

MAGISTERARBEIT

Titel der Magisterarbeit

„Fallbeispiele zur Tourenplanung mit Hilfe spezieller
Tourenplanungssoftware am Beispiel eines Grazer
Kleinunternehmens“

Verfasser

Bernhard Wurzer

angestrebter akademischer Grad

**Magister der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften
(Mag. rer. soc. oec.)**

Wien, im August 2010

Studienkennzahl lt. Studienblatt:
Studienrichtung lt. Studienblatt:
Betreuer / Betreuerin:

A 066 915
Betriebswirtschaft
o. Univ.-Prof. Dipl.- Ing. Dr. Richard F. Hartl

*Für meine Familie,
die mich immer unterstützt hat.*

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
I	THEORIE	5
2	TRANSPORT- UND TOURENPLANUNG	5
2.1	Graphentheoretische Grundlagen	6
2.2	Traveling Salesman Problem (TSP)	7
2.3	Vehicle Routing Problems (VRP)	9
2.3.1	Das Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)	11
2.3.2	Das Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP)	11
2.3.3	Das Vehicle Routing Problem with Backhauls (VRPB)	12
2.3.4	Das Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)	12
2.3.5	Das Consistent Vehicle Routing Problem (ConVRP)	14
3	METHODEN ZUR LÖSUNG VON TRANSPORT- UND TOURENPLANUNG	15
3.1	Exakte Verfahren	17
3.1.1	Die Cutting Plane Methode	17
3.1.2	Die Branch-and-Bound Methode	18
3.2	Heuristiken	19
3.2.1	Die Savings-Heuristik	20
3.2.2	Sweep Algorithmus	21
3.3	Metaheuristiken	22
4	COMPUTERGESTÜTZTE PLANUNGSSOFTWARE	24
II	PRAXIS	27
5	TRANSPORTLOGISTIKANALYSE DER OFFICE GMBH	27
5.1	Vorstellung des Unternehmens	27
5.2	Deskriptive Analyse der aktuellen Transportlogistik und Tourenplanung	28

5.2.1	Auftragslage und Tourenplanung	28
5.2.2	Lager/Depots	28
5.2.3	Fuhrpark	29
5.2.4	Kunden	29
5.3	Quantitative Analyse mittels Fahrtenbuchauswertung	29
6	FALLBEISPIELE ZUR SOFTWAREUNTERSTÜTZTEN TOURENPLANUNG	35
6.1	<i>TransIT</i>: Standard-Software für Tourenplanung	35
6.1.1	Vorstellung der Software	35
6.1.2	Nutzen durch die Software	37
6.1.3	Aufbau der Software	38
6.1.4	Aufnahme der Stammdaten	39
6.1.5	Aufnahme der Auftragsdaten	46
6.1.6	Planung	51
6.1.7	Auswertung	52
6.2	Manuelle Tourenplanung: Implementierung der Ist-Situation	54
6.2.1	Auswertung	54
6.2.2	Fazit	55
6.3	Optimierte Tourenplanung: Vorstellung der Fallbeispiele	56
6.3.1	Szenario 1 – Tagesplanung	61
6.3.2	Szenario 2 – Mehrtagesplanung	64
6.3.3	Szenario 3 – Ein-Tages-Planung mit variabler Auftragslage	67
6.4	Optimierte Tourenplanung: Auswertung/Ergebnisse	70
6.4.1	Szenario 1 – Tagesplanung	70
6.4.2	Szenario 2 – Mehrtagesplanung	83
6.4.3	Szenario 3 – Ein-Tages-Planung mit variabler Auftragslage	86
7	SCHLUSSWORT	107
8	LITERATURVERZEICHNIS	110
9	ANHANG	VII

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1. Einteilung Transportlogistik.....	2
Abbildung 2. Graphentransformation.....	6
Abbildung 3. Ungerichteter Graph	7
Abbildung 4. Gerichteter Graph	7
Abbildung 5. Rundreiseproblem.....	8
Abbildung 6. Tourenplanung.....	10
Abbildung 7. Polynomiales vs. exponentielles Wachstum	17
Abbildung 8. Das Savings-Prinzip	20
Abbildung 9. Objektdialog "Fahrzeugtyp"	40
Abbildung 10. Objektdialog "Fahrzeug"	44
Abbildung 11. Objektdialog "Auftrag"	47
Abbildung 12. Beispiel Auswertung: Graphik	53
Abbildung 13. Beispiel Auswertung: Gantt Diagramm	53
Abbildung 14. Fall 3.1	90
Abbildung 15. Fall 3.2.....	92
Abbildung 16. Fall 3.3.....	94
Abbildung 17. Fall 3.4.....	95
Abbildung 18. Fall 3.5.....	97

