

Albrecht Fritzsche

## **Heuristische Suche in komplexen Strukturen**

# GABLER EDITION WISSENSCHAFT

## Produktion und Logistik

Herausgegeben von

Professor Dr. Wolfgang Domschke,

Technische Universität Darmstadt,

Professor Dr. Andreas Drexler,

Universität Kiel,

Professor Dr. Bernhard Fleischmann,

Universität Augsburg,

Professor Dr. Hans-Otto Günther,

Technische Universität Berlin,

Professor Dr. Stefan Helber,

Universität Hannover,

Professor Dr. Karl Inderfurth,

Universität Magdeburg,

Professor Dr. Thomas Spengler,

Universität Braunschweig,

Professor Dr. Hartmut Stadtler,

Technische Universität Darmstadt,

Professor Dr. Horst Tempelmeier,

Universität zu Köln,

Professor Dr. Gerhard Wäscher,

Universität Magdeburg

**Kontakt:** Professor Dr. Hans-Otto Günther, Technische Universität Berlin,  
H 95, Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin

Diese Reihe dient der Veröffentlichung neuer Forschungsergebnisse auf den Gebieten der Produktion und Logistik. Aufgenommen werden vor allem herausragende quantitativ orientierte Dissertationen und Habilitationsschriften. Die Publikationen vermitteln innovative Beiträge zur Lösung praktischer Anwendungsprobleme der Produktion und Logistik unter Einsatz quantitativer Methoden und moderner Informationstechnologie.

Albrecht Fritzsche

# **Heuristische Suche in komplexen Strukturen**

Zur Verwendung  
Genetischer Algorithmen  
bei der Auftragseinplanung  
in der Automobilindustrie

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Walter Habenicht

**GABLER EDITION WISSENSCHAFT**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

Dissertation Universität Hohenheim, 2008

D 100

1. Auflage 2009

Alle Rechte vorbehalten

© Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2009

Lektorat: Claudia Jeske / Nicole Schweitzer

Gabler ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

[www.gabler.de](http://www.gabler.de)



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: Regine Zimmer, Dipl.-Designerin, Frankfurt/Main

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Printed in Germany

ISBN 978-3-8349-1741-6

---

## Geleitwort

Automobilhersteller müssen, um erfolgreich zu sein, ihren Kunden ein stark ausdifferenziertes Programm unterschiedlicher Modellplattformen jeweils kombiniert mit einer umfangreichen Palette individueller Ausstattungsvarianten bieten. Dem Kunden gegenüber tritt jeder Hersteller damit wie ein kundenindividueller Auftragsfertiger auf. Um dennoch wirtschaftlich fertigen zu können, werden die Produktionsprozesse am Fließprinzip orientiert. Die Steuerung eines derartigen flexiblen, mehrstufigen Produktionssystems erweist sich als ein hochkomplexes kombinatorisches Optimierungsproblem. Ihr Kern ist die Auftragsplanung, in der die Produktionssequenzen für den gesamten Prozess festgelegt werden.

Die Komplexität dieser Planungsaufgabe resultiert einerseits aus der Diskretheit der Planungsobjekte. Jedes Fahrzeug ist als eigene Identität zu berücksichtigen, die die unterschiedlichen Fertigungs- und Montagesysteme in unterschiedlicher Weise in Anspruch nimmt.

Eine besondere Herausforderung stellt die Zielsetzung dieser Optimierungsaufgabe dar. Die Güte eines Fertigungsplans lässt sich nicht durch eine einzelne Zielgröße beschreiben. Durch eine singuläre Kosten- oder Zeitgröße kann bspw. die Realisierbarkeit eines Fertigungsplans nicht angemessen beschrieben werden. Darüber hinaus sind die zu Grunde liegenden Prozesse ihrer Natur nach stochastisch. So unterliegen die Ausführungszeiten der einzelnen Tätigkeiten naturgemäß Schwankungen und die Verfügbarkeiten und Leistungen von Betriebsmitteln lassen sich nicht sicher voraussagen, um nur einige offensichtliche Rahmenbedingungen zu nennen. Die Güte eines Fertigungsplans kann daher nur aus einem Bündel von Attributen abgeleitet werden, die in den verschiedenen Fertigungsbereichen unterschiedlich sein können. Die Gesamtbewertung eines Plans lässt sich nicht durch einfache Aggregationsregeln bewerkstelligen. Hierzu bedarf eines erfahrenen Fertigungsplaners.

Hier setzt Fritzsches Arbeit an. Sie verfolgt das generelle Ziel, ein Werkzeug zu entwickeln, das einen Planer bei der Entwicklung eines „guten“ Plans unterstützen kann. Dazu entwirft er ein Planungsmodell, mit dessen Hilfe die von ihm definierten Gütemaße für jeden Plan ermittelt werden können. Mit Hilfe eines genetischen Algorithmus realisiert er einen Prozess, in dem der Planer eine gesteuerte Suche nach guten Fertigungsplänen durchführen kann.

Auf der Basis seiner großen praktischen Erfahrung führt der Verfasser eine Analyse des Auftragseinplanungsprozesses in der Automobilindustrie durch, die in ein rechenbares Modell mündet, das die hochkomplexe Problemstellung adäquat abbildet. Darüber hinaus nutzt er seine Kenntnisse der Planungspraxis zur Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems, das den Anforderungen des Planungsalltags Rechnung trägt.

Prof. Dr. W. Habenicht

## **Danksagung**

Es ist keineswegs selbstverständlich, aus der industriellen Praxis heraus wissenschaftlich tätig werden zu können. Ich fühle mich deshalb allen verpflichtet, die dazu beigetragen haben, dass es möglich wurde, dieses Buch zu schreiben. Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Doktor Habenicht für sein großes Interesse und seine freundliche Ermunterung, ohne die ich nie auf den richtigen Weg gelangt wäre. Ihm und Herrn Dr. Geiger vom Lehrstuhl für Industriebetriebslehre an der Universität Hohenheim danke ich außerdem für ihre vielfältigen fachlichen Anregungen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich nicht nur mit der Suche nach optimalen Lösungen; sie stellt auch selbst das Ergebnis einer solchen Suche dar. Wie üblich lassen sich hier nicht alle Nebenbedingungen, denen die Suche unterlag, explizit nennen. In zwei Fällen möchte ich jedoch noch eine Ausnahme machen, indem ich ihnen dieses Buch widme: meinen Eltern.

