

# **Technische Universität München**

**Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik**

## **Entwicklung eines Planungssystems zur Optimierung von Agrarlogistik-Prozessen**

Sascha Kirsten Wörz

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Doctor rerum naturalium) genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. Hans Rudolf Fries

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr. Heinz Bernhardt
2. Prof. Dr. Andreas Brieden (Universität der Bundeswehr München)

Die Dissertation wurde am 11.07.2016 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 11.04.2017 angenommen.

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Beschreibung einer traditionellen Maiserntekette . . . . .	4
1.2 Ziel der Dissertation . . . . .	6
1.3 Ausblick auf die Dissertation . . . . .	6
<b>2 Stand des Wissens</b>	<b>8</b>
2.1 Jih et al. . . . .	9
2.2 Baugh et al. . . . .	9
2.3 Cordeau und Laporte . . . . .	14
2.4 Jih et al. . . . .	15
2.5 Pereira et al. . . . .	16
2.6 Mauri und Lorena . . . . .	17
2.7 Vergleichende Untersuchungen . . . . .	18
2.8 Optimierungsaufgaben . . . . .	20
2.9 Fundierung von Modellierungstechniken . . . . .	21
<b>3 Zielstellung</b>	<b>23</b>
3.1 Mathematische Beschreibung einer traditionellen Maiserntekette . . . . .	23
<b>4 Material und Methoden</b>	<b>33</b>
4.1 Präliminarien . . . . .	33
4.1.1 Lösbarkeit von reellen Optimierungsaufgaben . . . . .	33
4.1.2 Etwas Komplexitätstheorie: NP-harte Probleme . . . . .	34
4.1.3 Erzeugung von gleichverteilten Pseudozufallszahlen . . . . .	38
4.1.4 Dijkstra-Algorithmus . . . . .	39
4.1.5 Genetischer Algorithmus . . . . .	43
4.2 Optimierungsproblem aus 3 und Dijkstra-Algorithmus . . . . .	53
4.3 Transformation des Optimierungsproblems aus 3 in ein kombinatorisches Optimierungsproblem . . . . .	55
4.4 Das kombinatorische Optimierungsprobleme ist NP-hart . . . . .	56
4.5 Umordnungs-, Umverteilungs- und Austauschoperatoren für homogene Ab- fuhrgespanne . . . . .	58
4.6 Datenaufbereitungsfunktion . . . . .	63
4.7 Distributionsheuristik für homogene Transportfahrzeuge . . . . .	65
4.8 Distributionsheuristik für heterogene Transportfahrzeuge . . . . .	66
4.9 Startlösungs- und Hauptlösungsgenerierungsmethode für heterogene Transportfahrzeuge . . . . .	66
4.10 Programmierheuristik . . . . .	66
4.11 Zielfunktion . . . . .	67
4.12 Ungleichungsnebenbedingungen . . . . .	68
4.13 Genetischer Algorithmus . . . . .	68
4.13.1 Algorithmus 3 a (FEGA) . . . . .	68
4.13.2 Algorithmus 3 b (DEGA) . . . . .	69

4.13.3	Algorithmus 4 a (FEGA) . . . . .	69
4.13.4	Algorithmus 4 b (DEGA) . . . . .	70
4.14	Algorithmus 4 c (Differential Evolution) . . . . .	71
4.15	Algorithmus 4 d (Ultimativer Algorithmus) . . . . .	72
4.16	BB-MOPSO-Verfahren (Bar-Bones Multiobjective PSO-Verfahren) . . . . .	73
4.17	PSO-Update . . . . .	73
4.18	Zielfunktion . . . . .	73
4.19	Ungleichungsnebenbedingungen . . . . .	74
4.20	Anpassung des BB-MOPSO-Verfahrens . . . . .	77
4.20.1	Optimierung einer Erntekette bei variablen Serviceaufträgen . . . . .	77
4.20.2	Konvergenz des obigen BB-MOPSO-Verfahren . . . . .	78
4.21	Parameter: FEGA, DEGA, Differential Evolution, Ultimativer Algorithmus	81
<b>5</b>	<b>Ergebnisse: Traditionelle Maiserntekette</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>Diskussion/Schlussfolgerungen: Traditionelle Maiserntekette</b>	<b>86</b>
<b>7</b>	<b>Weiterführende Arbeiten</b>	<b>93</b>
7.1	Gesamtoptimierung . . . . .	93
7.1.1	Infield-Logistik . . . . .	94
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>96</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>97</b>
<b>10</b>	<b>Anhang</b>	<b>103</b>
10.1	DEGA:	
Berechnung 1:	(9.43 t, 10.31 t, 10.36 t, 12.03 t, 13.03 t),	
Berechnung 2:	(10.51 t, 11.49 t, 12.03 t, 12.36 t, 14.41 t),	
Berechnung 3:	(14.64 t, 15.88 t, 17.54 t, 17.82 t, 19.88 t) . . . . .	103
10.2	FEGA:	
Berechnung 1:	(9.43 t, 10.31 t, 10.36 t, 12.03 t, 13.03 t),	
Berechnung 2:	(10.51 t, 11.49 t, 12.03 t, 12.36 t, 14.41 t),	
Berechnung 3:	(14.64 t, 15.88 t, 17.54 t, 17.82 t, 19.88 t) . . . . .	135
10.3	Differential Evolution:	
Berechnung 1:	(9.43 t, 10.31 t, 10.36 t, 12.03 t, 13.03 t),	
Berechnung 2:	(10.51 t, 11.49 t, 12.03 t, 12.36 t, 14.41 t),	
Berechnung 3:	(14.64 t, 15.88 t, 17.54 t, 17.82 t, 19.88 t) . . . . .	166
10.4	Ultimativer Algorithmus:	
Berechnung 1:	(9.43 t, 10.31 t, 10.36 t, 12.03 t, 13.03 t),	
Berechnung 2:	(10.51 t, 11.49 t, 12.03 t, 12.36 t, 14.41 t),	
Berechnung 3:	(14.64 t, 15.88 t, 17.54 t, 17.82 t, 19.88 t) . . . . .	198