

Kooperative Planung in Logistiknetzwerken

Entwicklung und Evaluation von
Unterstützungskonzepten

Inauguraldissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät

der Universität zu Köln

2009

vorgelegt von

Dipl.-Wirt.-Inf. Sascha Dahl

aus Bergisch Gladbach

Referent:	Prof. Dr. Dr. Ulrich Derigs
Korreferent:	Prof. Dr. Dr. h.c. Werner Delfmann
Tag der Promotion:	18. Dezember 2009

Wirtschaftsinformatik und Operations Research

Band 13

Sascha Dahl

Kooperative Planung in Logistiknetzwerken

Entwicklung und Evaluation von Unterstützungskonzepten

D 38 (Diss. Universität Köln)

Shaker Verlag
Aachen 2010

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.

Zugl.: Köln, Univ., Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2010

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8859-4

ISSN 1433-8521

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Kurzzusammenfassung

Aufgrund verschärfter wirtschaftlicher Rahmenbedingungen sind Logistikunternehmen zur konsequenten Nutzung aller Kostensenkungspotentiale gezwungen. Für kleine und mittlere Unternehmen stellt eine horizontale Kooperation und Nutzung der netzwerkweiten Konsolidierungspotentiale häufig die einzige Möglichkeit dar, mit größeren Unternehmen konkurrieren zu können. Dabei müssen die Netzwerkpartner bei der Planung durch geeignete Systeme informations- und kommunikationstechnisch unterstützt und von allen Partnern akzeptierte effektive Anreizkonzepte eingesetzt werden.

Auf Grundlage einer realen Planungssituation wird das kooperative Planungsproblem der einzelnen Netzwerkpartner als Erweiterung des bekannten *Dynamischen Pickup-and-Delivery-Problems mit Zeitfenstern* in allgemeiner Form beschrieben. Es wird ein für den Praxiseinsatz geeignetes Entscheidungsunterstützungssystem (DSS) konzipiert, implementiert und in der Praxis in einem realen Logistiknetzwerk mit einem aus der Praxis stammenden Vergütungskonzept evaluiert. Neben diesem Praxis-Vergütungskonzept wird ein rationales, rein kostenbasiertes Vergütungskonzept entwickelt, mit dem eine effektivere Koordination der kooperativen Planung möglich ist.

Zur quantitativen Evaluation der Anreizkonzepte wird ein simulationsbasierter Evaluationsansatz entwickelt, bei dem mit realen reproduzierbaren dynamischen Daten durch Simulation netzwerkweite Gesamtpläne berechnet werden. Zum Vergleich werden mit denselben Daten zwei Planungsprobleme gelöst, die aus alternativen Organisationsformen resultieren: Isolierte Planung als Unterlassungsalternative zur Kooperation sowie integrierte zentrale Planung als Benchmark.

Die Ergebnisse der Simulationsstudie zeigen, dass kooperative Planung mit beiden Anreizkonzepten in jedem Fall vorteilhaft ist, wobei das kostenbasierte Vergütungskonzept das Praxis-Konzept bei weitem übertrifft und fast das Kostensenkungsniveau bei zentraler Planung erzielt. Auch hinsichtlich verschiedener Fairnessaspekte führt das kostenbasierte Konzept zu einer deutlich besseren Verteilung des Gewinns und der Aufträge.

Das Anreizkonzept wird als zentraler „Hebel“ für die Leistungsfähigkeit und Stabilität eines kooperativen Logistiknetzwerks identifiziert. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind damit wissenschaftlich fundierte Gestaltungsempfehlungen für die Praxis, die sowohl für die Optimierung bestehender Netzwerke als auch für den Aufbau neuer Kooperationsnetzwerke von Bedeutung sind.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand am Seminar für Wirtschaftsinformatik und Operations Research an der Universität zu Köln unter der Leitung meines Doktorvaters Herrn Prof. Dr. Dr. Ulrich Derigs. Allen voran möchte ich mich bei ihm für die Möglichkeit, dieses sehr interessante Thema an seinem Seminar zu bearbeiten, bedanken. Ebenso gilt ihm mein Dank für die gute Betreuung dieser Arbeit, die damit verbundenen Denkanstöße, fruchtbaren Diskussionen und das in mich gesetzte Vertrauen. Darüber hinaus bedanke ich mich besonders bei Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Werner Delfmann für sein Interesse an dieser Arbeit und die Übernahme des Zweitgutachtens.