Albrecht Fritzsche

---

## Inhaltsverzeichnis

Geleitwort	V
Danksagung	VII
Inhaltsverzeichnis	IX
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XV
Einleitung	1
Anlass dieser Arbeit	1
Zielgruppen	2
Aufbau der Argumentation	3
Beitrag der Arbeit	4
1 Auftragseinplanung zur Produktion in der Automobilindustrie	5
1.1 Einbettung in die ökonomischen Rahmenbedingungen	5
1.1.1 Die Autoindustrie zu Beginn des 21. Jahrhunderts	5
1.1.2 Lieferketten als Schlüssel zum Verständnis der Autoproduktion	8
1.2 Die Rolle der Auftragseinplanung in der Automobilindustrie	12
1.2.1 Zur Problematik des Planens	12
1.2.2 Auftragseinplanung im Rahmen der Auftragsabwicklung	15
1.2.3 Problematik der Einplanung zur Produktion	18
1.3 Kundenindividuelle Produktion	21
1.3.1 Fertigungsbereiche und Planungspunkte	21
1.3.2 Produktionsstrukturen und Abläufe	28
2 Genetische Algorithmen als Suchverfahren	35
2.1 Zur Theorie der Ablaufplanung	35
2.1.1 Technisierungen der Einplanung	35
2.1.2 Lösungswege für anspruchsvolle Planungsmodelle	39
2.2 Modellierungen des Einplanungsproblems	47
2.2.1 Formale Darstellung der Produktion	47
2.2.2 Formale Darstellung des Planungsproblems	49
2.2.3 Gemeinsame Betrachtung der Ziele	55
2.3 Beispielszenario eines Planungsproblems	56
2.3.1 Beschreibung des Modells	56
2.3.2 Ziele und deren Messung	59
2.3.3 Auftragsmenge	65



---

2.4 Eigenschaften des Lösungsraums	67
2.4.1 Erreichbare Bewertungen	67
2.4.2 Lokale Strukturen	73
2.5 Lösungswege mit Genetischen Algorithmen	83
2.5.1 Gegenstand der Untersuchung	83
2.5.2 Prüfung der Optimierungsleistung	96
2.5.3 Charakteristika des Suchverhaltens	102
3 Die Auftragseinplanung im vernetzten Planungsprozess	107
3.1 Zum Verständnis der Einplanung	107
3.1.1 Komplexität im Auftragsabwicklungsprozess	107
3.1.2 Begrenzte Rationalität und Komplexität	113
3.2 Dynamik und Genetische Algorithmen	119
3.2.1 Begrenzte Rationalität und algorithmische Suche	119
3.2.2 Ansätze zur Definition von Einflussgrößen auf die Planung	122
3.3 Modellierung einer systemtechnischen Lösung	125
3.3.1 Architektur	125
3.3.2 Analyseoberfläche	129
3.3.3 Interaktive Funktionen	138
4 Nutzung Genetischer Algorithmen im globalen Planungskontext	143
4.1 Auswirkungen der Eingriffe auf das Suchverhalten	143
4.1.1 Aufbau der Untersuchung	143
4.1.2 Neue Gesichtspunkte der Betrachtung	144
4.1.3 Eingriffsverhalten	146
4.2 Umsetzung	149
4.2.1 Rahmenbedingungen	149
4.2.2 Vergleichsdaten der Optimierung	150
4.3 Ergebnisse	161
4.3.1 Explorative Analyse der globalen Eingriffe	161
4.3.2 Explorative Analyse der Eingriffe pro Gruppe	183
4.3.3 Aussagen über spezielle Eingriffsweisen	203
4.3.4 Bewertung hinsichtlich der Gesichtspunkte der Planung	215
Schluss	219
Zusammenfassung	219
Ausblick	221
Literatur	223

---

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Struktur eines Liefernetzwerks	9
Abb. 2 Sammlung der Steuerungsaufgaben beim OEM	11
Abb. 3 Regulation des Steuerungsaufwands durch ein APS	19
Abb. 4 Supply Chain Planning Matrix	20
Abb. 5 Beispiel für parallele Bänder	29
Abb. 6 Beispiel für Wege durch die Fabrik	30
Abb. 7 Verschiebung durch unterschiedliche Bandlänge	32
Abb. 8 Überblick Lösungsverfahren	39
Abb. 9 Skizze des grundsätzlichen Ablaufs der Lösungsverfahren	42
Abb. 10 Problem des Hillclimbing: Weg zu einem lokalen Optimum	44
Abb. 11 Abstieg in eine Senke	46
Abb. 12 Fabriklayouts in Baumstruktur	48
Abb. 13 Skizze Reihenfolgeigenschaften	52
Abb. 14 Werkstruktur in der Fallstudie	58
Abb. 15 Bewertung Summe aller Ziele auf der Enumeration	69
Abb. 16 Bewertung Summe der Blöcke auf der Enumeration	71
Abb. 17 Bewertung Summe der Dichten auf der Enumeration	72
Abb. 18 Bewertung Summe der Gleichverteilungen auf Enumeration	72
Abb. 19 Bewertung des Terminabstands auf der Enumeration	73
Abb. 20 Verteilung der Mutationen der Lösung an Stelle 0	75
Abb. 21 Verteilung der Mutationen der Lösung an Stelle 1.000.000	75
Abb. 22 Verteilung der Mutationen der Lösung an Stelle 2.000.000	76
Abb. 23 Bewertung auf Enumeration von 0 bis 1500	76
Abb. 24 Bewertung auf Enumeration 2.000.000 - 2.001.500	77
Abb. 25 Erreichbare Güte durch einfache Mutation, unterer Bereich	78
Abb. 26 Erreichbare Güte durch einfache Mutation, oberer Bereich	78
Abb. 27 Erreichbare Güten durch doppelte Mutation, unterer Bereich	79
Abb. 28 Erreichbare Güten durch doppelte Mutation, oberer Bereich	79
Abb. 29 Erreichbare Güten durch Shift Operator, unterer Bereich	90
Abb. 30 Erreichbare Güten durch Shift Operator, oberer Bereich	90
Abb. 31 Erreichbare Güten durch DMin Operator, unterer Bereich	91
Abb. 32 Erreichbare Güten durch DMin Operator, oberer Bereich	91
Abb. 33 Erreichbare Güte durch Operator DMax, unterer Bereich	92
Abb. 34 Erreichbare Güte durch Operator DMax, oberer Bereich	92

