombinierte Zielsetzungen. . . . .	128
5.6	Praxisbeispiel der Fertigungsindustrie. . . . .	132
5.6.1	Merkmale des Produktionssystems. . . . .	132
5.6.2	Charakterisierung des Ablaufplanungsproblems. . . . .	133
5.6.3	Planungsrelevante Daten des Produktionssystems. . . . .	134
5.6.4	Zeitliche Ablaufplanung . . . . .	136
5.6.4.1	Zykluszeitminimierung. . . . .	137
5.6.4.2	Kombinierte Zielsetzung. . . . .	137
5.7	Betriebswirtschaftliche Würdigung . . . . .	140

<b>6</b>	<b>Simultanansatz zur Losgrößen- und Ablaufplanung</b>	<b>141</b>
6.1	Betriebswirtschaftliche Betrachtung . . . . .	141
6.2	Klassische Verfahren zur Losgrößenbestimmung . . . . .	142
6.2.1	Losgrößenplanung bei einstufiger Mehrproduktproduktion . . . . .	142
6.2.2	Losgrößenplanung bei mehrstufiger Mehrproduktproduktion . . . . .	143
6.2.2.1	Discrete Lotsizing and Scheduling Problem (DLSP) . . . . .	144
6.2.2.2	Modelle mit variablen Periodenlängen . . . . .	147
6.2.2.2.1	Bewertung der Lagerkosten . . . . .	148
6.2.2.2.2	Problemkomplexität . . . . .	148
6.3	Losgrößen- und Ablaufplanung mit MUSE-Verfahren . . . . .	149
6.3.1	Definition des "Extended Lotsizing and Scheduling Problem" (ELSP) . . . . .	150
6.3.2	Modell zur Lösung des ELSP . . . . .	150
6.3.2.1	Variierbarkeit der Losgrößen . . . . .	150
6.3.2.2	Identische Losgröße auf allen Stufen . . . . .	152
6.3.2.3	Bestimmung möglicher Losgrößen . . . . .	152
6.3.2.4	Bestimmung der minimalen Losgröße . . . . .	152
6.3.2.5	Definition von Produktionsaufträgen . . . . .	153
6.3.3	Verfahren zur Lösung des ELSP . . . . .	155
6.3.3.1	Verfahren " <i>Minimale Lose</i> ". . . . .	155
6.3.3.2	Verfahren " <i>Losgrößenteilung</i> ". . . . .	156
6.3.3.3	<b>Merkmale des Verfahrens <i>Losgrößenteilung</i></b> . . . . .	160
6.3.3.4	Vergleich der Verfahren . . . . .	160
6.4	Anwendungsbeispiele . . . . .	162
6.4.1	Zielsetzungen . . . . .	162
6.4.1.1	<b>Zykluszeit</b> . . . . .	162
6.4.1.2	<b>Lieferterminüberschreitungen</b> . . . . .	162
6.4.1.3	<b>Lagerkosten für Zwischen- und Fertigprodukte</b> . . . . .	163
6.4.1.4	<b>Rüstkosten</b> . . . . .	164
6.4.2	Modifiziertes Fisher-Thompson-Problem . . . . .	165
6.4.2.1	Merkmale des Losgrößen- und Ablaufplanungsproblems . . . . .	165
6.4.2.2	Klassifizierung des Losgrößen- und Ablaufplanungsproblems . . . . .	165
6.4.2.3	Simultane Losgrößen- und Ablaufplanung . . . . .	166
6.4.3	Praxisbeispiel Abfüllprozess . . . . .	167
6.4.3.1	Merkmale des Produktionssystems . . . . .	167
6.4.3.2	Klassifizierung des Losgrößen- und Ablaufplanungsproblems . . . . .	168
6.4.3.3	Planungsrelevante Daten . . . . .	168
6.4.3.4	Simultane Losgrößen- und Ablaufplanung . . . . .	171
6.4.3.4.1	<b>Zielsetzung Zykluszeit</b> . . . . .	171
6.4.3.4.2	<b>Zielsetzung Lager- und Rüstkosten</b> . . . . .	172
6.4.4	Praxisbeispiel Filterproduktion . . . . .	175
6.4.4.1	Merkmale des Produktionssystems . . . . .	175
6.4.4.2	Klassifizierung des Losgrößen- und Ablaufplanungsproblems . . . . .	175
6.4.4.3	Simultane Losgrößen- und Ablaufplanung . . . . .	176
6.4.4.3.1	<b>Zielsetzung Zykluszeit</b> . . . . .	176

Inhaltsverzeichnis	XIII
6.4.4.3.2 Zielsetzung Lager- und Rüstkosten . . . . .	178
6.5 Betriebswirtschaftliche Würdigung . . . . .	182
<b>7 Schlussbetrachtung</b>	<b>183</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> „	<b>187</b>