
Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl Prof. Mertens

Habib Lejmi

**Ein Beitrag zur Integration der
Tourenplanung auf e-Marktplätzen am
Beispiel einer Abwicklungs-Plattform in
der Möbelindustrie**

Äußerer Laufer Platz 1, 90403 Nürnberg,
Tel. +49 911-5302151, Fax +49 5302149
lejmi@forwin.de, <http://www.forwin.de>

FORWIN-Bericht-Nr.: FWN-2003- 006

- © FORWIN - Bayerischer Forschungsverbund Wirtschaftsinformatik,
Bamberg, Bayreuth, Erlangen-Nürnberg, Regensburg, Würzburg 2003
Alle Rechte vorbehalten. Insbesondere ist die Überführung in maschinenlesbare Form sowie
das Speichern in Informationssystemen, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher
Einwilligung von FORWIN gestattet.

Zusammenfassung

Der Arbeitsbericht stellt ein Konzept für die Integration der logistischen Auftragsabwicklung in e-Marktplätze für physische Güter vor. Ein besonderes Augenmerk bei der Entwicklung des Lösungsansatzes lag auf Problemen der Tourenplanung sowie auf der konsequenten Berücksichtigung von Erkenntnissen und Verfahren aus der Logistik und aus dem Operations Research. Neben einer aktuellen Bestandsaufnahme zu den bekanntesten Lösungsverfahren für das so genannte „Vehicle Routing Problem“ (VRP) berichten wir über Erfahrungen während der Konzeption und Implementierung eines Logistikmoduls in einem vertikalen B2B-Marktplatz der Möbelindustrie.

Stichworte

Tourenplanung, Saving, Tabu Search, Transport, e-Marktplätze

Abstract

The report presents a new approach for the integration of logistic services into e-Marketplaces trading industrial goods. The main focus is set thereby on problems related to transport planning and the implementation of consolidated findings from Operations Research. Besides a survey of classical and modern methods for the Vehicle Routing Problem (VRP), we report about the conception and realization of a logistics component and its integration into a B2B exchange in the furniture industry.

Keywords

VRP, Saving, Tabu Search, Transport, e-Marketplaces

Inhalt

1	EINLEITUNG	1
2	ZIELE UND GESAMTKONZEPT	1
2.1	BESTANDSAUFNAHME ZUR INTEGRATION DER LOGISTIK IN B2B-MARKTPLÄTZE.....	2
2.2	KONZEPT DER INTEGRIERTEN TRANSPORTABWICKLUNG.....	4
3	PROBLEME DER TOURENOPTIMIERUNG	5
3.1	MATHEMATISCHE FORMULIERUNG	6
3.2	ÜBERSICHT DER LÖSUNGSVERFAHREN.....	7
3.1.1	Exakte Verfahren.....	7
3.1.2	Heuristische Verfahren.....	8
4	MODELLBILDUNG UND IMPLEMENTIERUNGSASPEKTE.....	15
4.1	BASISMODELL	15
4.2	FALLSTUDIE	17
4.2.3	Integration der Tourenplanung.....	17
4.2.4	Implementierte Lösungsverfahren.....	20
4.2.5	Verfahrensvergleich und Bewertung.....	23
5	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	24

1 Einleitung

Der Transport gilt oft als das vergessene Bindeglied in der Supply Chain. Die Transportkosten bilden jedoch den größten Kostenfaktor in der Logistik [Klaus 1999] und bieten dementsprechend das größte Potenzial für Einsparungen in diesem Bereich. Neue Anforderungen und gleichzeitig Chancen durch das e-Business stellen eine zusätzliche Relevanz für die unternehmensübergreifende Transportoptimierung dar. Die Integration von logistischen Überlegungen in vertikale B2B-Marktplätze schafft nicht nur eine Lösung für Lieferprobleme in der Auftragsabwicklung, die oft das Scheitern von e-Business-Strategien verursachen [Simon 2001], sondern realisiert auch einen echten Mehrwert für die Teilnehmer-Unternehmen.

Der vorliegende Bericht stellt ein Konzept vor, das die Integration der Transportplanung auf e-Marktplätzen realisiert. Die entwickelte Lösung ist in einem Kooperationsprojekt des Bayerischen Forschungsverbunds Wirtschaftsinformatik (FORWIN) und der ecenta AG (Nürnberg) entstanden und konnte auf einer vertikalen Abwicklungs-Plattform in der Möbelindustrie validiert werden. Die erzielten Ergebnisse zeigen die großen Chancen, die eine Integration von Logistik in e-Marktplätze schafft, insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (KMU).

Der Beitrag fokussiert auf die Tourenoptimierung, ein wichtiger Teilbereich der Distributionslogistik [Paessens 1987]. Nach einer kurzen Beschreibung der Ziele und Hintergründe des erarbeiteten Gesamtkonzepts im nächsten Kapitel, vertieft Kapitel 3 die Grundlagen zur Untersuchung von Routenplanungsfragen. Kapitel 4 beschreibt ein Basismodell für die Tourenoptimierung auf vertikalen B2B-Marktplätzen und skizziert die Erfahrungen bei dessen Implementierung auf einer Abwicklungsplattform in der Möbelindustrie.

2 Ziele und Gesamtkonzept

Nach einer Anfangsphase des elektronischen Handels, in der Probleme der logistischen Abwicklung weitgehend unberücksichtigt blieben, verbreitete sich die Erfahrung, dass eine teure Logistik die versprochenen Vorteile der Reduzierung von Transaktionskosten und –zeiten absorbieren kann. Ein weites Spektrum an Lösungen ist in der Folge entstanden. Diese reichen – in Anbetracht der Integration des Online-Geschäfts mit den traditionellen Absatzkanälen eines Unternehmens bzw. einer Lieferkette – von einer totalen Fremdvergabe der Logistik bis zu einer einheitlichen Auftragsabwicklung.

Die Integration der Logistik in e-Commerce(EC)-Lösungen bietet im Vergleich zu anderen Vorgehensweisen viele Vorteile: Kostensenkung, Ausschöpfung von Bündelungs-

möglichkeiten sowie die Schaffung eines quantifizierbaren Mehrwerts im Vergleich zum traditionellen Geschäft. Eine Integrationslösung erfordert aber von den Anbietern von EC-Systemen eine tief greifende Auseinandersetzung mit Erkenntnissen und Erfahrungen aus dem Bereich der Logistik. Es ist außerdem notwendig, alle Phasen einer Handelstransaktion zu berücksichtigen, also auch die Vereinbarung und Abwicklung von Kaufverträgen.

2.1 Bestandsaufnahme zur Integration der Logistik in B2B-Marktplätze

Das EC-Umfeld zeichnet sich durch eine Vielzahl von Geschäftsmodellen aus, die sehr unterschiedliche Anforderungen an die logistische Abwicklung aufweisen [Wallenburg et al. 2002]. Wir konzentrieren uns im Folgenden auf die Integration der Logistik in B2B-Marktplätze für Güter.

Obwohl sich Experten aus Wissenschaft und Praxis darüber einig sind, dass die Auftragsabwicklung einen Schlüsselerfolgswert für B2B-Handelsplattformen bildet, ist es interessant zu beobachten, dass nur sehr wenige internetbasierte Marktplätze integrierte Lieferlösungen anbieten. Die logistische Funktionalität beschränkt sich, wenn sie überhaupt vorhanden ist, meistens nur auf das Angebot von Übersichten auf offene Bestellungen, ggf. kombiniert mit dem Status der Auftragsabwicklung [Quadrem 2002, WWRE 2002]. Es werden nur die Informationsflüsse berücksichtigt und kaum die physische Erfüllung abgeschlossener Verträge.

Außerdem besteht eine verbreitete Ansicht, dass die Lieferprobleme im B2C-Bereich wegen der großen Anzahl der Kunden und der Vielzahl kleinerer Aufträge komplexer sind als im B2B-Handel [Siebel 2001]. Es gilt jedoch zu konstatieren, dass gerade die Transaktionen zwischen Unternehmen die logistische Abwicklung vor beträchtliche Herausforderungen stellen. Die Distributionskanäle in diesem Bereich sind vielfältig [Hintlian et al. 2001]. Berücksichtigt man Transporte, bei denen die Pünktlichkeit im Vordergrund steht, wie beispielsweise bei Just-in-Time-Lieferungen, so kommt man zum Erkenntnis, dass die Logistik im B2B mindestens genau so wichtig ist wie im B2C-Umfeld.

Erst durch die Integration logistischer Dienstleistungen können B2B-Marktplätze ihren Kunden einen signifikanten Mehrwert anbieten, der über die Senkung der Suchkosten hinausgeht [Klose et al. 2000]. Diese Integration kann in Abhängigkeit von den Branchenstrukturen und von den etablierten Logistikbeziehungen auf unterschiedlichen Stufen umgesetzt werden. Wenn etablierte Beziehungen zwischen Lieferanten (oder Abnehmern) und Logistikdienstleistern (LDL) existieren, wie beispielsweise in der Stahl- oder Automobilindustrie, erwartet man, dass diese bestehen bleiben [Carstensen 2001]. Der

Beitrag der B2B-Marktplätze beschränkt sich in diesem Fall in der Abwicklungsphase auf die Unterstützung der Kommunikation zwischen den Spediteuren und Teilnehmer-Unternehmen. Es gibt aber andere Potenziale, beispielsweise durch die Auftragsbündelung oder Frachtoptimierung. Diese bleiben zum aktuellen Stand der Entwicklung weitgehend ungenutzt. Entstehen mithilfe der Internet-Plattform neue Zulieferer-Abnehmer-Beziehungen oder werden dadurch geografisch neue Märkte erschlossen, bietet es sich für den Marktplatzbetreiber an, zusätzliche Dienste bereitzustellen und die logistische Abwicklung zu vermitteln oder auch zu beauftragen. Man verspricht sich dabei eine bessere Koordination der zwischenbetrieblichen Material- und Informationsflüsse.

Unter der Integration logistischer Dienstleistung in B2B-Marktplätze wird in der praxisorientierten Literatur oft die Herstellung von Schnittstellen zwischen den Teilnehmern und LDL verstanden. Je nach Kosten-Nutzen-Analyse lassen sich drei Möglichkeiten für die operative Umsetzung unterscheiden:

1. Verweisen auf qualifizierte Dienstleister: Der Marktplatz setzt in diesem Fall einen Link auf die Web-Seiten registrierter Logistiker. Das impliziert, dass der Anwender den Marktplatz verlassen muss, um den Logistikauftrag zu erfassen. Eine solche Lösung sollte in einer Zusammenarbeit zwischen der CargEx AG und dem e-Marktplatz T-Mart der Deutschen Telekom realisiert werden [CargEx 2002].
2. Lose Kopplung: Die Integration ist auf dieser Stufe dokumentenbasiert. Die Verlager können am Marktplatz ihre Logistikaufträge online eingeben. Diese lassen sich in einem standardisierten Format an den Logistiker weiterleiten. Denkbar sind in diesem Zusammenhang Rahmenvereinbarungen zwischen Betreiber und Logistikpartnern, die den Preis der Dienstleistung festlegen.
Diese Lösung wurde beispielsweise in den e-Marktplätzen Netbid.de und Paperexchange.com in Zusammenarbeit mit der Stinnes AG umgesetzt [Carstensen 2001].
3. Enge Kopplung: Um die Medienbrüche zu vermeiden, implementiert man standardisierte Schnittstellen zu den Informationssystemen der LDL. Dadurch erhalten die Teilnehmer z. B. Preis- oder Tracking&Tracing-Informationen direkt auf dem Marktplatz. Dieser Ansatz ist allerdings nur denkbar, wenn die Transaktionsvolumina hoch und die Marktakteure bereit sind, sich auf einen bestimmten Dienstleister festzulegen.