Abb. 35 Erreichbare Güte durch Operator Block, unterer Bereich	93
Abb. 36 Erreichbare Güte durch Operator Block, oberer Bereich	93
Abb. 37 Erreichbare Güte durch Operator Bauschuld, unterer Bereich	94
Abb. 38 Erreichbare Güte durch Operator Bauschuld, oberer Bereich	95
Abb. 39 Erreichbare Güte durch Operator Terminab. unterer Bereich	95
Abb. 40 Erreichbare Güte durch Operator Terminab. oberer Bereich	96
Abb. 41 Fitnessentwicklung. für kombinatorische Operatoren	100
Abb. 42 Fitnessentwicklung mit allen Operatoren Konfiguration	101
Abb. 43 Wirkung Operatoren bei Verbesserung der Fitness	102
Abb. 44 Differenz der besten zur schlechtesten Güte	104
Abb. 45 Realisierung	127
Abb. 46 Architektur Alternative 2 Pull-Prinzip	128
Abb. 47 Tab. einzelne Ziele	131
Abb. 48 Kuchengrafik einzelne Ziele	131
Abb. 49 Übersicht Bewertung auf Fabrikstruktur	132
Abb. 50 Übersicht Verteilung Interessengruppen	132
Abb. 51 Übersicht Interessengruppen mit alter Generation	133
Abb. 52 Verlaufsgrafik einzelne Ziele	134
Abb. 53 Diagramm Zusammenhänge Veränderungen	134
Abb. 54 Verlaufskurve Abstand in Population	135
Abb. 55 Auswertungen Tagesvolumina und Termintreue	136
Abb. 56 Auswertung Reihenfolge	137
Abb. 57 Kennzeichnung des am schlechtesten erfüllten Ziels	137
Abb. 58 Manipulationsfunktionen in der Oberfläche 1	139
Abb. 59 Manipulationsfunktionen in der Oberfläche 2	141
Abb. 60 Bewertungsanpassung für $g = 2$ und $g = 3$ linear	142
Abb. 61 Häufigkeit von Verbesserungen der Fitness	151
Abb. 62 Bewertungsverlauf, Verfahren 1, Population 10 und 20	154
Abb. 63 Bewertungsverlauf, Verfahren 2, Population 10 und 20	155
Abb. 64 Ziele mit schlechtester Bewertung, Verfahren 1, Größe 10	157
Abb. 65 Ziele mit schlechtester Bewertung, Verfahren 1, Größe 20	157
Abb. 66 Ziele mit schlechtester Bewertung, Verfahren 2, Größe 10	158
Abb. 67 Ziele mit schlechtester Bewertung, Verfahren 2, Größe 20	158
Abb. 68 Abstände Zielbewertungen der Lösungen in der Population	159
Abb. 69 Häufigkeit Fitnessverbesserung bei Gewichtsveränderung	161
Abb. 70 Bewertungsverlauf Gewichtsveränderungen Verfahren 1	162

---

Abb. 71 Bewertungsverlauf Gewichtsveränderungen Verfahren 2	163
Abb. 72 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 1 Population 10 / 20	164
Abb. 73 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 2 Population 10 / 20	165
Abb. 74 Häufigkeit Verbesserung selektiver Operatorennutzung	167
Abb. 75 Abstände Zielbewertungen in Population	168
Abb. 76 Bewertungsverlauf selektive Operatorennutzung Verf. 1	169
Abb. 77 Bewertungsverlauf selektive Operatorennutzung Verf. 2	170
Abb. 78 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 1 Population 10 / 20	171
Abb. 79 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 2 Population 10 / 20	172
Abb. 80 Häufigkeit Verbesserung bei Begünstigung/Benachteiligung	173
Abb. 81 Abstände Zielbewertungen in Population	173
Abb. 82 Bewertungsverlauf Begünstigungen/Benacht. Verf. 1	174
Abb. 83 Bewertungsverlauf Begünstigungen/Benacht. Verf. 2	175
Abb. 84 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 1 Population 10 / 20	176
Abb. 85 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 2 Population 10 / 20	177
Abb. 86 Häufigkeit Fitnessverbesserung spez. Begünstigung	178
Abb. 87 Abstände Zielbewertungen in Population	178
Abb. 88 Bewertungsverlauf spezifische Begünstigungen Verf. 1	179
Abb. 89 Bewertungsverlauf spezifische Begünstigungen Verf. 2	180
Abb. 90 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 1 Population 10 / 20	181
Abb. 91 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 2 Population 10 / 20	182
Abb. 92 Häufigkeit Fitnessverbesserung Gewichte nach Gruppen	183
Abb. 93 Abstände Zielbewertungen in Population	183
Abb. 94 Bewertungsverlauf Gewichtsveränderungen Gruppe Verf. 1	184
Abb. 95 Bewertungsverlauf Gewichtsveränderungen Gruppe Verf. 2	185
Abb. 96 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 1 Population 10 / 20	186
Abb. 97 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 2 Population 10 / 20	187
Abb. 98 Häufigkeit Fitnessverbesserung Operatoren nach Gruppen	188
Abb. 99 Abstände Zielbewertungen in Population	188
Abb. 100 Bewertungsverlauf selektive Op.-Verw. Gruppen Verf. 1	189
Abb. 101 Bewertungsverlauf selektive Op.-Verw. Gruppen Verf. 2	190
Abb. 102 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 1 Population 10 / 20	191
Abb. 103 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 2 Population 10 / 20	192
Abb. 104 Häufigkeit Verbesserung Begünst./ Benacht. Gruppen	193
Abb. 105 Abstände Zielbewertungen in Population	193
Abb. 106 Bewertungsverlauf Begünst./ Benacht. Gruppen Verf. 1	194

---

Abb. 107 Bewertungsverlauf Begünst./ Benacht. Gruppen Verf. 2	195
Abb. 108 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 1 Population 10 / 20	196
Abb. 109 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 2 Population 10 / 20	197
Abb. 110 Häufigkeit Fitnessverbesserung Begünstigung Gruppen	198
Abb. 111 Abstände Zielbewertungen in Population	198
Abb. 112 Bewertungsverlauf spez. Begünstigung Gruppen Verf. 1	199
Abb. 113 Bewertungsverlauf spez. Begünstigung Gruppen Verf. 2	200
Abb. 114 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 1 Population 10 / 20	201
Abb. 115 Am schlechtesten erfüllte Ziele Verf. 2 Population 10 / 20	202
Abb. 116 Zielbewertungen bei globalen Eingriffen	209
Abb. 117 Zielbewertungen bei gruppenspezifischen Eingriffen	210