Wesentliche Teile dieser Arbeit, insbesondere die Problemanalyse, die Praxisevaluation des Unterstützungssystems und die Erhebung realer Simulationsdaten, wurden erst durch die Unterstützung und Kooperationsbereitschaft von Praxispartnern ermöglicht. Ich bedanke mich an dieser Stelle bei allen beteiligten Unternehmen für die engagierte Zusammenarbeit und Unterstützung.

Ein besonderer Dank geht an alle Kollegen, ehemaligen Kollegen und Freunde an der Universität zu Köln, insbesondere Thorsten Akkerman, Dr. Paul Bartodziej, Dr. Felix Bomsdorf, Christian Ehmke, Dr. Stefan Ems, Stefan Friederichs, Gisela Hafner, René Keller, Dr. Tobias Krautkremer, Dominik Malcherek, Dr. Shehab Marzban, Simon Schäfer, Ulrich Vogel und Daniel Weber für Ihre Unterstützung und die stets gute und freundschaftliche Arbeitsatmosphäre.

Herzlich danken möchte ich auch meiner Familie sowie meinen Freunden außerhalb der Universität. Mein ganz besonderer Dank gilt jedoch meiner Freundin Dr. Verena Posselt, die mich während meines gesamten Studiums und meiner Promotion mit viel Verständnis und Entgegenkommen unterstützt hat.

Köln, im November 2009

Sascha Dahl

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Kooperative Planung in Logistiknetzwerken	1
1.2	Einordnung der Arbeit in den Problemkontext	4
1.3	Ziel der Arbeit	6
1.4	Struktur der Arbeit	7
2	Grundlagen und Definitionen	9
2.1	Kooperation	9
2.2	Horizontale kooperative Logistiknetzwerke	11
2.2.1	Voraussetzungen	13
2.2.2	Anreizkonzepte	14
2.2.3	Unterstützungssysteme	14
2.2.4	Abgrenzung zu Fracht- und Laderaumbörsen	15
2.3	Entscheidungsunterstützungssysteme	17
2.4	Das Dynamische Pickup-and-Delivery-Problem mit Zeitfenstern (DPDPTW)	18
2.5	Verteilungsgerechtigkeit	21
2.6	Literaturübersicht	23
3	Problemanalyse und Modellierung	27
3.1	Praxisrelevante Problemsituation	28
3.1.1	Organisation	28

3.1.2	Kooperationskonzept	29
3.1.3	Planungssituation	32
3.1.4	Kostenfunktion	35
3.2	Erweiterung des DPDPTW um Kooperation	36
3.3	Voraussetzungen für kooperative Planung	39
3.3.1	Unterstützung der Kommunikation	39
3.3.2	Unterstützung der Koordination	40
3.3.3	Anreizkonzept	40
4	Konzeption und Implementierung eines Unterstützungssystems	41
4.1	Ziele und Anforderungen	42
4.1.1	Ziele	42
4.1.2	Funktionale Anforderungen	42
4.1.2.1	Automatisierte Datenschnittstellen	42
4.1.2.2	Fahrzeugsuche	43
4.1.2.3	Auftragssuche	43
4.1.2.4	Bewertung von Kooperationstransaktionen	44
4.1.2.5	Echtzeit-Empfehlungsgenerator	45
4.1.2.6	Kommunikationsunterstützung	45
4.1.2.7	Web-basierte Zugriffsmöglichkeit	46
4.1.2.8	Behandlung von Dynamik	46
4.1.2.9	Behandlung offener Planungssituation	46
4.1.3	Nicht-funktionale Anforderungen	47
4.1.3.1	Akzeptanz	47
4.1.3.2	Effektivität	48
4.1.3.3	Effizienz	48
4.1.3.4	Flexibilität	49
4.1.3.5	Echtzeitfähigkeit	50