Abbildung 1 zeigt die Integrationsstufen logistischer Dienste in B2B-Marktplätze, wie man sie heute in der Praxis vorfindet.

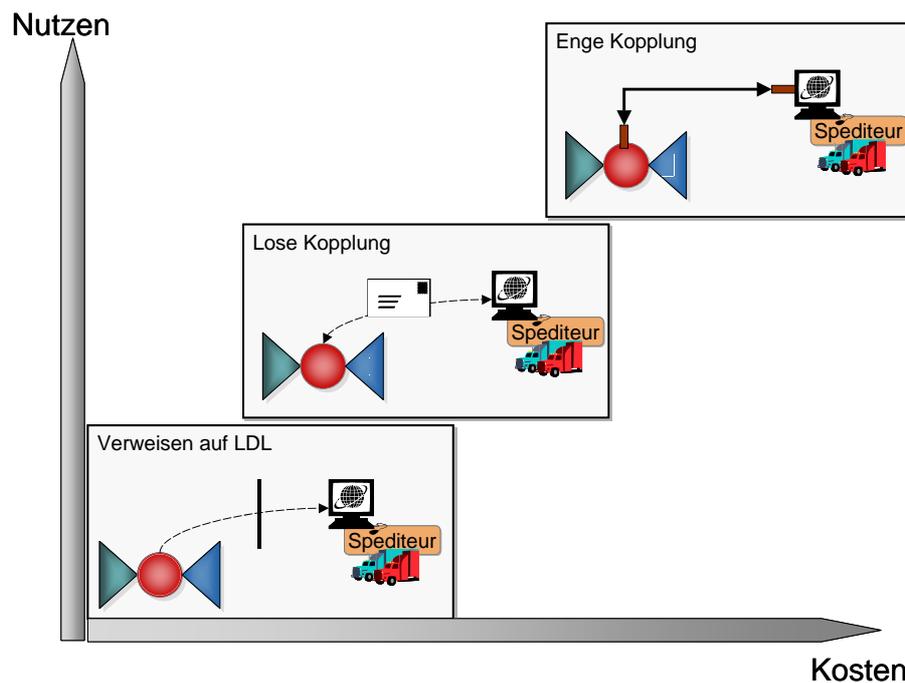


Abbildung 1 Integrationsstufen logistischer Dienstleistungen in B2B-Marktplätze

2.2 Konzept der integrierten Transportabwicklung

Das entwickelte Lösungskonzept geht einen Schritt weiter als die geschilderten Ansätze und sieht die Implementierung einer Transportkomponente aufseiten der e-Marktplätze vor. Diese integriert die kaufmännischen und logistischen Prozesse, trägt dazu bei, die Transportkosten zu minimieren, und fördert die Anbindung von LDL an B2B-Handelsplattformen im Internet. Das Angebot von informationsbasierten Mehrwertdiensten soll außerdem die Transparenz in der logistischen Abwicklung steigern.

Verschiedene Aufgaben (Teilprozesse) müssen erfüllt werden, um Transportdienstleistungen zu erbringen. Sie lassen sich in drei Ebenen einordnen [Hoffmann und Lindemann 1998]. Die Kerndienstleistungen umfassen die Planung, Optimierung und Steuerung von Transporten sowie die physische Frachtführung. Die Aufgaben der Qualitätssicherung, des Abschlusses von Versicherungen und der Zollabwicklung zählen zu den Zusatzdiensten. Neben der Statusverfolgung beinhalten Informationsdienstleistungen die Erstellung von Berichten und Statistiken.

Es gilt zuerst abzuwägen, welche Dienste vom e-Marktplatz übernommen und welche an LDL fremdvergeben werden. Zwei Eigenschaften von B2B-Marktplätzen spielen bei dieser Entscheidung eine zentrale Rolle. Zuerst die Möglichkeit einer unternehmensübergreifenden Sicht auf alle Auftragsdaten und über mehrere Lieferungsperioden hinweg. Dadurch kann die Tourenplanung beispielsweise einen größeren Bündelungsgrad sowie eine bessere Kapazitäts-

auslastung der Transportmittel erreichen. Zum anderen bieten e-Marktplätze zentrale Systeme für den Datenaustausch zwischen verschiedenen Partnern. Der Datenzugriff ist zudem zu jedem Zeitpunkt möglich. Informationsintensive Aufgaben am Beispiel der Dokumentenverwaltung oder der Statusverfolgung müssen deshalb aufseiten des e-Marktplatzes integriert werden.

Abbildung 2 skizziert den Aufbau der Transportkomponente. Neben den Modulen für die Unterstützung der Transportabwicklung enthält das System zwei Schnittstellen zum e-Marktplatz sowie zu den internen Systemen der LDL. Diese können entweder Partner im Rahmen von langfristigen Kontrakten (Regelfall) oder auch Dienstleister auf dem Spotmarkt sein.

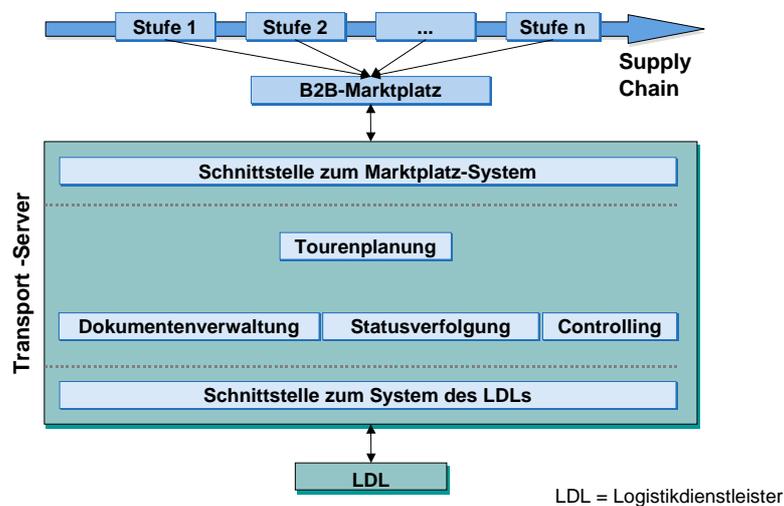


Abbildung 2 Module der Transportkomponente

Der erste Schritt bei der Umsetzung des Konzepts bestand in der Implementierung des Moduls für die Tourenplanung. Probleme der Routenoptimierung werden seit Ende der 50er Jahre untersucht. Dementsprechend findet man in der Literatur zahlreiche Modelle und Verfahren dazu. Eine Bestandsaufnahme der wichtigsten Algorithmen bildete die Basis der Entwicklung unseres Moduls.

3 Probleme der Tourenoptimierung

Als Referenz für Tourenplanungsaufgaben dient ein Standardproblem, das unter dem Namen „Vehicle Routing Problem“ (VRP) bekannt geworden ist. Dieses Grundmodell beschreibt die Lieferung von Auftragsgegenständen zu einer gegebenen Anzahl von Kunden unter Einhaltung von einfachen Nebenbedingungen:

1. Die Ware ist in einem Lager (Depot) abgelegt, in dem auch der Fuhrpark stationiert ist.
2. Die Entfernungen zwischen den verschiedenen Orten sind bekannt und symmetrisch.

3. Es stehen beliebig viele Fahrzeuge zur Verfügung, die alle eine einheitliche Kapazität aufweisen und höchstens eine Fahrt (Tour) übernehmen können.
4. Die Auftragsmenge jedes Kunden ist vollständig von einem Fahrzeug zu befriedigen.

Die Zielsetzung vom VRP besteht in der Planung von Touren, mit denen die Nachfrage der Kunden erfüllt wird. Außerdem gilt es, die Fahrzeugkapazität einzuhalten und die gesamte Strecke zu minimieren. Unter einer Tour verstehen wir die geordnete Menge der Kunden, die der Frachtführer auf einer am Depot beginnenden und endenden Fahrt gemeinsam bedient. Die Ordnung der Kunden ergibt sich aus der Reihenfolge, in der sie beliefert werden. Die Menge aller Touren, die zur Erfüllung der gegebenen Aufträge nötig ist, stellt das Ergebnis der Tourenplanung dar, den Tourenplan.

Das VRP ist eine Verallgemeinerung für das Problem des Geschäftsreisenden (Traveling Salesman Problem, TSP) und gilt als NP-vollständig, d. h. es lässt sich deterministisch nur mit exponentieller Laufzeit lösen.

3.1 Mathematische Formulierung

Sei $G = (V, A)$ ein Graph mit einer Menge V von Knoten und einer Menge A von Kanten. Es gilt:

- $V = \{0\} \cup N$; wobei 0 dem Depot entspricht und $N = (1, \dots, n)$ die Menge aller Kunden ist.
- $A = (\{0\} \times N) \cup I \cup (N \times \{0\})$; wobei $I \subseteq N \times N$ die Menge aller Verbindungen zwischen den Kunden ist, $\{0\} \times N$ enthält die Kanten zwischen dem Depot und den Kunden und $N \times \{0\}$ die Kanten von den Kunden zum Depot.

Jeder Kunde $i \in N$ hat eine Nachfrage der Menge q_i . Die Variable y_i bezeichnet die Ladung eines Fahrzeugs, wenn es in der entsprechenden Abladestelle ankommt. Jeder Kante (i, j) ist ein Kostenfaktor c_{ij} zugeordnet. Es wird zusätzlich angenommen, dass c_{ij} die Fahrstrecke und -zeit wiedergibt. Alle Fahrzeuge haben eine einheitliche Kapazität Q .

Für jede Kante $(i, j) \in A$ sei außerdem eine Variable x_{ij} definiert. Sie nimmt den Wert 1 an, falls die Strecke von einem der Fahrzeuge befahren wird, und ist ansonsten gleich 0.

Die Zielfunktion im VRP lässt sich wie folgt umschreiben: Minimiere $\sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij}$

wobei:

$$\begin{array}{ll} \sum_{j \in V} x_{ji} = 1 & \forall i \in N \\ \sum_{i \in V} x_{ji} = 1 & \forall i \in N \\ x_{ji} = 1 \Rightarrow y_i - q_i = y_j & \forall (i, j) \in I \\ q_i \leq y_i \leq Q & \forall i \in N \\ x_{ij} \in \{0, 1\} & \forall (i, j) \in I \end{array}$$

3.2 Übersicht der Lösungsverfahren

Grundsätzlich lassen sich zwei Verfahrensarten zur Tourenplanung unterscheiden. Deterministische Verfahren formulieren ein Optimierungskriterium (Zielfunktion) und berechnen unter Wahrung der Restriktionen eine optimale Lösung. Jedoch lässt sich eine komplexe Ausgangssituation in der Regel nur recht diffizil modellieren. Die Anpassung der resultierenden mathematischen Formulierung bereitet zusätzliche Schwierigkeiten. Es sind außerdem hohe und rapide ansteigende Rechenzeiten notwendig, um die Lösung zu ermitteln. Zur zweiten Gattung gehören die heuristischen Verfahren. Sie liefern zwar keine globalen Optima, aber immer noch sehr gute Ergebnisse, welche nahe an die bestmögliche Lösung heranreichen.

3.1.1 Exakte Verfahren

Exakte Verfahren, die das Tourenplanungsproblem optimal lösen, haben bislang in der Praxis keine Bedeutung erlangt. Es konnten lediglich Tourenplanungsprobleme mit wenigen Nebenbedingungen und einer kleinen Anzahl von Kunden in relativ zufrieden stellenden Rechenzeiten exakt gelöst werden [Eddelbüttel 1997]. Für Situationen mit 10 bis 25 Kunden stellt z. B. die Simplexmethode einen guten Lösungsansatz dar. Viele kombinatorische Problemstellungen lassen sich außerdem durch Modelle mit binären oder ganzzahligen Variablen, einer linearen Zielfunktion und linearen Ungleichungen zur Beschreibung der Restriktionen darstellen. Eine solche Modellierung ist bei der Anwendung der Softwareprodukte zwar lösbar, führt jedoch nur in seltenen Fällen zu einer Problemlösung in zumutbaren Rechenzeiten.