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Überblick über die Ziele	60
Tab. 2 Gewichtung der Ziele	65
Tab. 3 Verteilung der Codes und Tagesmengen	66
Tab. 4 reduzierte Auftragsmenge	67
Tab. 5 Fertigungsgerüst der reduzierten Auftragsmenge	68
Tab. 6 Mengenvergleich Terminziele und Glättung Tage	70
Tab. 7 Nachbarschaften bester Lösungen	80
Tab. 8 Beste Lösungen in Nachbarschaften einfacher Mutation	81
Tab. 9 Beste Ergebnisse und deren Zwischenschritte bei doppelter Mutation	82
Tab. 10 Überblick Operatoren	85
Tab. 11 Einzelne Fitnesswerte nach 100.000 Iterationen	98
Tab. 12 Mittlere Fitness	99
Tab. 13 Varianzen der Fitness	99
Tab. 14 Mittlere erste Iteration mit Differenz zur Endgüte 100% 50% 10%	101
Tab. 15 Übersicht Vorkommen der Operatoren	103
Tab. 16 Gewichte der Referenzoptimierung	152
Tab. 17 Ergebnisse der Referenzoptimierung	152
Tab. 18 Rückstellwirkung der Referenzoptimierung	153
Tab. 19 Anzahl Up-Runs	156
Tab. 20 Abweichungen der Ziele in den Ergebnissen der einzelne Läufe	160
Tab. 21 Abweichungen der Ziele in den Ergebnissen inkl. Referenzgruppe	160
Tab. 22 Up-Runs pro Konfiguration bei Gewichtsveränderungen	161
Tab. 23 Letzte Veränderung der Gewichte	164
Tab. 24 Ziele mit höchsten und zweithöchsten Gewichten je Durchlauf	166
Tab. 25 Abweichungen der Ziele in den Ergebnissen der einzelne Läufe	166
Tab. 26 Rückstellwirkung nach Eingriffen in die Gewichtung	166
Tab. 27 Up-Runs pro Konfiguration bei selektiver Operatorenutzung	168
Tab. 28 Abweichungen der Ziele in den Ergebnissen der einzelne Läufe	172
Tab. 29 Up-Runs pro Konfiguration bei Begünstigung/ Benachteiligung	174
Tab. 30 Abweichungen der Ziele in den Ergebnissen der einzelne Läufe	177
Tab. 31 Up-Runs pro Konfiguration bei spezifischer Begünstigung	179
Tab. 32 Abweichungen der Ziele in den Ergebnissen der einzelne Läufe	181
Tab. 33 Up-Runs pro Konfiguration Gewichtsveränderungen Gruppen	184

---

Tab. 34 Letzte Veränderung der Gewichte	186
Tab. 35 Abweichungen der Ziele in den Ergebnissen der einzelne Läufe	187
Tab. 36 Up-Runs pro Konfiguration selektive Operatorennutzung Gruppen	189
Tab. 37 Abweichungen der Ziele in den Ergebnissen der einzelne Läufe	192
Tab. 38 Up-Runs pro Konfiguration Begünst./ Benacht. Gruppen	195
Tab. 39 Abweichungen der Ziele in den Ergebnissen der einzelne Läufe	197
Tab. 40 Up-Runs pro Konfiguration spez. Begünstigung Gruppen	199
Tab. 41 Abweichungen der Ziele in den Ergebnissen der einzelne Läufe	202
Tab. 42 Mittlere Anzahl Änderungen der Fitness in den Läufen	204
Tab. 43 Ähnlichkeit der Lösungen in den Ergebnissen der einzelne Läufe	204
Tab. 44 Ziele mit höchsten und zweithöchsten Gewichten je Durchlauf	205
Tab. 45 Häufigkeit der genannten Ziele	205
Tab. 46 Ziele mit höchsten und zweithöchsten Gewichten je Durchlauf	206
Tab. 47 Häufigkeit der genannten Ziele	206
Tab. 48 Mittlere Abweichung der Ziele	208
Tab. 49 Mittlere Bewertungen der Ausgaben der Suche	211
Tab. 50 Mittlere Anzahl Änderungen der Fitness in den Läufen	213
Tab. 51 Mittlere Anzahl Up-Runs in den Läufen	214
Tab. 52 Mittlere Bewertungen der Ausgaben der Suche	214

---

## Einleitung

### Anlass dieser Arbeit

Durch die hohe Speicherkapazität und Geschwindigkeit moderner Computer ist es in den vergangenen Jahren möglich geworden, auch komplexe betriebswirtschaftliche Prozesse durch elektronische Berechnungen zu unterstützen. Dabei kommen in vielen Fällen heuristische Suchstrategien zum Einsatz. Unter diesen Suchstrategien spielen Genetische Algorithmen eine bedeutende Rolle.

In den neunziger Jahren war die Verwendung Genetischer Algorithmen in der Praxis noch eher eine Ausnahmeerscheinung. Die zunehmende Verbreitung leistungsstarker Informationstechnologie hat dies grundlegend geändert. Man trifft heute in der Wirtschaft an den verschiedensten Stellen auf Systeme, die im Umgang mit großen Datenmengen auf Genetische Algorithmen als Suchverfahren zurückgreifen. Zu den Anwendungsbereichen, in denen Genetische Algorithmen besonders nützlich sein können, gehören die Planung und Steuerung vernetzter Produktionsprozesse, die im Zuge der allgemeinen Globalisierung zunehmende Bedeutung erhalten. Der Vorteil der heuristischen Strategien besteht darin, dass sie im Vergleich zu vielen anderen Verfahren nur geringe Ansprüche an die Formulierung des Suchproblems stellen. Gerade bei vernetzten Prozessen, deren Wirkungsmechanismen schwer durchschaubar sind, können Genetische Algorithmen und ähnliche Verfahren die Planung und Steuerung deshalb auf eine besonders effiziente Weise unterstützen.

Diese Effizienz hat jedoch auch eine Schattenseite. Dort, wo Genetische Algorithmen Lösungen erschließen, die auf andere Weise kaum noch in vernünftiger Zeit erreichbar sind, geht in der Praxis oft auch der Überblick über die Funktionsweise der Algorithmen verloren. Dafür gibt es zwei Gründe: einerseits verführt die einfache Handhabung der Genetischen Algorithmen zu allzu großer Sorglosigkeit im Umgang mit der Problemstellung; andererseits wird die Bedeutung der Lösungssuche für den Prozess der Planung oder Steuerung nicht richtig erfasst. Die vorliegende Arbeit hat sich zum Ziel gesetzt, diese Aspekte der Verwendung von Genetischen Algorithmen am Beispiel der Auftragseinplanung zur Fahrzeugproduktion in den Werken der Automobilindustrie näher zu untersuchen.