4.2	Konzeption	50
4.2.1	Koordination	51
4.2.1.1	Koordinationsmodelle	51
4.2.1.2	Auswahl eines Koordinationsmodells	56
4.2.1.3	Iterative zentrale Koordinationsunterstützung . . .	57
4.2.1.4	Vorteilhaftigkeit der Teilnahme am Kooperations- netzwerk	59
4.2.2	Konzeptionelles Datenschema	61
4.2.3	Architektur	63
4.2.3.1	Datenkomponente	64
4.2.3.2	Dialog- und Kommunikationskomponente	64
4.2.3.3	Modellkomponente	64
4.2.3.4	Schnittstellen	65
4.2.3.5	Verteilung und Interaktion der Komponenten . . .	66
4.2.4	Modellkomponente	67
4.2.4.1	Distanz- und Fahrdauerberechnung	68
4.2.4.2	Kostenberechnung	69
4.2.4.3	Vergütungsberechnung	70
4.2.4.4	Bewertung von Kooperationstransaktionen	70
4.2.4.5	Suche nach Kooperationsempfehlungen für Auftrag	75
4.2.4.6	Echtzeit-Empfehlungsgenerator	76
4.2.5	Typisierung des entwickelten DSS	78
4.3	Implementierungsaspekte	80
4.3.1	Technische Implementierungsplattform	81
4.3.2	Modularisierung des Systems	81
4.3.3	Ausgewählte Systemfunktionen	83
4.3.3.1	Manuelle Auftragserfassung	83

4.3.3.2	Auftrags- und Fahrzeugsuche	83
4.3.3.3	Manuelle Suche nach Kooperationsempfehlungen	85
4.3.3.4	Automatische Suche nach Kooperationsempfehlungen	87
5	Anreizkonzepte	89
5.1	Bedeutung von Anreizkonzepten	89
5.2	Anforderungen an Anreizkonzepte	91
5.3	Untersuchte Anreizkonzepte	92
5.3.1	Praxis-Vergütungskonzept	92
5.3.2	Kostenbasiertes Vergütungskonzept	98
6	Evaluation	101
6.1	Evaluationsziele	101
6.2	Evaluationskonzept	103
6.2.1	Evaluationsalternativen	103
6.2.1.1	Empirische Evaluation	104
6.2.1.2	Simulationsbasierte Evaluation	105
6.2.1.3	Vergleich und Auswahl	108
6.2.2	Simulations- und Auswertungskonzept	109
6.2.2.1	Alternative Organisationsformen	113
6.2.2.2	Untersuchungsdimensionen	117
6.2.3	Simulationsdaten	119
6.2.3.1	Auswahl der Simulationsdaten	120
6.2.3.2	Vorverarbeitung	121
6.2.4	Simulator	125
6.2.4.1	Konzeption	125
6.2.4.2	Eingabedaten	127

6.2.4.3	Simulation kooperativer Planung	128
6.2.5	Lösung der Probleme alternativer Organisationsformen . . .	132
6.2.6	Solution Analyzer	137
6.3	Simulationsergebnisse	138
6.3.1	Analyse der Netzwerkeffekte	138
6.3.1.1	Netzwerkweite Gesamtkosten	139
6.3.1.2	Kooperationsquote	143
6.3.2	Analyse von Fairnessaspekten	145
6.3.2.1	Individueller Kooperationsgewinn	145
6.3.2.2	Anteil profitierender Partner	146
6.3.2.3	Gewinnverteilung	148
6.3.2.4	Auftragsverteilung	157
6.3.3	Auswirkungen der Möglichkeit von Marktvergabe	160
6.3.3.1	Netzwerkweite Gesamtkosten	163
6.3.3.2	Kooperationsquote	164
6.3.3.3	Anteil profitierender Partner	165
6.3.3.4	Gewinnverteilung	165
6.3.3.5	Auftragsverteilung	172
6.3.4	Diskussion der Ergebnisse	173
6.3.4.1	Auswirkungen der Anreizkonzepte	173
6.3.4.2	Auswirkungen der Möglichkeit von Marktvergabe	175
6.4	Praxisevaluation	179
7	Zusammenfassung	181
	Literaturverzeichnis	185