In der Literatur findet man exakte Verfahren vor allem für knotenorientierte Probleme, wobei es sich vorwiegend um Verallgemeinerungen von Methoden zur Lösung von Rundreiseproblemen (TSP) handelt. Die auf dem Set-Partitioning-Ansatz beruhenden Vorgehensweisen werden auch als exakt bezeichnet [Stumpf 1998]. Die Optimierung erfolgt bei diesem Ansatz in zwei Etappen. Im ersten Schritt bestimmt man eine Menge MT zulässiger Touren, sodass jeder Kunde in mindestens einer Fahrt enthalten ist. Für jede Rundreise $\tau \in MT$ werden die kürzeste Route und deren Länge l_τ ermittelt. Im zweiten Schritt wird anschließend eine Teilmenge gewählt, also ein Tourenplan TP aus MT , welche die minimale Gesamtlänge hat. Es ist sinnvoll, hierbei eher von unvollständig exakten Verfahren zu sprechen [Eddelbüttel 1997].

Neben den notwendigen Rechenzeiten weisen exakte Verfahren eine weitere Schwäche auf, die einen Einsatz in der Praxis verhindert. Jede Problemvariante (unterschiedliche Fahrzeug-

kapazität, empirische Verteilung oder Problemgröße) erfordert einen anderen exakten Lösungsansatz [Domschke 1990]. Heuristische Methoden sind demgegenüber vielfältiger. Die Entscheidung, welche Heuristik für die entsprechende Fragestellung anzuwenden ist, hängt deutlich weniger von den Nebenbedingungen ab.

Aus den genannten Gründen ist der unmittelbare Einsatz exakter Algorithmen zur Erzielung wirtschaftlicher Vorteile gegenüber herkömmlichen Heuristiken nicht zu erwarten. Mit dem Einsatz von primitiven, aber zugleich flexiblen heuristischen Methoden ist für alle Probleme in einer kurzen Zeit eine quasi-optimale Lösung möglich.

3.1.2 Heuristische Verfahren

In der Literatur ist eine fast unübersehbare Zahl von Heuristiken veröffentlicht worden. Es lassen sich unter diesen Methoden zwei Gruppen identifizieren: die klassischen Algorithmen und die modernen Meta-Heuristiken [Laporte et al. 2000] (siehe Abbildung 3).

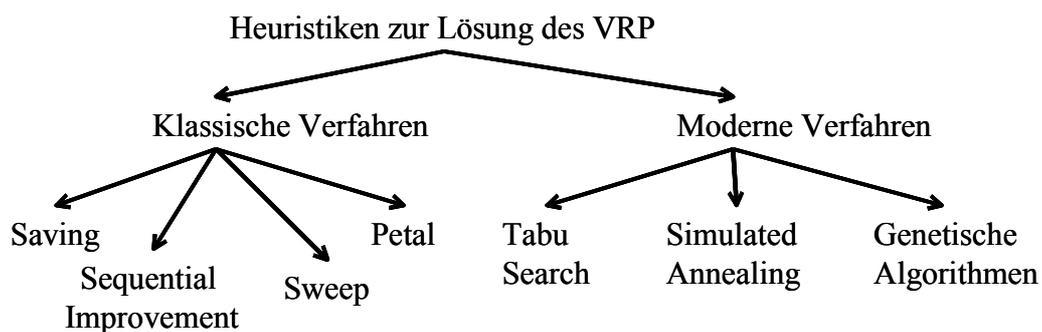


Abbildung 3 Klassifikation der VRP-Heuristiken (in Anlehnung an [Laporte et al. 2000])

Die Vorgehensweise heuristischer Verfahren in der Tourenplanung kann in zwei Teilschritte gegliedert werden. Im ersten Schritt, dem Eröffnungsverfahren (auch Konstruktionsverfahren), generiert das Programm eine zulässige Ausgangslösung. Im zweiten Schritt wird mithilfe von so genannten Verbesserungsverfahren versucht, so lange bessere Lösungen zu entwickeln, bis ein zuvor festgelegtes Abbruchkriterium erfüllt ist.

Innerhalb der Gruppe der Konstruktionsverfahren kann man nach ein- und zweistufigen Verfahren unterscheiden [Laporte und Semet 2002]. Diese Klassifikation hängt mit der Identifizierung von zwei Teilproblemen in der Tourenplanung zusammen:

1. Ein Zuordnungsproblem von Kunden zu einer Tour (Clustering von Kunden)
2. Ein Reihenfolgeproblem innerhalb jeder Tour (Routing)

Je nachdem, ob diese Teilprobleme sequenziell oder simultan gelöst werden, lassen sich die Algorithmen in sukzessive und parallele einteilen.

Im Folgenden befassen wir uns zuerst mit klassischen Heuristiken. Zwei Eröffnungsverfahren werden dabei kurz beschrieben, nämlich den Savings-Algorithmus (Parallelverfahren) und die Cluster-First-Route-Second-Verfahrensfamilie (Sukzessivverfahren) sowie die wichtigsten klassischen Verbesserungsalgorithmen. Im zweiten Teil unserer Bestandsaufnahme betrachten wir Tabu Search näher. Dies stellt das erfolgreichste Verfahren unter den modernen Meta-Heuristiken dar.

3.1.2.1 Klassische Heuristiken

Die klassischen Heuristiken wurden überwiegend zwischen 1960 und 1990 entwickelt. Die meist verwendeten Konstruktions- und Verbesserungsverfahren in der Praxis zählen zu dieser Klasse. Obwohl sie eine beschränkte Untersuchung des Lösungsraums leisten, führen sie zu guten Ergebnissen innerhalb einer dem Anwender zumutbaren Rechenzeit. Ein weiterer Vorteil der klassischen Verfahren besteht in ihrer Flexibilität gegenüber Erweiterungen, um Gegebenheiten der praktischen Anwendung, wie beispielsweise vorgegebene Zeitfenster für die Lieferung oder unterschiedliche Kapazitäten der Fahrzeuge, gerecht zu werden.

3.1.2.1.1 Savings-Algorithmus

Der Savings-Algorithmus stammt von Clarke und Wright [Clarke und Wright 1964] und gilt als Konstruktionsverfahren, mit dessen Hilfe sich gute Anfangslösungen für das VRP generieren lassen. Die konzeptionelle Einfachheit, die kurzen Rechenzeiten sowie die große Anpassungsfähigkeit prädestinieren ihn für einen Einsatz in der Praxis [Gietz 1994]. Der erste Schritt im Savings-Verfahren besteht in der Bildung von Touren, die jeweils nur eine Sendung enthalten. Das sind die Pendeltouren, die anschließend sukzessiv nach einer definierten Reihenfolge miteinander kombiniert werden. Die Kombinationsreihenfolge ermittelt man auf der Basis von vorab definierten Abstandsmaßen, mit denen das Verfahren abschätzt, inwieweit das Aufeinanderfolgen zweier Touren sinnvoll ist. Die Grundoperation besteht dementsprechend im Savings-Algorithmus darin, zwei Touren zu einer zusammenzufassen. Die auf diese Art neu gebildete Tour heißt Kombinationstour.

Seien $T_1 = (h, \dots, i)$ und $T_2 = (j, \dots, k)$ zwei unterschiedliche Touren. Der erste und der letzte Kunde einer Tour werden Randkunden genannt. Eine Verknüpfung von T_1 und T_2 bedeutet, dass zwei Randkunden von T_1 und T_2 unmittelbar hintereinander beliefert werden, ohne zwischenzeitlich zum Depot zu fahren. Als Kombinationstour T^* kann z. B. $T^* = (h, \dots, i, j, \dots, k)$ entstehen.

Die Ersparnis, die eine Kombination der Touren T_1 und T_2 durch Verbindung der Kunden i und j hinsichtlich der Fahrtstrecke einbringt, wird durch den Savings-Wert s_{ij} ausgedrückt,

wobei $s_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$ für $i, j \in N$ und $i \neq j$.

Die Savings-Formel setzt sich aus den eingesparten Strecken (d_{i0} und d_{0j}) sowie der zusätzlich zu fahrenden Strecke (d_{ij}) zusammen. Eine parametrisierte Variante vom Savings-Verfahren verbessert die Lösungsqualität, indem sie diese Formel mehrmals mit jeweils geänderten Parameterwerten anwendet und das beste gefundene Ergebnis speichert.

Das parametrische Savings-Verfahren von Paessens hat eine beachtliche Lösungsqualität auch im Vergleich zu anderen, wesentlich rechenaufwändigeren Methoden der Tourenplanung [Gietz 1994]. Es verwendet die beiden Tourenformfaktoren g und f und kommt zur folgenden Formel:

$$s_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - g \cdot d_{ij} + f \cdot |d_{i0} - d_{0j}|, \text{ wobei er } 0 < g \leq 3 \text{ und } 0 \leq f \leq 1 \text{ empfiehlt.}$$

Der Faktor g geht auf Gaskell [Gaskell 1967] zurück und bewertet den Abstand der beiden zu verbindenden Kunden. Es gilt dabei:

$g < 1$: die bevorzugte Verbindung nahe beieinander liegender Kunden verliert an Gewicht.

$g > 1$: kleinere Abstände zwischen i und j werden vorgezogen.

Der Faktor f gewichtet die Differenz der Depotabstände von i und j .

Um die Reihenfolge für die Zusammenfassung von Touren festzulegen, sortiert man alle möglichen Savings-Werte – zusammen mit den zugehörigen Kundenpaaren (i, j) – nach absteigender Größe. In jeder Iteration des Verfahrens wird die Verknüpfung, die zum nächsten Kundenpaar der Liste gehört, untersucht und, falls zulässig, durchgeführt. Jede zulässige Verknüpfung spart genau eine Tour und bringt eine dem Savings-Wert entsprechende Streckenersparnis.

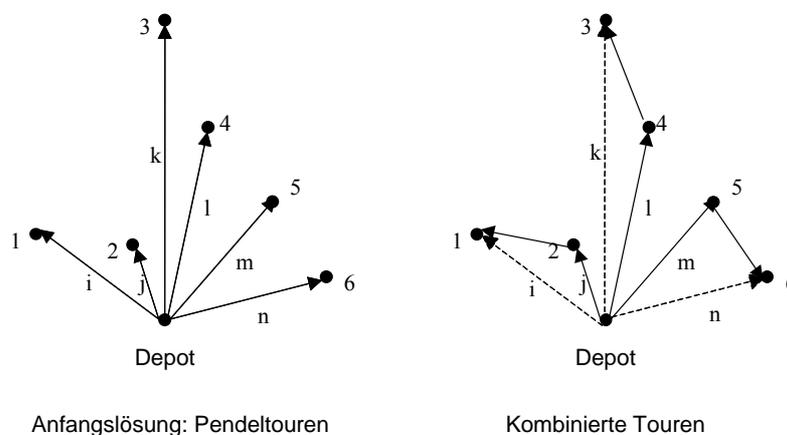


Abbildung 4 Savings-Algorithmus

Man unterscheidet zwei Vorgehensweisen beim Aufbau der Touren. Neben dem simultanen Savings-Verfahren, bei dem jede Iteration die Erweiterung einer Rundreise bewirkt, besteht

auch die Möglichkeit eines sequenziellen Aufbaus. Die Fahrten werden bei dieser Variante nacheinander aufgebaut [Domschke 1990]. Eine Pendeltour wird solange erweitert, bis es keine weitere zulässige Kombination mehr gibt. Sind noch nicht alle Kunden verplant, beginnt eine neue Rundfahrt. Verschiedene empirische Untersuchungen ergaben, dass die parallele Version die besseren Optimierungsergebnisse realisiert [Laporte et al. 2000].