Die Auftragseinplanung zur Fahrzeugproduktion stellt ein Problemfeld dar, dessen spezifische Charakteristika aus theoretischer Sicht bisher vergleichsweise wenig Aufmerksamkeit erhalten haben, das aufgrund des scharfen Wettbewerbs und der zunehmenden Kundenorientierung jedoch immer größere Bedeutung für die Automobilindustrie erlangt. Für die deutschen Unternehmen der Branche, die zum überwiegenden Teil auf die Herstellung anspruchsvoller Premiumprodukte spezialisiert sind, bedeutet die Auftragseinplanung eine besondere Herausforderung, weil der Vernetzungsgrad der verschiedenen Auftragspro-



zesse in Vertrieb, Produktion und Teilebedarf hier noch höher ist als bei Massenprodukten. Dadurch ergeben sich viele zusätzliche Ansprüche an die Planung, die in allgemeinen Darstellungen industrieller Produktion kaum beachtet werden können.

Theoretische Überlegungen zum Einsatz von Suchverfahren verfolgen meistens das Ziel, quantitative Aussagen über die Leistungsfähigkeit der jeweiligen Algorithmen zu treffen. Dazu ist es notwendig, Vereinfachungen der Modellierung vorzunehmen. Viele Spezifika der Auftragseinplanung, die für die deutsche Automobilindustrie entscheidende Bedeutung haben, werden in der Literatur deshalb nicht adäquat dargestellt. Auf diese Weise bleiben eine Reihe hoch interessanter Aspekte der Modellierung und Lösung des Planungsproblems, die in der Praxis große Bedeutung haben, in der Theorie der Suchverfahren unberücksichtigt.

Die folgenden Ausführungen dienen dazu, die quantitativen Betrachtungen über die Leistungsfähigkeit Genetischer Algorithmen durch eine qualitative Betrachtung ihrer Einsatzmöglichkeiten bei der Auftragseinplanung in der Automobilindustrie zu ergänzen. Zu diesem Zweck sollen Wirkungsweisen und Verwendungskonzepte Genetischer Algorithmen an einem praxisnah formulierten Modell dargestellt und hinsichtlich der Zielsetzung der Einplanung detailliert untersucht werden. Dabei steht der Anspruch im Vordergrund, dem industriellen Alltag der Planung in den einzelnen Werken möglichst nahe zu kommen, gleichzeitig jedoch eine formale Abstraktion zu erreichen, die eine generelle Darstellung der Gesamtproblematik erlaubt.

## **Zielgruppen**

Mit Fragen der Planung in der Automobilindustrie setzen sich Fachleute ganz unterschiedlicher Wirkungskreise auseinander. Die Gesichtspunkte, unter denen dieses Thema diskutiert werden kann, sind dementsprechend vielfältig. Die vorliegende Arbeit verfolgt das besondere Anliegen, die Perspektiven unterschiedlicher Fachdisziplinen zusammenzubringen, um neue Brücken zwischen akademischer Forschung und industriellem Alltag zu schlagen. Die folgenden Ausführungen bieten Informationen, die sowohl für die allgemeine Betrachtung industrieller Strukturen in der Automobilindustrie, als auch für ihre strategische Entwicklung, ihre abstrakte Modellierung, ihre algorithmische Unterstützung und ihre praktische Ausführung interessant sein können:

- Die Darstellung der Anforderungen der Auftragsabwicklung vom Gesichtspunkt der Produktion in den Werken eines Automobilherstellers.
- Die Formalisierung der Planungssituation in den Werken als Mehrzielproblem und die Illustration der dort auftretenden Schwierigkeiten.

- Die Illustration der Nutzung Genetischer Algorithmen beim Umgang mit diesem Problem anhand eines willkürlichen Fallbeispiels.
- Die Diskussion der Wirkungsweise spezifischer Operatoren und Eingriffsstrategien in die Suche bei der Lösung des Problems.
- Die Reflexion über die Erwartungen und die Möglichkeiten von Planung im Rahmen der gesamten Wertschöpfungskette.

Mit den Inhalten dieser Arbeit wird kein Anspruch auf Vollständigkeit verbunden. Vielmehr geht es hier darum, die vorhandene Problemlage anhand spezifischer Untersuchungen aufzuzeigen, gängige Lösungsversuche auf ihre Tauglichkeit zu prüfen und Verbesserungsvorschläge zu machen, die in den einzelnen Fachdisziplinen weiter verfolgt werden können.

### **Aufbau der Argumentation**

Im Anschluss an unsere Vorüberlegungen müssen die folgenden Kapitel zwei verschiedene Fragen beantworten:

- Wie können Genetische Algorithmen zur Auftragseinplanung eingesetzt werden?
- Welche Bedeutung haben die Berechnungen der Algorithmen für die Planung?

Die Struktur der vorliegenden Arbeit unterliegt einer Gliederung in vier Hauptteile. Jeder dieser Teile beginnt mit einer allgemeinen Betrachtung der jeweiligen Situation. Der Argumentationsgang führt dann immer näher an die konkrete Fragestellung und ihre Beantwortung heran.

1. Auftragseinplanung in der Automobilindustrie und ihre technische Unterstützung  
Situation der Automobilindustrie
  - ➡ Bedeutung der Planung
    - ➡ Formale Konzepte der Ablaufplanung
    - ➡ Produktion
2. Die Funktionsweise Genetischer Algorithmen als Suchverfahren  
Beschreibung Einplanungsproblem
  - ➡ Beispielszenario
    - ➡ Lösungsraum des Szenarios
    - ➡ Aufbau und Wirkung Genetischer Algorithmen

3. Die Rolle der Auftrageinplanung im vernetzten Planungsprozess  
Problematik der Komplexität in vernetzten Systemen
  - ➔ Folgen für die algorithmische Suche
    - ➔ Auswirkungen auf die Modellierung der Planung
    - ➔ Skizze eines Systems zur Planungsunterstützung
  
4. Untersuchung der Nutzungsmöglichkeiten Genetischer Algorithmen  
Untersuchungsgegenstand
  - ➔ Durchführung
    - ➔ Analyse
    - ➔ Interpretation

### **Beitrag der Arbeit**

Mit dieser Arbeit ist das besondere Anliegen verbunden, die alltäglichen Herausforderungen der Einplanung in der Automobilindustrie möglichst wirklichkeitsnah darzustellen. Anknüpfungspunkt sind die Erfahrungen, die ich im Austausch mit meinen ehemaligen Kollegen bei Daimler, Chrysler, Magna und Mitsubishi sammeln durfte, vor allen Dingen mit den Experten in den Werken Sindelfingen, Bremen, Rastatt, Düsseldorf, Wörth, Hambach und Born. In unserer langjährigen Zusammenarbeit habe ich wertvolle Einblicke in die Praxis erhalten und die umfangreichen Fähigkeiten und Kenntnisse in den Fachabteilungen sehr zu schätzen gelernt. Auch unsere Partner für Informationstechnologie von der IBM, T-Systems, SAP, arcplan, Flexis und Sd&m müssen in diesem Zusammenhang genannt werden.