Abbildungsverzeichnis

1.1	Planungsebenen in horizontalen kooperativen Transportnetzwerken .	5
2.1	Klassisches DSS-Konzept nach dem DDM-Paradigma	18
3.1	Kundenbeziehungen im Kooperationsnetzwerk	31
4.1	Koordinationsformen: Dezentrale Koordination	53
4.2	Koordinationsformen: Zentrale Planung	54
4.3	Koordinationsformen: Zentrale Planungsunterstützung	56
4.4	Konzeptionelles Datenschema in der Modellierungssprache ER-M .	62
4.5	Architektur des Entscheidungsunterstützungssystems	63
4.6	Module der Modellkomponente und ihre Abhängigkeiten	68
4.7	Berechnung der Kostenveränderung	73
4.8	Erfassung eines Auftrags	84
4.9	Suchfunktion	85
4.10	Suche nach Kooperationsmöglichkeiten für einen konkreten Auftrag	86
4.11	Vom Unterstützungssystem generierte E-Mail mit Kooperations- empfehlung	87
5.1	Beiladungsvarianten	93
5.2	Rückfracht-Situation	94
5.3	Direktfahrt-Situation	95

5.4	Direktfahrt-Situation ohne Berechnung der Anfahrt beim Praxis-Vergütungskonzept	96
5.5	Distanzberechnung bei Beiladung und Rückfracht beim Praxis-Vergütungskonzept	97
5.6	Aufteilung des Kooperationsgewinns beim kostenbasierten Vergütungskonzept	100
6.1	Zusammenwirken von Simulator und Entscheidungsunterstützungssystem	125
6.2	Absolute Gesamtkosten (ohne Marktvergabe)	140
6.3	Relative Gesamtkosten (ohne Marktvergabe)	141
6.4	Kooperationsquote (ohne Marktvergabe)	144
6.5	Anteil profitierender Netzwerkpartner (ohne Marktvergabe)	147
6.6	Absolute Gewinnverteilung im Simulationszeitraum I (ohne Marktvergabe)	150
6.7	Relative Gewinnverteilung im Simulationszeitraum I (ohne Marktvergabe)	151
6.8	Variationskoeffizient der Kooperationsgewinnverteilung (ohne Marktvergabe)	153
6.9	Variationskoeffizient der Verteilung des mittleren Kooperationsgewinns pro Kooperationstransaktion (ohne Marktvergabe)	155
6.10	Relative Auftragsverteilung Simulationszeitraum I (ohne Marktvergabe)	156
6.11	Variationskoeffizient der Auftragsverteilung (ohne Marktvergabe)	158
6.12	Variationskoeffizient der Verteilung der Auftragskilometer (ohne Marktvergabe)	159
6.13	Absolute Gesamtkosten (mit Marktvergabe)	161
6.14	Relative Gesamtkosten (mit Marktvergabe)	162

6.15 Kooperationsquote (mit Marktvergabe)	166
6.16 Anteil profitierender Partner (mit Marktvergabe)	167
6.17 Variationskoeffizient der Kooperationsgewinnverteilung (mit Marktvergabe)	168
6.18 Variationskoeffizient der Verteilung des mittleren Kooperationsgewinns pro Kooperationstransaktion (mit Marktvergabe)	169
6.19 Variationskoeffizient der Auftragsverteilung (mit Marktvergabe) . .	170
6.20 Variationskoeffizient der Verteilung der Auftragskilometer (mit Marktvergabe)	171