3.1.2.1.2 Cluster-First-Route-Second-Algorithmen

Die Sukzessivverfahren zur Lösung des VRP umfassen zwei Vorgehensweisen. Die Route-First-Cluster-Second(RFCS)- und die Cluster-First-Route-Second(CFRS)-Verfahren. Nur Letztere sind für kantenorientierte Probleme relevant (vgl. Kapitel 4). Bei dieser Vorgehensweise werden in einer ersten Stufe zunächst alle Kunden unter Betrachtung der Einschränkungen zu Gruppen (Clusters) zusammengefasst. Die Belieferungsreihenfolge innerhalb der gebildeten Teilmengen wird anschließend in einem zweiten Schritt bestimmt. Der Sweep-Algorithmus, der auf Gillet und Miller zurückgeführt wird, ist der bekannteste unter dieser Verfahrensfamilie [Laporte und Semet 2002]. Er gilt für die planaren Instanzen des VRP (Ein Graph heißt planar, wenn er sich so in die Ebene zeichnen lässt, dass sich keine Kanten überkreuzen). Die Kunden-Teilmengen werden gebildet, indem man einen vom Depot ausgehenden Strahl in die Ebene rotiert und Kunden unter Beachtung der Kapazitätseinschränkungen zu Touren zusammenfasst. Die Reihenfolge der Abladestellen lässt sich durch die Lösung vom TSP ermitteln.

3.1.2.1.3 Verbesserungsverfahren

Man unterscheidet zwei Typen von Verbesserungsalgorithmen: die Intra- und die Inter-Tour-Verfahren. Die ersten optimieren die Reihenfolge von Abladestellen innerhalb einer Tour (TSP). Inter-Tour-Verbesserungen betreffen mehrere Touren gleichzeitig, zwischen denen Kunden ausgetauscht werden.

Zu den Intra-Tour-Algorithmen zählt das r-opt-Verfahren. Hierbei werden r Kanten aus einer Tour zuerst entfernt und durch die gleiche Zahl anderer Verbindungen ersetzt. Es gilt, alle möglichen Kombinationen von r Kanten zur Verbindung der verbleibenden Knoten zu überprüfen, auch solche, die alte Verbindungen enthalten. Man wiederholt diese Methode solange, bis die Tour r-optimal ist, d. h. bis es nicht möglich ist, sie durch den Austausch von r Kanten gegen r andere zu verbessern (verkürzen). Der Rechenaufwand für die r-Optimierung beträgt $O(n^r)$, weshalb auch nur das 2-opt-Verfahren (n^2) und das 3-opt-Verfahren (n^3) praktische Relevanz besitzen. Es gibt verschiedene Anpassungen an den Basisentwurf. Or entwickelte die Or-opt-Methode [Or 1976], welche einen Kompromiss

zwischen 2-opt und 3-opt darstellt und die Verlegung von maximal drei aufeinander folgenden Kanten zu einem anderen Ort vorsieht. Der Or-opt-Ansatz nähert der Lösungsgüte vom 3-opt-Verfahren, braucht aber den gleichen Rechenaufwand wie die 2-opt-Methode.

Die Inter-Tour-Verfahren befassen sich mit solchen Operationen, die mehrere Touren gleichzeitig verändern. Die gegebenen Zuordnungen der Kunden zu Touren können damit modifiziert werden und zu Reihenfolgeverbesserungen und Toureneinsparungen führen. Durch die größere Anzahl der Kunden, die man gemeinsam betrachtet, bieten Inter-Tour-Verbesserungsverfahren generell mehr Tauschmöglichkeiten als TSP-Verfahren, sind aber sowohl bei der Rechenzeit als auch der Implementierung wesentlich aufwändiger.

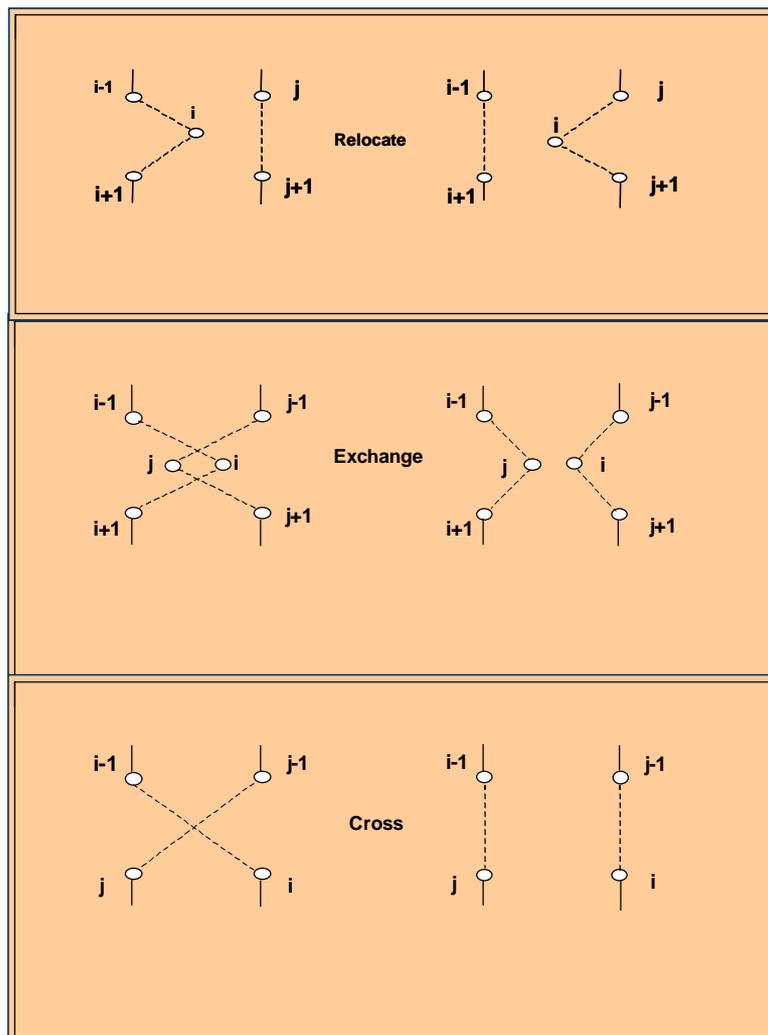


Abbildung 5 Inter-Tour-Optimierungsverfahren

Auch bei den Inter-Tour-Verfahren enthält die Literatur des VRP eine umfangreiche Reihe an Rechenschemata. Savelsbergh schlägt drei Austauschoperationen zwischen je zwei verschiedenen Touren vor (paarweise Betrachtung) [Savelsbergh 1988]: Relocate, Exchange und Cross. Die Prozedur *Relocate* entfernt einen Kunden i aus seiner aktuellen Tour T_1 und

fügt ihn an geeigneter Position, vor dem Kunden j , in die Tour T_2 ein ($T_1 \neq T_2$). In der Exchange-Operation tauschen die Kunden i aus T_1 und j aus T_2 ihre Plätze. Wenn $T_1=(0, \dots, i-1, i, \dots, n_1, n_1+1)$ und $T_2=(0, \dots, j-1, j, \dots, n_2, n_2+1)$ zwei Touren sind, versucht ein Cross-Tausch die Endabschnitte beider Touren zu vertauschen, sodass anschließend $T_1=(0, \dots, i-1, j, n_2, n_2+1)$ und $T_2=(0, \dots, j-1, i, \dots, n_1, n_1+1)$ entstehen (Abbildung 5).

3.1.2.2 Moderne Meta-Heuristiken

Die im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Verbesserungsverfahren führen zu einer lokalen Optimierung. Ihre Suchstrategie ist „blind“, d. h. die Generierung von neuen Lösungen hängt nur von der Entwicklung des Optimierungsvorgangs ab. Diese Algorithmen terminieren, falls keine weiteren Verbesserungen der vorgegebenen Zielfunktion erreichbar sind. Globale Optimierungsheuristiken versuchen lokale Optima zu verlassen, indem sie Verschlechterungen der Zielfunktion temporär in Kauf nehmen. Sie werden als Meta-Heuristiken bezeichnet [Gendreau et al. 2002], weil sie in einer Heuristik eingebettet sind, die den Suchvorgang steuert. Zu diesen Verfahren zählen u. a. Genetische Algorithmen [Kopfer 1992, Reinholz 1995], Simulated Annealing [Van Breedam 1994] und Neuronale Netze [Mundigl 1995]. Wir konzentrieren unsere Betrachtung im folgenden auf Tabu Search. Verschiedene empirische Untersuchungen belegen die Überlegenheit dieser Heuristik im Vergleich zu anderen Suchmethoden [Laporte et al. 2000, Van Breedam 2001].

Das Tabu-Search-Verfahren startet von einer existierenden Startsituation L_1 aus und erzeugt in jeder Iteration, ausgehend von einem aktuellen Punkt L_{akt} im Suchraum, die beste benachbarte Lösung L_{akt+1} . Dazu werden alle Lösungen L mit Zielfunktionswert $z(L)$ aus der Nachbarschaft von L_{akt} bestimmt und die beste ausgewählt, unabhängig davon, ob dadurch eine Verbesserung oder Verschlechterung des Zielfunktionswertes erzielt wird. Der Suchvorgang generiert neue Lösungen, indem er Nachbar-Operationen ausführt. Diese sind meistens Variationen der vorgestellten Kanten-Operationen (r -opt). Wie in anderen Meta-Heuristiken ist die Definition eines Abbruchkriteriums im Tabu Search nicht vorgegeben, typischerweise dauert der Suchprozess solange, bis eine maximale Anzahl von Iterationen erreicht ist. Um Zyklen zu vermeiden (Abbildung 6), speichert man die zuletzt besuchten Lösungen in einem Kurzzeit-Speicher (oder auch Tabu-Liste). Diese Bereiche des Suchraums sind für eine bestimmte Anzahl von Iterationen vorübergehend von der Analyse ausgeschlossen, also *Tabu*. Ausgenommen davon sind solche Lösungen, die ein sog. Aspirationskriterium erfüllen. Sie werden, auch wenn sie in der Tabu-Liste gespeichert sind, bei der Auswahl eines neuen Ausgangspunktes für die Suche berücksichtigt. Ein

Aspirationskriterium ist z. B. dann gegeben, wenn der Zielfunktionswert besser als der bisher bekannte bester Wert ist. Aspirationskriterien müssen so ausgewählt werden, dass sie Zyklen nicht zulassen oder zumindest vermeiden.