Trotz alledem verzichten die folgenden Ausführungen auf eine konkrete Beschreibung praktischer Fragestellungen in einzelnen Werken. Auch ein direkter Bezug auf die Funktionalität der Einplanungssysteme, die derzeit im Einsatz sind, ist hier nicht gegeben. Vielmehr versteht sich diese Arbeit als wissenschaftlicher Beitrag zur Klärung der Problemsituation und zur Eröffnung von neuen Lösungswegen. Ich hoffe aber, dass unter den Gedanken, die dabei vorgestellt werden, auch der eine oder andere zu finden ist, der sich im Alltag meiner ehemaligen Kollegen als nützlich erweisen wird.

# 1 Auftragseinplanung zur Produktion in der Automobilindustrie

## 1.1 Einbettung in die ökonomischen Rahmenbedingungen

### 1.1.1 Die Autoindustrie zu Beginn des 21. Jahrhunderts

#### 1.1.1.1 Wirtschaftliche Bedeutung der deutschen Autoindustrie

Mit einem Volumen von 273 Milliarden Euro im Jahr 2006 ist die Automobilbranche mit Abstand der wichtigste Industriezweig in Deutschland.<sup>1</sup> 750 000 Beschäftigte sind der Herstellung von Automobilen explizit zurechenbar, weitere Stellen in Metall- und Elektroindustrie und Maschinenbau sind direkt von ihr abhängig. Der Automobilindustrie ist es als einziger der großen Branchen gelungen, die Zahl der Arbeitsplätze nach dem allgemeinen Kriseneinbruch in den Jahren 1992 und 1993 wieder deutlich aufzubauen.<sup>2</sup> Damit stellt sie wie schon in der Nachkriegszeit auch heute noch den entscheidenden Wachstumsmotor der deutschen Wirtschaft dar.<sup>3</sup>

Wie die meisten Branchen der deutschen Wirtschaft produziert die Automobilindustrie überwiegend für ausländische Märkte. Sowohl für PKW als auch LKW liegt die Exportquote bei etwa 70 Prozent. Der weltweite Absatz an Kraftfahrzeugen steigt Dank der Entwicklung in den Schwellenländern derzeit weiter an. Allerdings können die klassischen Industrieländer davon nur wenig profitieren. Die nordamerikanische Produktion von PKW ist schon seit Ende der sechziger Jahre nicht mehr nennenswert gewachsen, ihr Anteil am Weltmarkt deutlich zurückgegangen. Im selben Zeitraum hat sich die japanische und koreanische Produktion verzehnfacht, die deutsche etwa verdreifacht.<sup>4</sup> Im Jahr 2006 hatte Nordamerika einen Anteil von 23,5 % am Weltmarkt, die Europäische Union ausschließlich der neu beigetretenen Länder 24,1 %; dabei sind 9,3 % der Inlandsproduktion der deutschen Industrie zuzurechnen. Gegenüber 2005 haben Nordamerika und Europa jeweils um über 1% Anteil am Weltmarkt verloren. Japan stagniert bei etwa 17%. Die großen Gewinner sind China, Indien und Osteuropa, die ihren Anteil jeweils um etwa ein Fünftel steigern konnten.<sup>5</sup> China, so ging öffentlichkeitswirksam durch die Presse, hat Deutschland im Jahr 2007 als Produktionsstandort für Automobile bei den Stückzahlen überholt.

---

<sup>1</sup> IHK Stuttgart 2007, S.28. Zum Vergleich: Elektroindustrie und Metallindustrie liegen mit 179 und 173 Mrd. Euro auf Platz 2 und 3.

<sup>2</sup> Schmidt 2006, S.4f.

<sup>3</sup> vgl. Pointer 2004, S.45.

<sup>4</sup> vgl. OICA 2006.

<sup>5</sup> VDA 2007, S.42ff.

### 1.1.1.2 Wettbewerbsdruck

Der Automobilmarkt ist schwer umkämpft. Viele Hersteller können ihre Verkaufszahlen nur noch durch exzessive Rabattaktionen sichern. Besonders die amerikanischen Marken haben in den vergangenen Jahren deshalb hohe Verluste eingefahren. Aber auch in Europa hat der harte Wettbewerb deutliche Spuren hinterlassen. Die Zeiten hoher Deckungsbeiträge sind vorbei. Einzig im Premiumsegment machen Hersteller pro Fahrzeug noch deutliche Gewinne.<sup>6</sup> Als eine realistische Prognose der kommenden Entwicklung der Automobilindustrie gilt weiterhin allgemein die Studie von Mercer Management Consult (MMC) und Instituten der Fraunhofer Gesellschaft (FhG) "Future Automotive Industry Structure (FAST) 2015"<sup>7</sup>. Darin wird vorher gesagt, dass sich die Anzahl unabhängiger Automobilhersteller und Zulieferer angesichts des harten Preiskampfes zwischen den Jahren 2000 und 2015 halbieren wird. Schon jetzt ist die Unternehmenslandschaft von einer Vielfalt unterschiedlichster Zusammenschlüsse und Kooperationen geprägt. Der Druck auf die Hersteller, sich in dieser Art aneinander zu binden, um den Anforderungen des Marktes standhalten zu können, wird in Zukunft noch steigen.<sup>8</sup>

Die europäischen und zunehmend auch die amerikanischen Hersteller antworten auf die Konkurrenz aus Ländern mit billigeren Produktionsbedingungen durch eine stärkere Orientierung an den Wünschen der Kunden. Eine Massenproduktion identischer Fahrzeuge wie zu Zeiten Henry Fords ist in den klassischen Industrieländern nicht mehr denkbar. Jedes Unternehmen verfügt heute über ein breites Produktportfolio aus verschiedenen Baureihen, die vom sportlichen Roadster bis hin zum Luxus-Geländewagen auch kleine Nischen in der Nachfrage des Kunden besetzen. In den oberen Preissegmenten bieten die meisten Hersteller den Kunden außerdem eine lange Liste unterschiedlicher Wahlmöglichkeiten an, aus denen sie Farbe, Motorisierung, Designelemente und weitere Merkmale ihres Fahrzeugs selbst zusammenzustellen können. Längere Wartezeiten sollen dadurch nicht zustande kommen. Verschiedene Unternehmen haben angekündigt, die Zeit vom Eingang eines individuellen Kundenauftrags bis zur Auslieferung des Fahrzeugs demnächst auf 14 Tage drücken zu wollen.<sup>9</sup> Eine Produktion großer Mengen von Bestandfahrzeugen wird durch die Individualisierung praktisch unmöglich; Fahrzeuge, die nicht nach dem spezifischen Kundenwunsch konfiguriert sind, können nur noch mit Preisnachlässen abgegeben werden.