Tabellenverzeichnis

6.1	Fahrzeugklassen und ihre Parametrisierung	120
6.2	Format der protokollierten Auftragsdatensätze	121
6.3	Simulationseingabedaten: Netzwerkpartner	128
6.4	Simulationseingabedaten: Fahrzeugklassen	128
6.5	Simulationseingabedaten: Fahrzeuge	128
6.6	Simulationseingabedaten: Aufträge	129
6.7	Abkürzungen für die Benennung der Planungsszenarien	138
6.8	Absolute Gesamtkosten (ohne Marktvergabe)	140
6.9	Relative Gesamtkosten (ohne Marktvergabe)	141
6.10	Anzahl der Aufträge, Kooperationstransaktionen und Kooperations- quote (ohne Marktvergabe)	144
6.11	Anteil profitierender Netzwerkpartner (ohne Marktvergabe)	147
6.12	Variationskoeffizient der Kooperationsgewinnverteilung (ohne Marktvergabe)	153
6.13	Variationskoeffizient der Verteilung des mittleren Kooperations- gewinns pro Kooperationstransaktion (ohne Marktvergabe)	155
6.14	Variationskoeffizient der Auftragsverteilung (ohne Marktvergabe)	158
6.15	Variationskoeffizient der Verteilung der Auftragskilometer (ohne Marktvergabe)	159
6.16	Absolute Gesamtkosten (mit Marktvergabe)	161
6.17	Relative Gesamtkosten (mit Marktvergabe)	162

6.18	Anzahl der Aufträge, Kooperationstransaktionen und Kooperationsquote (mit Marktvergabe)	166
6.19	Anteil profitierender Partner (mit Marktvergabe)	167
6.20	Variationskoeffizient der Kooperationsgewinnverteilung (mit Marktvergabe)	168
6.21	Variationskoeffizient der Verteilung des mittleren Kooperationsgewinns pro Kooperationstransaktion (mit Marktvergabe)	169
6.22	Variationskoeffizient der Auftragsverteilung (mit Marktvergabe) . .	170
6.23	Variationskoeffizient der Verteilung der Auftragskilometer (mit Marktvergabe)	171

Algorithmenverzeichnis

- 4.1 Cheapest-Insertion-Heuristik 72
- 4.2 Suche nach Kooperationsempfehlungen 77
- 4.3 Echtzeit-Empfehlungsgenerator 78
- 6.1 Simulation kooperativer Planung 130
- 6.2 Lösung des DPDPTW mit statischen Verfahren 134
- 6.3 DPDPTWMD-Solver 137

Abkürzungsverzeichnis

DBMS	Datenbankmanagementsystem
DPDP	Dynamic Pickup and Delivery Problem
DPDPTW	Dynamic Pickup and Delivery Problem with Time Windows
DPDPTWMD	Dynamic Pickup and Delivery Problem with Time Windows and Multiple Depots
DSS	Decision Support System
ER-M	Entity-Relationship-Modell
GIST	Greedy Indirect Search Technique
HTML	Hypertext Markup Language
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
LKW	Lastkraftwagen
MBMS	Model Base Management System
PDPTW	Pickup and Delivery Problem with Time Windows
PDPTWMD	Pickup and Delivery Problem with Time Windows and Multiple Depots
PKW	Personenkraftwagen
PLZ	Postleitzahl
VRP	Vehicle Routing Problem
WWW	World Wide Web