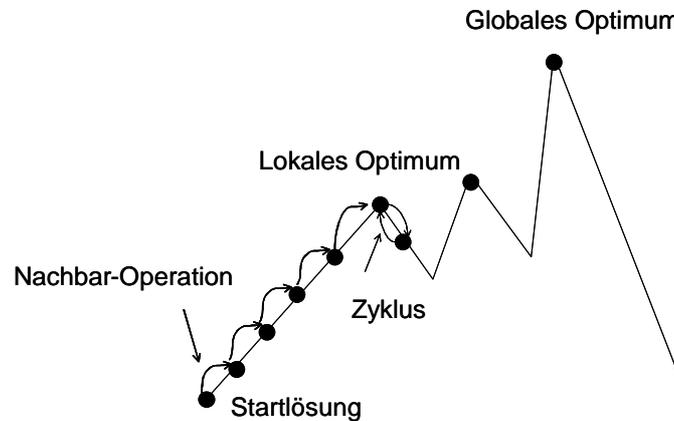


Abbildung 6 Entstehung von Zyklen

Der Rechenaufwand für Tabu Search hängt stark mit den Zugriffszeiten auf die Tabu-Liste zusammen. Es werden deshalb keine vollständigen Lösungen zwischengespeichert, sondern ausgewählte Merkmale. Die Identifizierung und Verwaltung dieser charakteristischen Eigenschaften eines verbotenen Übergangs stellt immer eine wesentliche Schwierigkeit bei der Implementierung von Tabu Search dar. Ein weiteres Problem bereitet die Festlegung der Tabu-List-Länge. Die Literatur bietet dazu ein breites Spektrum an Lösungsvorschlägen. Taillard schlägt beispielsweise vor, dass man die Länge der Tabu-Liste mithilfe von Verteilungsfunktionen bestimmt [Taillard 1991], Glover ändert die Länge der Liste deterministisch mit vorgegebenen Werten [Glover 1993]. Eine von Battiti und Tecchioni entwickelte Erweiterung des Standardverfahrensschemas ist das *Reactive Tabu Search* (RTS) [Battiti und Tecchioni 1994]. Es sieht eine dynamische Anpassung der Länge dieser Liste vor. Eine weitere Beschleunigung des Verfahrens wird dadurch realisiert, dass man die Tabu-Liste als Hash-Tabelle implementiert. Dies ermöglicht die Suche nach Wiederholungen in der Liste mit einem fast konstanten Aufwand.

Der Standardablauf von Tabu Search kann um verschiedene Verfeinerungen ergänzt werden. Wichtige Operationen in diesem Zusammenhang stellen Intensivierung (intensification) und Diversifikation (diversification) dar. Der erste Mechanismus führt zu einer Fokussierung der Suche in aussichtsreichen Regionen des Lösungsraums. Im Gegensatz dazu bedeutet Diversifikation einen Sprung zu anderen Gebieten, wenn nach einer vorgegebenen Anzahl von Iterationen keine Verbesserungen erzielt werden konnten. Dazu ist die Frequenz von

ausgewählten Bewegungen im Suchraum in einem langfristigen Zwischenspeicher zu halten. Bei der Suche nach einem bisher unerforschten Bereich müssen diese vermieden werden.

Start: Gegeben ist ein zulässiger Tourenplan x^* mit dem Zielfunktionswert z^*

Sei $x := x^*$ mit $z(x) = z^*$

Schritt $k=1, \dots, n$:

Suche alle Nachbarn $N(x)$

Wähle die beste Lösung $x' \in N(x)$ und berechne $z(x')$

Überprüfe die wiederholten Verschiebungen (x') in der Tabu-Liste

Wenn Verschiebung(x') **nicht** in der Tabu-Liste gefunden

Aktualisiere die aktuelle Lösung und ergänze die Tabu-Liste um Verschiebung (x')

Erfolgt keine Wiederholung nach mehreren Iterationen, **verkürze** die Tabu-Liste

Andernfalls

wenn (x') in der Tabu-Liste gefunden und das Aspirationskriterium erfüllt

Aktualisiere die aktuelle Lösung

Aktualisiere die Tabu-Liste

wenn (x') in der Tabu-Liste gefunden, das Aspirationskriterium jedoch **nicht** erfüllt

Führe Prozedur „Diversifikation“ aus

Solange die maximale Anzahl nicht erreicht ist

Abbildung 7 Ablauf des RTS-Verfahrens

4 Modellbildung und Implementierungsaspekte

Das VRP bietet eine allgemeine Formulierung. Erweiterungen sind notwendig, um Gegebenheiten in der Praxis zu modellieren. Damit man die entwickelten Verfahren wiederverwenden kann, wird zunächst ein Basismodell formuliert. Dies lässt sich je nach Anwendungsfall modifizieren und erweitern. In diesem Kapitel stellen wir ein Basismodell für Tourenplanungsaufgaben in B2B-Marktplätzen sowie die im Rahmen einer Fallstudie implementierten Verfahren vor.

4.1 Basismodell

Zur Einordnung von Tourenplanungsproblemen werden häufig Klassifizierungsschemata herangezogen [Stumpf 1998]. Die Ausprägungen sind Ausgangspunkt für die Definition des Basisproblems.

In Abbildung 8 sind ausgewählte Merkmale dargestellt, die zur Abgrenzung gegenüber anderen Problemen dienen.

Merkmale		Ausprägungen				
Aufträge	Standort	knotenorientiert		kantenorientiert		
	Daten	deterministisch		stochastisch		
	Art	ausliefern		einsammeln		
	Auftragsteilung	nicht teilbar		beliebig teilbar		
	Verträglichkeit	Auftrag-Auftrag		Auftrag-Fahrzeug		
	Planungs- horizont	eine Periode	mehrere gleiche Perioden		mehrere un- gleiche Perioden	unendlich große Perioden
	Belieferungs- frequenz	periodisch	teilperiodisch	aperiodisch	einmalig	
Fuhrpark	Standort	ein Depot		mehrere Depots		
	Struktur	homogen		heterogen		
	Größe	ein Fahrzeug	mehrere Fahrzeuge		unbeschränkt	
	Zeitliche Be- schränkung der Fahrer	keine		alle Fahrer	ein Teil der Fahrer	
Touren	Art	offen		geschlossen		
	Beschränkung	Tourdauer		Auftragszahl	Fahrstrecke	
	Zeitbezug	eine Periode		mehrere Perioden		
Netzwerk	Daten	symmetrisch		asymmetrisch		
	Art	Koordinatennetz		Straßennetz		
	Fahrzeiten	konstant		variabel		
Ziele	Minimierung	Kosten	Anzahl Fahrzeuge	Fahrzeit	Fahrstrecke	
	Maximierung	Auslastung		Lieferservice		

Abbildung 8 Eigenschaften des untersuchten Tourenplanungsproblems (in Anlehnung an [Stumpf 1998])

Da wir unsere Betrachtung auf das B2B-Szenario fokussieren, können wir uns auf knotenorientierte Probleme beschränken. Für die Warenverteilung in Industrie und Handel gilt fast ausschließlich dieser Fall. Zusätzlich zu den Einschränkungen im VRP, treffen wir folgende Annahmen:

1. Alle Sendungsdaten liegen zum Zeitpunkt der Planung vor. Dadurch lässt sich die Planung wesentlich erleichtern ohne die Praxisrelevanz des Modells zu beeinträchtigen.
2. Der eingesetzte Fuhrpark ist heterogen.
3. Es gibt eine maximale Tourdauer sowie eine maximale Anzahl von Abladestellen pro Tour.
4. Kunden in unterschiedlichen Handelszonen, bspw. innerhalb und außerhalb der EU, dürfen nicht in einer Tour bedient werden.
5. Der Planungshorizont umfasst mehrere Perioden. Dadurch lassen sich bessere Bündelungseffekte erreichen (vgl. Abschnitt 2).

Als Planungsziele gelten die folgenden, nach absteigender Priorität geordneten Kriterien:

1. Minimierung der Fahrstrecke und -zeit;
2. Maximierung der Auslastung;
3. Minimierung der Zollgrenz-Übergänge in einer Tour.

4.2 Fallstudie

Die ecenta AG (Nürnberg) hat im Januar 2001 einen vertikalen B2B-Marktplatz für Kunden aus der Möbelindustrie in Betrieb genommen. Über dieses System wickeln mehrere Hersteller von Großmöbeln (Polstermöbeln) in Südosteuropa sämtliche Geschäfte mit ihren in Deutschland ansässigen Agenturen ab. Alle Hersteller und Agenturen sind KMU. Außerdem stellt das System eine Schnittstelle zum Möbelhandel dar.

Vielen Herstellern in dem betrachteten Unternehmensnetzwerk fällt es schwer, ihre Waren rechtzeitig zuzustellen. Ein Produzent hat allein nur geringe Stückzahlen in eine Zielregion auszuliefern. Die Lieferzeiten lassen sich aber nicht beliebig strecken und die Maanfertigungen können auch nicht aus einem Zwischenlager entnommen werden. Es entstehen deshalb oft schlecht ausgelastete Transporte, was die Kosten im ganzen Wertschöpfungsnetzwerk in die Höhe treibt.

Das Ziel der Zusammenarbeit zwischen der ecenta AG und FORWIN ist es, die Möglichkeiten der Integration von Transportdienstleistungen in e-Marktplätze für Güter zu analysieren, Entwicklungspfade aufzuzeigen und die Potenziale des Integrationsansatzes unter Beweis zu stellen.

Die auf dem ecenta-Marktplatz durchgeführten Untersuchungen bezogen sich auf fünf ausländische Möbelhersteller und über 450 Möbelhändler in sieben Ländern. Die Lieferpläne müssen für jede Kalenderwoche neu erstellt werden. Die Logistikpartner, die für die Ausführung der Transportpläne zuständig sind, verfügen über verschiedene LKW-Typen mit unterschiedlichen Ladekapazitäten.

Die Hersteller teilen außerdem ein Zwischendepot für ihre jeweiligen Endprodukte. Die Transporte zwischen den einzelnen Fertigungsanlagen und diesem Lager waren bei der Tourenplanung nicht zu berücksichtigen.

4.2.3 Integration der Tourenplanung

4.2.3.1 Zwischenbetrieblicher Workflow

Ein grundlegendes Problem bei der Analyse von Lieferprozessen im elektronischen Handel besteht in der sequenziellen Betrachtung der Phasen einer Markttransaktion [Lejmi/Butterwegge 2002]. Der Versand wird – entkoppelt von der Informations- und der Vereinbarungsphase – erst dann organisiert, wenn ein Kaufvorgang abgeschlossen ist. Damit aber ein globales Optimum im Sinne des Supply Chain Management erreicht werden kann, ist zumindest eine virtuelle zentrale Planung erforderlich [Christopher 1999], deren Basis eine Übersicht über alle zwischenbetrieblichen Vorgänge bilden soll.

Für eine integrierte Vorgehensweise sprechen auch die gegenseitigen Einflüsse zwischen den Verkaufsaktivitäten und Distributionsprozessen. Der Preis eines Produktes hängt u. a. von der logistischen Konstellation ab. Die Transportplanung kann wesentlich verbessert werden, wenn eine Flexibilität bei der Terminierung von Lieferungen besteht, und ein Spielraum für die Abstimmung der Produktions- und Verkaufsprozesse gegeben ist.

Obwohl die Integration der Logistik in internetbasierte Handelsplattformen oft als technisches Problem wahrgenommen wird, stellen die Abstimmung der logistischen und kaufmännischen Prozesse sowie die Definition neuer zwischenbetrieblicher Vorgänge, welche EC-Technologien verwenden und es ermöglichen, neue Optimierungspotenziale zu nutzen, die größere Herausforderung in diesem Zusammenhang dar.

Bei dem in der Fallstudie betrachteten Unternehmensnetzwerk werden die Polstermöbel in Einzelfertigung produziert. Die vom Hersteller bei der Auftragsbestätigung festgelegten Liefertermine lassen sich bei der Lieferplanung um bis zu einer Woche anpassen. Eine zentrale logistische Abwicklung kann von dieser Flexibilität profitieren. Sollte beispielsweise ein LKW ein bestimmtes Mindestladevolumen erreichen müssen, so kann man durch die Vorverlegung der Fertigung eines Auftrages aus einer späteren Lieferperiode diesem Ziel näher kommen.

Um die Zusammenarbeit im Wertschöpfungsnetzwerk besser zu koordinieren, wurde ein neuer zwischenbetrieblicher Workflow entworfen, der in Abbildung 9 skizziert ist. Die Tourenplanung ist vor der Produktionsfreigabe eingeschaltet. Die bei der Transportoptimierung berechneten Liefertermine gelten als Vorgabe für die Fertigung.