---

<sup>6</sup> Warburg Investment Research 2005, S.32-38.

<sup>7</sup> vgl. auch Automobil-Produktion 2004 und Schmidt 2004, S.36ff

<sup>8</sup> vgl. etwa Becker 2005

<sup>9</sup> vgl. Koschinke 2001

### 1.1.1.3 Auswirkungen auf das Produkt

Nur noch ein Prozentsatz der Bauteile, die heute in einem Auto zu finden sind, haben etwas mit den Mindestanforderungen für die Grundfunktion des Transports von einem Ort zum anderen zu tun. Der überwiegende Anteil der Investitionen in Forschung und Entwicklung fließt heute in die Verbesserung der Fahr-sicherheit, des Fahrkomforts und der Informationsaufbereitung.<sup>10</sup> Für Motoren, Fahrwerk und Karosseriebau spielt der Umweltschutz eine entscheidende Rolle, der modernste Technik zur Gewichtsreduktion, Lärmvermeidung, Antriebstechnik und Verbrauchsrosselung zum Einsatz bringt. In der Delphi-Studie des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik wurde eine kontinuierliche Zunahme von mikroelektronischen Bauteilen im Automobil von 11% pro Jahr angenommen.<sup>11</sup> In den oberen Preissegmenten, wo die Individualisierung der Fahrzeuge ein wichtiges Angebotsmerkmal darstellt, spielt die Hochtechnologie noch eine weitaus größere Rolle. Jede Einführung einer neuen Baureihe wird dort von der Präsentation weiterer Zusatzapplikationen begleitet, die zuerst meist nur als Sonderausstattung verfügbar sind, sich mit der Zeit aber oft zum Standard entwickeln, wie es etwa mit dem Antiblockiersystem, der elektronischen Stabilitätskontrolle, der Geschwindigkeitsautomatik oder dem Bordcomputer geschehen ist. Die Fahrzeugproduzenten selbst können den Aufwand für Entwicklung und Herstellung solcher Applikationen schon lange nicht mehr allein tragen, sondern arbeiten hier eng mit der Zulieferindustrie zusammen.

Über viele Jahre haben die Automobilhersteller die Fertigungstiefe in ihren Montagewerken verringert, um durch die Verlagerung von Produktionsschritten in die Zulieferindustrie Herstellungskosten zu senken und Flexibilität zu gewinnen. Heute scheint diese Entwicklung an ihr Ende gekommen zu sein. Seit dem Jahr 2001 ist die Kapitalrendite der Endhersteller auf ein Minimum gesunken, das deutlich unter 8% liegt. In der gleichen Zeit haben die großen Unternehmen der Zulieferindustrie ihre Kapitalrendite um ein Drittel auf über 11% gesteigert.<sup>12</sup> Die Zunahme elektronischer Steuereinheiten, die komplett vom Zulieferer gefertigt werden, hat dazu maßgeblich beigetragen. An der Wertschöpfung, die mit der Herstellung eines Automobils verbunden ist, hat der Endfertiger heute nur noch einen sehr geringen Anteil. Bei den meisten Fahrzeugen liegt er zwischen 10 und 20 Prozent.

---

<sup>10</sup> VDA 2007, S.183ff.

<sup>11</sup> vgl. ISI 1993.

<sup>12</sup> Laut Studie von Roland Berger, vgl. Automobilwoche vom 17.07.06 und IG Metall in Schmidt 2006.

## 1.1.2 Lieferketten als Schlüssel zum Verständnis der Automobilproduktion

### 1.1.2.1 Erweiterung der Perspektive über die Unternehmensgrenzen

Die Fahrzeughersteller der Automobilindustrie verantworten als OEM (Original Equipment Manufacturer) die Entwicklung, Fabrikation und Vermarktung ihrer Produkte. Sie übernehmen diese Aufgaben jedoch nicht alle selbst, sondern arbeiten im Verbund mit zahlreichen anderen Unternehmen.

Um im globalen Wettbewerb standhalten zu können, müssen sie ihre Produkte weltweit vertreiben und dazu auf Märkten präsent sein, die von höchst unterschiedlichen gesetzlichen Voraussetzungen und Kaufinteressen bestimmt sind. Infolgedessen unterscheidet sich auch das Auftreten gegenüber dem Kunden. In manchen Märkten wie den USA dominieren die unabhängigen Kleinhändler. In Deutschland verfügen viele Unternehmen über ein umfangreiches Netz konzernerzeugter Niederlassungen, anderenorts, etwa in China, existieren länderspezifische Subunternehmen, Joined Ventures und spezialisierte Importeure. Mit dem Internet kommt derzeit ein weiterer Vertriebsweg hinzu, dessen Möglichkeiten von vielen Unternehmen ausgelotet werden. Alle diese verschiedenen Arten der Kontaktaufnahme mit dem Kunden werden nach Ländern, Regionen oder Vertriebsformen gebündelt, wodurch eine mehrstufige Vertriebshierarchie entsteht, in der die Endkunden erst im 2nd Tier oder 3rd Tier auftreten. Noch stärker verzweigt ist die Struktur der Zulieferbetriebe. Hier kann man mindestens zwischen dem direkten Modullieferanten als 1st Tier, dem Systemspezialisten als 2nd Tier und dem Teile- und Komponentenlieferanten als 3rd Tier unterscheiden.<sup>13</sup>

Bei der Herstellung komplexer Bauteile lassen sich noch eine Reihe weiterer Produktionsstufen ausmachen. Um dieser Vernetzung gerecht zu werden, ist es notwendig, eine Sichtweise auf den Produktionsprozess zu entwickeln, die sämtliche Beteiligte einschließt. Zu diesem Zweck wurde schon in den achtziger Jahren der Begriff des Supply Chain Managements eingeführt.

Hinter der Bezeichnung Supply Chain Management verbirgt sich laut Fischer ein „strategisches Unternehmensführungskonzept, dessen Ziel es ist, alle Geschäftsprozesse entlang der Lieferkette vom Rohstofflieferanten bis zum Endverbraucher zu gestalten und einen reibungslosen Ablauf aller Material- und Informationsflüsse zu gewährleisten.“<sup>14</sup> Je nach Standpunkt kann man Supply Chain Management als reinen Slogan verstehen, unter dem bereits bekannte Methoden und Prozesse zusammengefasst werden<sup>15</sup>, oder aber als den entscheidenden Ansatz, mit dem es möglich wird, solchen Herausforderungen zu begegnen, wie sie gegenwärtig an die Automobilindustrie gestellt werden<sup>16</sup>. Tatsäch-

---

<sup>13</sup> Becker 2005. S.168ff.