Symbolverzeichnis

absTime_e	Absoluter Zeitpunkt des Ereignisses e
c	Variable Kosten für Ausführung eines Plans oder Teilplans auf einem eigenen Fahrzeug
capPal_v	Gesamtkapazität Paletten des Fahrzeugs v
capWeight_v	Gesamtkapazität Gewicht des Fahrzeugs v
cCP_p	Gesamtkosten des Netzwerkpartners p bei kooperativer Planung
cIP_p	Gesamtkosten des Netzwerkpartners p bei isolierter Planung
costDist_{vc}	Kostensatz Entfernung (tatsächliche Fahrstrecke) für variable Kosten bei Ausführung auf einem eigenen Fahrzeug der Fahrzeugklasse vc
costTime_{vc}	Kostensatz Zeit (tatsächliche Ausführungszeit) für variable Kosten bei Ausführung auf einem eigenen Fahrzeug der Fahrzeugklasse vc
COV	Variationskoeffizient
CR	Kooperationsquote
ct	Kooperationstransaktion
deliv_o	Zustellort des Auftrags o
delivEarl_o	Frühestzulässige Zustellzeit des Auftrags o
delivLate_o	Spätestzulässige Zustellzeit des Auftrags o

distApprAcc	Bei der Vergütungsberechnung nach dem Praxis-Vergütungskonzept angesetzte Anfahrtdistanz
Δc	Kostenveränderung
Δc_v	Kostenveränderung bei Einfügen auf Fahrzeug v
Δc_o^p	Kostenveränderung bei günstigstem Einfügen von Auftrag o in Plan von Netzwerkpartner p
ΔctpRel	Veränderung des Deckungsbeitrags des abgebenden Netzwerkpartners
$\Delta \text{ctpTake}$	Veränderung des Deckungsbeitrags des übernehmenden Netzwerkpartners
$\Delta \text{distance}_o^v$	Durch das günstigste Einfügen des Auftrags o in den Ausführungsplan des Fahrzeugs v zusätzlich zu fahrende Strecke
Δg_p	Kooperationsgewinn des Netzwerkpartners p
$\Delta g \text{CoopTrans}_p$	Mittlerer Kooperationsgewinn pro Kooperations-transaktion des Netzwerkpartners p
depot_p	Depot des Netzwerkpartners p
e	Ereignis
ins_i	Einfügestelle
loc_i	Be- oder Entladeort
marketCost_{vc}	Kostensatz Entfernung (Frachtdistanz) für Kosten bei Marktvergabe bei benötigter Fahrzeugklasse vc
$\text{marketCostBase}_{vc}$	Grundpreis bei Marktvergabe bei benötigter Fahrzeugklasse vc
$\text{marketCostMin}_{vc}$	Mindestpreis bei Marktvergabe bei benötigter Fahrzeugklasse vc

minVc_o	Mindestens benötigte Fahrzeugklasse des Auftrags o
np_o	Netzwerkpartner, zu dessen Auftragsportfolio Auftrag o aktuell gehört
o	Einzelner Auftrag
p, q	Netzwerkpartner
P	Menge der Netzwerkpartner des Kooperationsnetzwerks
pallets_o	Kapazitätsbedarf Paletten des Auftrags o
pick_o	Abholort des Auftrags o
pickEarl_o	Frühestzulässige Abholzeit des Auftrags o
pickLate_o	Spätestzulässige Abholzeit des Auftrags o
R	Menge der Vergütungszahlungen
r_{ct}	Mit Kooperationstransaktion ct verbundene Vergütungszahlung
$r_{p,q}$	Vergütungszahlung des Netzwerkpartners p an den Netzwerkpartner q
relTime_e	Relativer Zeitpunkt des Ereignisses e
$\text{rewCost}_{\text{vc}}$	Kilometersatz für Praxis-Vergütungskonzept für Fahrzeugklasse vc
rewRel_p	Summe der Vergütungszahlungen, die Netzwerkpartner p zahlt
rewTake_p	Summe der Vergütungszahlungen, die Netzwerkpartner p erhält
σ	Standardabweichung
t_i	Zeitpunkt
tRef	Referenzzeitpunkt

Symbolverzeichnis

t_{SimStart}	Simulationsbeginnzeitpunkt
v	Fahrzeug
v_p	Fahrzeug des Netzwerkpartners p
V_p	Menge der Fahrzeuge des Netzwerkpartners p
vc	Fahrzeugklasse
VC	Menge der Fahrzeugklassen
$weight_o$	Kapazitätsbedarf Gewicht des Auftrags o