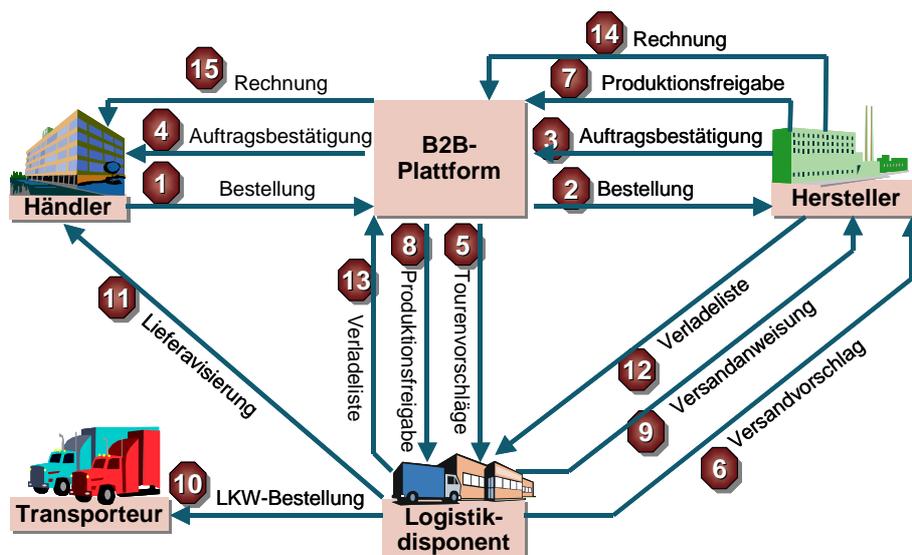


Abbildung 9 Zwischenbetrieblicher Workflow

4.2.3.2 Technische Realisierung

Die Tourenplanungsfunktionalität wurde in einem sog. Transport-Server gekapselt. In diesem sind die Optimierungsalgorithmen enthalten. Dadurch ist die Wiederverwendbarkeit der implementierten Verfahren für andere Anwendungsszenarios gewährleistet. Als Input bekommt die Planungskomponente die Daten offener Aufträge, also solcher, deren Produktion vom Hersteller bestätigt wurde, die aber nach keinem abgeschlossenen Transportauftrag zugeordnet sind (Schritt 5 in Abbildung 9). Nachdem der Transport-Server die Optimierung durchgeführt hat, liefert er als Ergebnis einen Tourenplan zurück. Die Extraktion der Auftragsdaten aus der Datenbank sowie die Speicherung der Tourendaten übernimmt ein Client, der mit dem Marktplatz eng verzahnt ist, und der einmal täglich den Server startet. Abbildung 10 skizziert die Systemarchitektur.

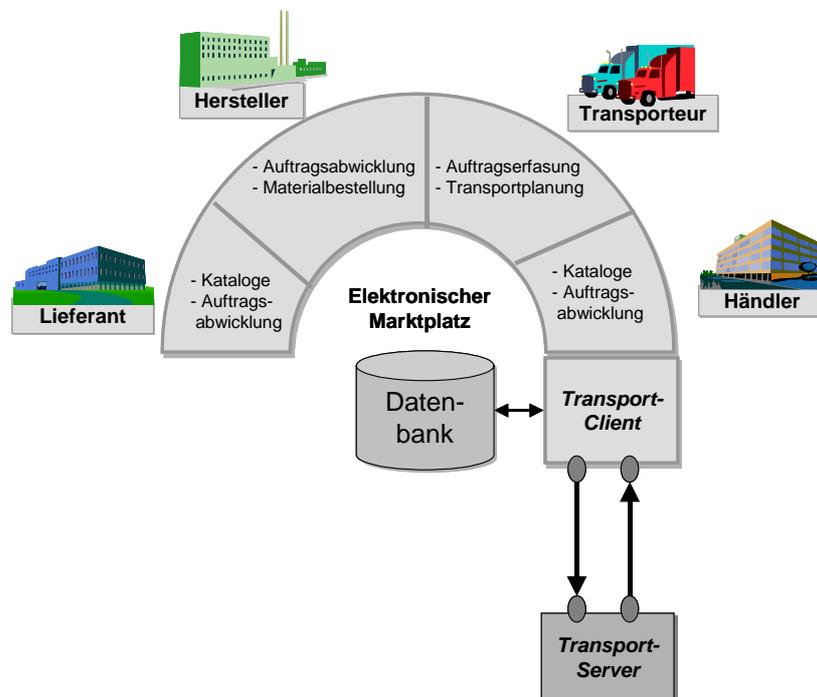


Abbildung 10 Systemarchitektur

Die Berechnung der Tourenpläne findet in drei Stufen statt. Die Zuordnung von Lieferaufträgen zu Perioden ist in einer Datenaufbereitungsphase implementiert, in der auch Aufträge benachbarter Kunden zusammengefasst werden. Um sicherzustellen, dass man Kunden in unterschiedlichen Handelszonen nicht in einer Tour beliefert, bündelt der im Transport-Client implementierte Algorithmus die Aufträge in jedem der im System vordefinierten Liefergebiete und startet ein neues Optimierungsverfahren. In einem dritten Schritt werden die gebündelten Aufträge wieder zerlegt und die Lieferkosten für jeden einzelnen Auftrag ermittelt.

Nur die Optimierung findet mithilfe des Servers statt. Sowohl die Teilprozesse in der ersten als auch der dritten Phase führt der Client aus.

4.2.4 Implementierte Lösungsverfahren

Zur Umsetzung der ausgewählten Algorithmen mussten weitere Annahmen getroffen werden. Da keine Erfahrungswerte für die Fahrzeiten vorlagen, wurden diese als linear zu den Fahrstrecken angenommen. Die Kostenfunktion, die dem Tourenbildungsverfahren zugrunde liegt, setzt die Entfernung zwischen den Abladestellen als Vergleichskriterium ein. Eine kommerzielle geografische Datenbank liefert die dazu benötigten Daten. Bei Zulässigkeits-tests der Touren achtet das Savings-Verfahren auf die Kapazitätsrestriktionen der verfügbaren LKW.

4.2.4.1 Anwendung des Savings-Algorithmus

Die Leistung des Savings-Algorithmus hängt hauptsächlich vom Aufwand für das Berechnen, Sortieren und Speichern der Savings-Werte ab [De Jong et al. 1996]. Durch die Einführung eines Schrankenfaktors lässt sich ihre Anzahl vermindern. So werden bei der Bildung nur Paare von Entladeorten berücksichtigt, deren Abstand voneinander kleiner ist als das Produkt des eingeführten Faktors mit dem Abstand des Depots zur entferntesten Abladestelle. Diese Methode wurde von Paessens [Paessens 1981] vorgeschlagen. Der Schrankenfaktor variiert in dem implementierten Verfahren je nach Problemgröße zwischen 0,3 und 0,8. Bei einer kleineren Anzahl von Abladestellen können nach dieser Vorgehensweise mehr Werte berücksichtigt werden.

<p>Input: zulässiger Tourenplan P</p> <p>Verbesserungsverfahren:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Verbesserung der Auslastung (2) Intra-Tour: <i>2-opt</i>, <i>Or-opt</i> (3) Inter-Tour: <i>Relocate</i>, <i>Exchange</i>, <i>Cross</i> (4) falls Verbesserung durch (3): gehe zu (2) <p>Output: nachoptimierter Tourenplan P</p>
--

Tabelle 1 Schematischer Ablauf des ersten Optimierungsverfahrens

4.2.4.2 Anwendung des Tabu Search

Es wurde die RTS-Variante implementiert. Um die verschiedenen Optimierungskriterien berücksichtigen zu können, war es notwendig, eine zweistufige Zielfunktion zu definieren [Rivai 2001]. Man unterscheidet zuerst zwischen zulässigen und unzulässigen Touren:

Fahrten sind unzulässig, wenn die Kapazität der Fahrzeuge überschritten wird oder wenn es kein Fahrzeug gibt, das die Tour durchführen kann. Auf einer zweiten Ebene werden die erwähnten Ziele der Optimierung aufgrund der Priorität, die ihnen beim Eingang der Bestellung auf dem Marktplatz zugeordnet wurde, unterschiedlich gewichtet, um Touren zu vergleichen. Die Bewertungskriterien setzen sich aus der Fahrstrecke, der Auslastung des Fuhrparks sowie den notwendigen Grenzübergängen zusammen. Für den Vergleich der Kriterien ist ein „Straf-System“ (Penalties) notwendig. Für jedes Kriterium berechnet das Verfahren Maluspunkte, um z. B. eine Übernachtung oder eine längere Strecke zu kalkulieren. Die Strafen für Überkapazität müssen am Ende null betragen, die weiteren „Penalties“ gilt es zu minimieren.

Unsere Untersuchungen ergaben, dass die Ergebnisse vom Tabu Search sich mithilfe einer guten Anfangslösung erheblich verbessern lassen [Rivai 2001]. Ein vorgeschaltetes Durchlaufen eines Savings-Algorithmus liefert deshalb den Ausgangspunkt für die Suche.

4.2.4.3 Anwendung eines CFRS-Verfahrens

Zusätzlich zu den beiden Verfahren aus der Literatur wurde eine Methode entwickelt, die sich hinsichtlich der Grundidee der CFRS-Verfahrensfamilie zuordnen lässt. Die Konzeption basiert jedoch weitgehend auf den Erfahrungen aus dem Praxisbeispiel.

Die Abrechnung der Transportdienstleistungen erfolgt im betrachteten Unternehmensnetzwerk auf der Basis eines vereinbarten Preismodells, in dem die Kosten einer Tour von drei Faktoren abhängen: Dem Aufladevolumen, einem davon abhängigen Rabatt und einem Kostensatz, der sich nach der Lieferzone richtet. Eine Lieferzone ist ein zusammenhängender Teil des gesamten Liefergebiets, innerhalb dessen alle Abladestellen gleich berechnet werden. Für alle Teilstrecken in einer Tour gilt stets der Satz der teuersten berührten Zone. Dementsprechend muss ein Tourenplanungsverfahren, mit dem man primär die Senkung der Transportkosten verfolgt verhindern, dass Kunden in den billigen Lieferregionen mit anderen kombiniert werden, für die eine höhere Preisstufe gilt.

Die Analyse der Planungsdaten im Anwendungsfall hat ergeben, dass man Transportgebiete abgrenzen kann, in denen in jeder Planungsperiode (Kalenderwoche) eine Anzahl von Aufträgen anfällt, die kleiner ist als die vorgegebene maximale Zahl von Abladestellen pro Tour. Die festgelegten Ziele der Optimierung, vor allem die Erhöhung der Auslastung des Fuhrparks, lassen sich durch eine Kombination der in benachbarten Regionen durchzuführenden Lieferungen erreichen. Abbildung 11 zeigt die definierten Zonen.