<sup>14</sup> Fischer 2001, S.1.

<sup>15</sup> Oberriedermaier & Sell-Jander 2002, S.5

<sup>16</sup> vgl. Fischer 2001, Kap 1.

lich hat gerade die Automobilindustrie unter der Überschrift Supply Chain Management, so heißt es bei Oberriedermaier und Sell-Jander, seit der Jahrtausendwende eine "kleine Revolution"<sup>17</sup> erlebt, die in vielen anderen Industriezweigen bisher noch nicht oder noch nicht so weit vonstatten gegangen ist.

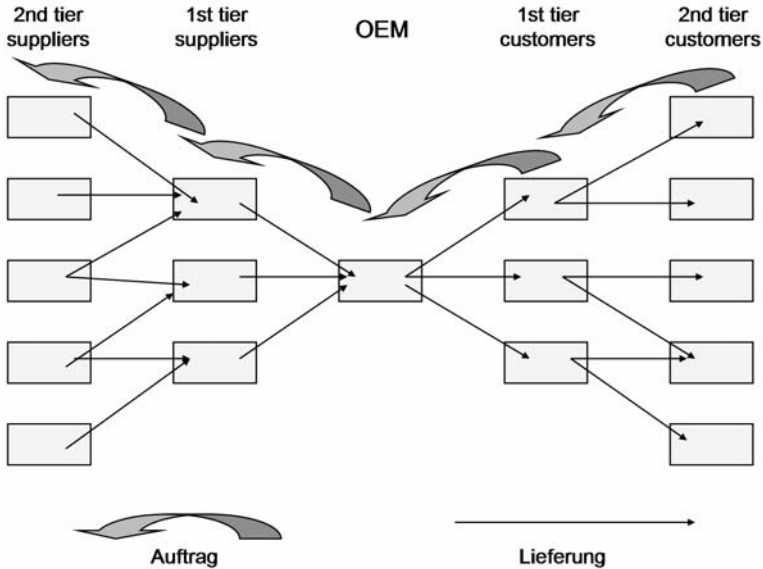


Abb. 1 Struktur eines Liefernetzwerks<sup>18</sup>

### 1.1.2.2 Bedeutung des Begriffs Supply Chain Management

Die Supply Chain ist, wie viele Autoren hervorheben, eigentlich keine Kette, sondern – bedingt durch komplexe Konzernstrukturen und Herstellungsprozesse – eher ein Baum oder ein Netzwerk aus unterschiedlichen Aktivitäten, die im Rahmen einer Auftragsabwicklung angestoßen werden.<sup>19</sup> Insofern wäre es zu bevorzugen, eher von einem Supply Network als Liefernetzwerk zu sprechen. Bei der Betrachtung solcher Netzwerke haben sich verschiedene Schwerpunkte gebildet. Man muss hier mindestens vier Schulen unterscheiden, die Kotzab in der folgenden Weise charakterisiert<sup>20</sup>:

<sup>17</sup> Oberriedermaier G & Sell-Jander 2002, S.5

<sup>18</sup> Nach ebd. S.284.

<sup>19</sup> vgl. Nokkentred 2005.

<sup>20</sup> Vgl. Kotzab 2000.



- Die *Chain Awareness School* betrachtet die Verkettung funktionaler Teilbereiche eines Liefernetzwerks insbesondere im Hinblick auf den durchgängigen Materialfluss.
- Die *Linkage/ Logistics School* setzt den Gedanken der Chain Awareness im Rahmen einer Harmonisierung der Aktivitäten für einen durchgängigen Materialfluss zur Sicherung der Bestände um.
- Die *Information School* erweitert die Prozesse auf die Gesamtoptimierung des Liefernetzwerks, ohne eine sequenzielle Analyse wie bei der Linkage School vorauszusetzen.
- Die *Future School* legt den Fokus auf das partnerschaftliche Beziehungsmanagement und die Bildung strategischer Allianzen, die die Möglichkeiten zur Verfolgung des verbraucherorientierten Gedankens des Liefernetzwerks führen.

Festzuhalten ist außerdem, dass die Initiative zum Supply Chain Management im überwiegenden Teil aller Fälle vom Verbraucher ausgeht, der mehr Überblick, Sicherheit und Effektivität in den Ablauf seiner Belieferung bringen will. Verschiedene Autoren schlagen deshalb vor, statt von Supply-Chain lieber von Demand-Chain zu sprechen.<sup>21</sup>

### 1.1.2.3 Rolle des Endfertigers

Das vollständige Liefernetzwerk hat die Gestalt eines doppelten Trichters. In der Mitte des Netzwerks laufen alle Stränge an einem Punkt zusammen, an dem der Übergang von der kundenbezogenen Abwicklung zur mengenbezogenen Abwicklung stattfindet, an dem also die Entkopplung von Kundenauftrag und Produktionsbedarf erfolgt.<sup>22</sup> Dieser Punkt wird als Order Penetration Point, alternativ auch als Customer Order Decoupling Point, Splitt Off Point oder Variantenbestimmungspunkt bezeichnet.<sup>23</sup> Am Order Penetration Point erreicht die Zuordnung von Auftragsdaten und Bedarfsmengen ihren höchsten Detaillierungsgrad. Nirgendwo im Netzwerk wird das Gesamtprodukt in einer feineren Granularität dargestellt. Der Order Penetration Point stellt damit gewissermaßen die Projektion des gesamten Netzwerks auf einen Punkt dar. Die Konsistenz der Information am Order Penetration Point entscheidet darüber, ob die Abläufe im Liefernetzwerk erfolgreich sind oder nicht. Dies gilt sowohl für die Aktivitäten, die auf der dem Vertrieb zugewandten Seite mit dem Kundenauftrag geschehen,<sup>24</sup> wie auch für die Bereitstellung der Bedarfe auf der den Lieferanten zugewandten Seite.<sup>25</sup>

---

<sup>21</sup> vgl. z.B. Vollman & Cordon 1998, S. 684.

<sup>22</sup> Pfohl H-C 2004. S.125.

<sup>23</sup> vgl. Corsten & Gössinger 2001 und Zäpfel 2003.

<sup>24</sup> Stautner 2001, S 77; Koschinke 2001, S 285.

<sup>25</sup> Oberniedermaier & Sell-Jander 2002, S 5; Kotzab 2000, S 30.