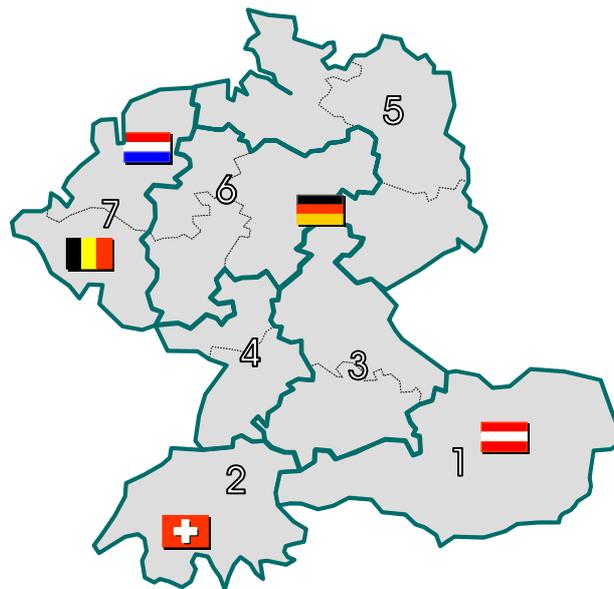


Abbildung 11 Definierte Lieferregionen

Der implementierte Algorithmus besteht aus drei Abschnitten. Er ordnet jedem Auftragsbündel aus der Datenaufbereitungsphase (vgl. Abschnitt 4.2.1) eine Lieferregion zu. Die so erhaltenen Kundenmengen bilden Touren, welche zusammen eine Anfangslösung darstellen. Dieser Teil des Programms entspricht der Cluster-Phase in einem CFRS-Verfahren. Die so definierten Rundreisen (Abbildung 12 links) werden in einem zweiten Schritt iterativ entweder bei Überschreitung der maximalen Zahl der Abladestellen pro Tour zerlegt oder nach einer vorgegebenen Reihenfolge kombiniert, um die Fahrstrecke zu minimieren und eine bessere Auslastung der LKW zu erreichen. Der dritte Abschnitt entspricht der Route-Phase im CFRS und setzt Intra-Tourverfahren ein, um die Fahrstrecke zu optimieren.

Neben seiner besseren Eignung für die Fallstudie zeichnet sich das CFRS-Verfahren durch die kürzeren Rechenzeiten aus, auch bei größeren Probleminstanzen. Dadurch wird beispielsweise eine interaktive Planung am Marktplatz, bei der ein Disponent dynamisch die maschinell erstellten Tourenvorschläge ändert, möglich. Auf der anderen Seite müssen die Prämissen für eine eventuelle Übertragung auf andere Fälle im Gegensatz zu den beiden ersten Methoden neu untersucht werden.

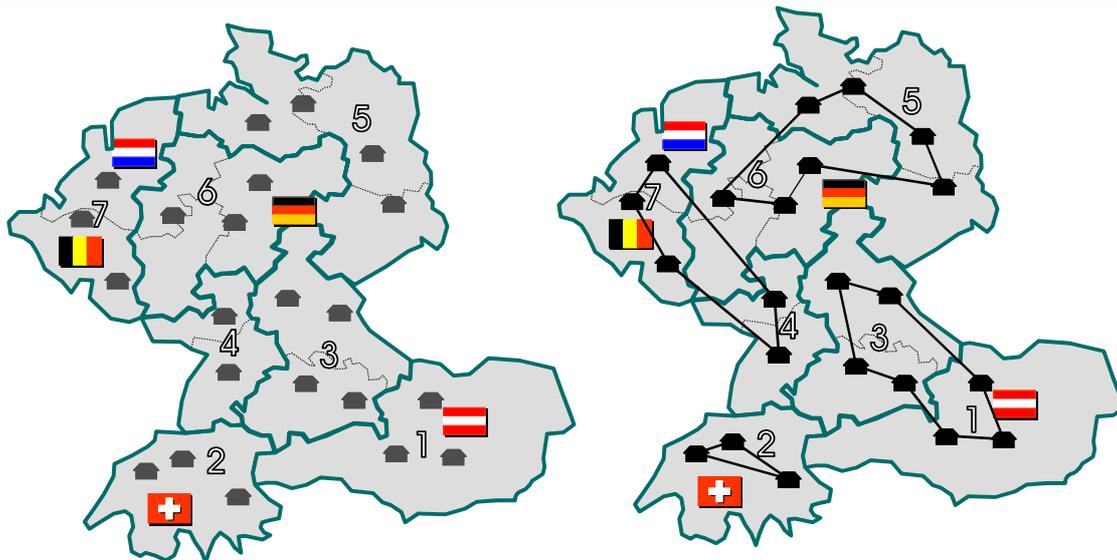


Abbildung 12 Beispielszenario für die Kombination von Touren

4.2.5 Verfahrensvergleich und Bewertung

Die Savings- und Tabu-Search-Verfahren wurden anhand von simulierten Lieferplänen auf der Plattform miteinander verglichen [Rivai 2001]. Die Experimente lassen vor allem bei der Minimierung der Fahrstrecke Vorteile für den ersten Algorithmus erkennen. Tabelle 2 gibt einen Vergleich der Ergebnisse bei unterschiedlichen Problemgrößen wieder.

Weiterhin ist festzustellen, dass das Tabu-Search-Verfahren eine größere Flexibilität bei der Berücksichtigung komplexer Zusammenhänge bietet. In der Literatur wird angezweifelt, ob sich die Savings-Methode beispielsweise für Probleme mit Zeitfenstern eignet [Gietz 1994]. Solche Kriterien können nur durch Zulässigkeitstests berücksichtigt werden.

Anzahl der Kunden	Entfernung (km)		Auslastung (%)	
	Saving	Tabu Search	Saving	Tabu Search
10	2389	2267	96.67	70.89
25	3983	4391	86.03	95.09
40	5407	5624	91.47	91.47
50	6788	6738	93.57	90.34
60	6535	8091	95.94	95.94
75	7450	8023	94.38	84.70
100	8116	8294	98.12	91.11
125	9332	10338	89.18	83.19
150	10463	11034	93.08	93.08
175	11682	10763	89.39	95.77

Tabelle 2 Verfahrensvergleich

Der Algorithmus aus der CFRS-Verfahrensfamilie wurde mit dem implementierten Savings-Verfahren anhand von Beispieldaten aus dem Praxisfall verglichen. Dabei wurden die

Auftragsdaten von 15 Kalenderwochen betrachtet. Die Ergebnisse der Bewertung sind in Tabelle 3 dargestellt.

Der Vergleich zeigt Vorteile für den klassischen Algorithmus bei der Minimierung der Fahrstrecke. Trotzdem bringt das entwickelte CFRS-Verfahren mehr Kosteneinsparungen.

Kalenderwoche	Entfernung (km)		Auslastung (%)		Kosten/ (Euro)	
	Saving	CFRS	Saving	CFRS	Saving	CFRS
1	6364	7861	78,21	86,00	6046	5758
2	9668	9648	77,46	73,33	4512	4350
3	7469	8165	96,31	96,31	6726	6506
4	9963	10232	96,90	75,37	4078	4056
5	2500	3479	75,00	75,00	1014	1014
6	5310	5378	76,67	76,67	2251	2446
7	6065	7452	68,94	84,26	4380	4165
8	13213	14329	74,06	81,72	6680	6604
9	6641	7773	93,10	72,41	3862	3921
10	9745	10754	92,78	92,78	3191	3225
11	5196	6090	86,67	74,29	4398	4312
12	14420	16688	76,76	83,96	7211	7123
13	5206	7357	90,93	90,93	4564	4269
14	9646	10820	79,40	88,93	5879	5915
15	9632	11974	83,33	73,33	5187	5292
Durchschnitt	8070	9200	82,27	82,81	4665	4597

Tabelle 3 Verfahrensvergleich

5 Zusammenfassung und Ausblick

Das in diesem Bericht vorgestellte Konzept konnten wir im Anwendungsfall erfolgreich umsetzen. Die Tourenplanung hat sich für den Einsatz in der Praxis bewährt und realisiert erhebliche Nutzeffekte für die Marktplatztteilnehmer. Die beschriebene Vorgehensweise bietet zahlreiche Vorteile. Sie bündelt die Lieferungen unterschiedlicher Zulieferer und Abnehmer, optimiert die Lieferpläne über mehrere Perioden und ermöglicht die Abstimmung der Produktions- und Lieferprozesse, sodass die Transportkosten minimiert werden [Lejmi und Butterwegge 2002]. Ein entscheidender Vorteil besteht weiterhin in der Einführung innovativer EC-Technologien in Netzwerken von KMU. Während die großen LDL in der Lage sind, zeitgerechte Lösungen für ihre Kunden zu konzipieren und umzusetzen, müssen sich die kleineren Unternehmen oft mit einfachen Lösungen zufrieden geben, die zwar kostengünstig scheinen, aber nicht ausreichend sind, um alle Verbesserungspotenziale zu nutzen.

In Hinsicht auf das Tourenplanungsproblem hat sich gezeigt, dass nicht alle praktischen Probleme im e-Business in der Literatur bearbeitet sind. Bei wichtigen Nebenbedingungen, insbesondere des grenzüberschreitenden Verkehrs und der simultanen Planung mehrerer Lieferperioden, besteht weiterhin Forschungsbedarf.

Als wichtige Frage gilt es in künftigen Forschungsarbeiten zu beantworten, in wieweit der vorgeschlagene Integrationsansatz sich auf andere Situationen übertragen lässt. Nicht nur im B2B-, sondern auch im B2C-Bereich sind Szenarios denkbar, bei denen eine Bündelung und Optimierung „on-site“ Erfolge verspricht. Eine Analyse der auf die Integration wirkenden Einflussfaktoren soll dabei helfen, die Grenzen des Konzepts zu sehen und ist Gegenstand aktueller Untersuchungen.

Literaturverzeichnis

- Battiti R. und Tecchhiolli G. (1994).** The Reactive Tabu Search. In: ORSA Journal on Computing 2 (1994), S. 126-140.
- CargEx (2002).** T-Mart integriert Logistikdienste von CargEx, Pressemitteilung (03.05.2002). <http://www.CargEx.de>, Abruf am 2002-11-27.
- Carstensen T. (2001).** Integration von Logistik als Erfolgsfaktor für Elektronische B2B-Marktplätze und Portale. In: Logistik Management (Sebastian H.-J. und Grünert T. Hrsg.), S. 161-171.
- Clarke G. and Wright J.W. (1964).** Scheduling Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. Operations Research 12 (1964), S. 568-581.
- De Jong C. et al. (1996).** Efficient implementation of the Savings method for the vehicle routing problem with time windows. Manuscript, Department of Computer Science, Utrecht University.
- Domschke W. (1990).** Logistik: Rundreisen und Touren, München, Wien, Oldenbourg, 1990.
- Eddelbüttel J. (1997).** Exakte Verfahren für das symmetrische Standardproblem der Tourenplanung. Hamburg 1997.
- Gaskell T. (1967).** Bases for vehicle fleet scheduling. Operational Research Quarterly 18 (1967), S. 281-295.
- Gendreau et al. (2002).** Metaheuristics for the Capacitated VRP. In: The Vehicle Routing Problem (Toth P. and Vigo D. Hrsg.), S. 129-154.
- Gietz M. (1994).** Computergestützte Tourenplanung mit zeitkritischen Restriktionen. Heidelberg 1994.
- Glover F. (1993).** A User Guide to Tabu Search. In: Annals of Operation Research 41 (1993), S. 12-37.
- Hintlian J. T. et al. (2001).** E-Fulfillment Challenge – The Holy Grail of B2C and B2B E-Commerce. In: Achieving Supply Chain Excellency Through Technology (ASCET) 3 (2001), S. 270-274.
- Hoffmann C. P. und Lindemann M. A. (1998).** Logistik und Electronic Commerce – LogEC: Arbeitsbericht. Universität St. Gallen – Hochschule für Wirtschafts- Rechts und Sozialwissenschaften (HSG), Institut für Medien und Kommunikationsmanagement (Hrsg.). St. Gallen: mcm inst. 1998.

- Klaus P. (1999).** Neue Transport- und Logistikmärkte in Europa – Für mittelgroße Unternehmen wird es eng. In: TRANSPORT'99 – EINE SONDERBEILAGE DER DEUTSCHEN VERKEHRSZEITUNG (DVZ) 68 (1999), S. 13-15.
- Klose M. et al. (2000).** Logistics and Electronic Commerce – Concept for an E-hub for Logistics Services, Final Report LogEC III. Universität St. Gallen – Hochschule für Wirtschafts- Rechts und Sozialwissenschaften (HSG), Institut für Medien und Kommunikationsmanagement (Hrsg.). St. Gallen: mcm inst. 2000.
- Kopfer H. (1992).** Konzepte genetischer Algorithmen und ihre Anwendungen auf das Frachtoptimierungsproblem im gewerblichen Güterverkehr. In: OR Spektrum 14 (1992), S. 137-147.
- Laporte G. et al. (2000).** Classical and Modern Heuristic for the Vehicle Routing Problem. In: International Transaction in Operation Research 7 (2000), S. 285-300.
- Laporte G. und Semet F. (2002).** Classical Heuristics for the Capacitated VRP. In: The Vehicle Routing Problem (Toth P. and Vigo D. Hrsg), S. 109-128.
- Lejmi H. und Butterwegge G. (2002).** Güterlogistische Dispositionssysteme in Verbindung mit B2B-Marktplätzen – Konzept und praktisches Beispiel. In: WIRTSCHAFTSINFORMATIK 6 (2002), S. 535–544.
- Mundigl R. (1995).** Ansätze künstlicher neuronaler Netze und Lösung von Tourenplanungsproblemen. Frankfurt am Main 1995.
- Or I. (1976).** Traveling salesman-type combinatorial optimization problems and their relation to the logistics of regional blood banking. Ph.D. dissertation, Department of Industrial Engineering and Management Sciences, Northwestern University, Evanston.
- Paessens H. (1981).** Tourenplanung bei der regionalen Hausmüllentsorgung. Schriften des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft (Nr. 26), Universität Karlsruhe 1981.
- Paessens H. (1987).** Tourenplanung mit Tourmaster. München 1987, S. 3.
- Quadrem (2002).** eMarketplace Solution Demo. <http://www.quadrem.de>, Abruf am 2002-11-27.
- Reinholz A. (1995).** Genetische Algorithmen: Transportoptimierung und Tourenplanung für ein zentrales Auslieferungsdepot. In: Der GMD-Spiegel 2 (1995), S. 20-24.
- Rivai D. (2001).** Optimizing the Shipment of Small and Medium-Sized Enterprises via an Electronic Marketplace. Master Thesis, Universität Erlangen-Nürnberg 2001.
- Savelsbergh M. W. P. (1988).** Computer Aided Routing, Ph.D. thesis, Centre for Mathematics and Computer Science, Amsterdam.

Siebel L. (2001). E-Commerce – The Effect on Retail Chains and Traditional Trade Logistics. In: European Purchasing and Supply Chain Strategies (International Federation of Purchasing and Materials Management Hrsg.), S.121-124.

Simon H. (2001). E-Frontation. In: Managermagazin 9 (2001), S. 100-105.

Stumpf P. (1998). Tourenplanung im speditionellen Güterfernverkehr. Schriftenreihe der Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik (GVB), Band 39. Nürnberg 1998.

Taillard E. D. (1991). Robust Tabu Search for Quadratic Assignment Problem. In: Parallel Computing 17 (1991), S. 443-455.

Van Breedam A. (2001). Comparing Descent Heuristics and Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem. In: Computer and Operation Research 28 (2001), S. 289-315.

Van Breedam A. (1994). Improvement Heuristics for the Vehicle Routing Problem based on Simulated Annealing. In: European Journal on Operational Research 86 (1995), S. 480-490.

WWRE (2002). WorldWide Trade Logistics. <http://www.worldwideretailexchange.org>, Abruf am 2002-11-27.

Wallenburg C. M. et al. (2002). Aktuelle Trends in der Logistik unter dem Einfluss von E-Commerce. In: Modelle im E-Business (Dangelmaier et al. Hrsg.), S. 461-479.

Folgende FORWIN-Berichte sind bisher erschienen:

FWN-2000-001

Mertens, P.

FORWIN – Idee und Mission

E-Business * Supply Chain Management * Betriebliche Software-Bausteine

FWN-2000-002

Sinz, E. J.

Die Projekte im Bayerischen Forschungsverbund Wirtschaftsinformatik (FORWIN)

FWN-2000-003

Kaufmann, Th.

Marktplatz für Bausteine heterogener betrieblicher Anwendungssysteme

FWN-2000-004

Schaub, A., Zeier, A.

Eignung von Supply-Chain-Management-Software für unterschiedliche Betriebstypen und Branchen – untersucht am Beispiel des Produktions-Prozessmodells zum System SAP APO

FWN-2000-005

Friedrich, M.

Konzeption eines Componentware-basierten Supply-Chain-Management-Systems für kleine und mittlere Unternehmen

FWN-2000-006

Schmitzer, B.

Klassifikationsaspekte betriebswirtschaftlich orientierter Frameworks

FWN-2000-007

Zeier, A., Hauptmann, S.

Ein Beitrag zu einer Kern-Schalen-Architektur für Supply-Chain-Management (SCM)-Software, Teil I: Anforderungen an den Kern einer SCM-Software und deren Abdeckung in SAP APO 2.0/3.0

FWN-2000-008

Maier, M.

Bestandsaufnahme zu Jobbörsen im WWW

FWN-2000-009

Mantel, S., Knobloch, B.; Ruffer, T., Schissler, M., Schmitz, K., Ferstl, O. K., Sinz, E. J.
Analyse der Integrationspotenziale von Kommunikationsplattformen für verteilte Anwendungssysteme

FWN-2000-010

Franke, Th., Barbian, D.
Platform for Privacy Preferences Project (P3P) - Grundsätze, Struktur und Einsatzmöglichkeiten im Umfeld des "Franken-Mall"-Projekts

FWN-2000-011

Thome, R., Hennig, A., Ollmert, C.
Kategorisierung von eC-Geschäftsprozessen zur Identifikation geeigneter eC-Komponenten für die organisierte Integration

FWN-2001-001

Zeier, A., Hauptmann, S.
Ein Beitrag zu einer Kern-Schalen-Architektur für Supply-Chain-Management (SCM)-Software, Teil II: Anforderungen an die Schalen einer SCM-Software und deren Abdeckung in SAP APO 2.0/3.0

FWN-2001-002

Lohmann, M.
Die Informationsbank ICF – eine wissensbasierte Werkzeugsammlung für die Software-Anforderungsanalyse

FWN-2001-003

Hau, M.
Das DATEV-Komponenten-Repository - Ein Beitrag zu Marktplätzen für betriebswirtschaftliche Software-Bausteine

FWN-2001-004

Schoberth, Th.
Virtual Communities zur Unterstützung von Infomediären

FWN-2001-005

Kronewald, K., Menzel, G., Taumann, W., Maier, M.
Portal für bürgergerechte Dienstleistungen in der Sozialen Sicherheit

FWN-2001-006

Maier, M.

Strukturen und Prozesse im "Netzwerk für Arbeit"

FWN-2001-007

Maier, M., Gollitscher, M.

Überlegungen zum Skill-Matching-Modul eines Leitstands für den regionalen, zwischenbetrieblichen Personalaustausch

FWN-2001-008

Schissler, M.

Unterstützung von Kopplungsarchitekturen durch SAP R/3

FWN-2001-009

Göbel, Ch, Hocke, S.

Simulative Analyse interorganisatorischer Kopplungsdesigns

FWN-2001-010

Thome, R. Schütz, St., Zeißler, G.

Ermittlung betriebswirtschaftlicher Anforderungen zur Definition von Geschäftsprozessprofilen

FWN-2001-011

Mehlau, J.

Ist-Aufnahme von IT-Architekturen bei Finanzdienstleistern

FWN-2001-012

T Horstmann, R., Ottenschläger, S.

Internetstudie: Reisedienstleister

FWN-2001-013

Horstmann, R., Zeller, Th., Lejmi, H.

Anbindung von ERP-Systemen an Elektronische Marktplätze

FWN-2001-014

Robra-Bissantz, S., Weiser, B.

Ein Meta-Framework zur Identifizierung und Beschreibung von Push-Möglichkeiten im E-Commerce

FWN-2002-001

Wiesner, Th. .

Push-Konzepte im E-Commerce: State of the Art

FWN-2002-002

Zeier, A.

Identifikation und Analyse branchenspezifischer Faktoren für den Einsatz von Supply-Chain-Management-Software. Teil I: Grundlagen, Methodik und Kernanforderungen

FWN-2002-003

Zeier, A.

Identifikation und Analyse branchenspezifischer Faktoren für den Einsatz von Supply-Chain-Management-Software. Teil II: Betriebstypologische Branchensegmentierung

FWN-2002-004

Zeier, A.

Identifikation und Analyse branchenspezifischer Faktoren für den Einsatz von Supply-Chain-Management-Software. Teil III: Evaluation der betriebstypologischen Anforderungsprofile auf Basis des SCM-Kern-Schalen-Modells in der Praxis für die Branchen Elektronik, Automobil, Konsumgüter und Chemie/Pharma

FWN-2002-005

Zeier, A.

Identifikation und Analyse branchenspezifischer Faktoren für den Einsatz von Supply-Chain-Management-Software. Teil IV: Anwendungsbeispiel

FWN-2002-006

Weiser, B., Robra-Bissantz, S.

Eine kosten- und nutzenorientierte Typisierung von Push-Ansätzen im E-Commerce

FWN-2002-007

Robra-Bissantz, S., Weiser, B.; Schlenker, C.

Push-Konzepte im CRM von Finanzdienstleistungsbetrieben

FWN-2002-008

Eckert, S., Mehla, J., Mantel, S., Schissler, M., Zeller, T.

Sichere Kopplung von ERP-Systemen und elektronischen Marktplätzen

FWN-2002-009

Mantel, S., Eckert, S., Schissler, M., Ferstl, O. K., Sinz, E. J.

Entwicklungsmethodik für überbetriebliche Kopplungsarchitekturen von Anwendungssystemen

FWN-2002-010

Mehlau, J. I.

Sicherheitsmuster im Kontext der Anwendungssystemkopplung

FWN-2002-011

Lejmi, H.; Zeller, A.

Einsatz des Kooperativen Planens in B2B-Abwicklungsplattformen – Konzept und praktisches Beispiel

FWN-2002-012

Mautner, R.; Thome, R..

Einsatz von Produktkonfiguratoren

FWN-2002-013

Voigtmann, P.; Zeller, Th.

Enterprise Application Integration und B2B Integration im Kontext von Electronic Business und Elektronischen Marktplätzen. Teil I: Grundlagen und Anforderungen

FWN-2002-014

Eisenhauer, R.; Robra-Bissantz, S.; Schoberth, Th.; Weiser, B.

Communities zur Unterstützung von Push-Konzepten im E-Commerce

FWN-2003-001

Zeller, Th.

Enterprise Application Integration und B2B Integration im Kontext von Electronic Business und Elektronischen Marktplätzen. Teil II: Integrationssysteme und Fallbespiele

FWN-2003-002

Zeller, A.

Controlling von Unternehmensnetzwerken: Bestandsaufnahme und Lückenanalyse

FWN-2003-003

Robra-Bissantz, S.; Schneider, U.; Weiser, B.

Konzeption von Push-Aktivitäten auf einem elektronischen Marktplatz für Produktionsmaschinen

FWN-2003-004

Lehmann, H.; Lehner, F

Is there a 'Killer Application' in Mobile Technology? A Tailored Research Approach

FWN-2003-005

Berger, S.; Lehner, F.

Intra- und interorganisationale Kooperation - Unterstützung der Prozess- und Systemkopplung durch mobile Technologien

FWN-2003-006

Lejmi, H.

Ein Beitrag zur Integration der Tourenplanung auf e-Marktplätzen am Beispiel einer Abwicklungs-Plattform in der Möbelindustrie