Abbildung 19. Fall 3.6.....	99
Abbildung 20. Fall 3.7.....	100
Abbildung 21. Fall 3.8.....	102
Abbildung 22. Fall 3.9.....	104

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1. Funktionen rechnergestützter Tourenplanungssysteme.....	25
Tabelle 2. Aufträge Fahrtenbuch	31
Tabelle 3. Fahrtenbuchauswertung.....	33
Tabelle 4. Stammdaten „Lenkzeiten“	41
Tabelle 5. Stammdaten „Zeiten“	42
Tabelle 6. Stammdaten „Fahrzeugkapazität“	42
Tabelle 7. Stammdaten „Geschwindigkeitsprofil“	43
Tabelle 8. Stammdaten „Fahrzeuge“	45
Tabelle 9. Stammdaten „Depot“	45
Tabelle 10. Importspalten eines Auftragsdatensatzes.....	49
Tabelle 11. Auswertung der manuellen Tourenplanung	54
Tabelle 12. Übersicht Fallbeispiele	58
Tabelle 13. Szenario 2: Zeitrahmen.....	65
Tabelle 14. Szenario 2: Kundenset + Frequenzen	66
Tabelle 15. Szenario 3: Fallbeispiele.....	67
Tabelle 16. Szenario 3: Fahrzeuge, Depots	68
Tabelle 17. Fall 1.1: Kostenanalyse.....	70
Tabelle 18. Fall 1.1: Auslastungsanalyse	71

Tabelle 19. Fall 1.1: Vergleichsanalyse.....	72
Tabelle 20. Fall 1.2: Kostenanalyse.....	73
Tabelle 21. Fall 1.2: Vergleichsanalyse.....	74
Tabelle 22. Fall 1.3: Kostenanalyse.....	75
Tabelle 23. Fall 1.3: Auslastungsanalyse	75
Tabelle 24. Fall 1.3: Vergleichsanalyse.....	76
Tabelle 25. Fall 1.4: Kostenanalyse.....	77
Tabelle 26. Fall 1.4: Vergleichsanalyse.....	78
Tabelle 27. Fall 1.5: Kostenanalyse.....	79
Tabelle 28. Fall 1.5: Vergleichsanalyse.....	80
Tabelle 29. Fall 1.6: Kostenanalyse.....	81
Tabelle 30. Fall 1.6: Vergleichsanalyse.....	82
Tabelle 31. Fall 2.1: Kosten- und Vergleichsanalyse	83
Tabelle 32. Szenario 3: Gesamtübersicht der Ergebnisse.....	86
Tabelle 33. Szenario 3: Planungszeit/Rechenzeit.....	88
Tabelle 34. Locations	VII

1 Einleitung

Das Thema Logistik spielt in vielen Unternehmen eine überaus wichtige Rolle, weshalb diesem Bereich große Beachtung geschenkt werden sollte. Dazu bedarf es gründlicher Planung und ausgezeichnetem Management. In der Literatur lassen sich eine Vielzahl an Definitionen des Begriffs Logistik finden, eine von *Jünemann* gewählte Betrachtungsweise beschreibt die Logistik als „die wissenschaftliche Lehre der Planung, Steuerung und Überwachung der Material-, Personen, Energie- und Informationsflüsse in Systemen“¹. Die Grundaufgabe der Logistik sei ein „*effizientes Bereitstellen* der geforderten *Mengen* benötigter *Objekte* in der richtigen *Zusammensetzung* zur rechten *Zeit* am richtigen *Ort*.“² Eine etwas engere Betrachtungsweise des Themas kommt von *Martin*, der den Begriff Transportlogistik verwendet. Er erklärt diese als „die ganzheitliche Betrachtungsweise aller für einen Transportvorgang notwendigen Arbeits- und Informationsweisen. [...] Die Transportlogistik ist auf das Ziel ausgerichtet, die Transporte bezüglich Beladung, Entladung, Auslastung, Übergabe sowie Identifizierung zu optimieren“³ Wie *Abbildung 1* zeigt, kann dabei das Zusammenwirken von administrativen Größen (z.B. Personalverwaltung, Transport, Fahrzeugverwaltung), dispositiven Größen (z.B. Transportstrategien, Transportsteuerung) sowie operativen Größen (z.B. Transporttechnik, Datenübertragungstechnik) verstanden werden.⁴

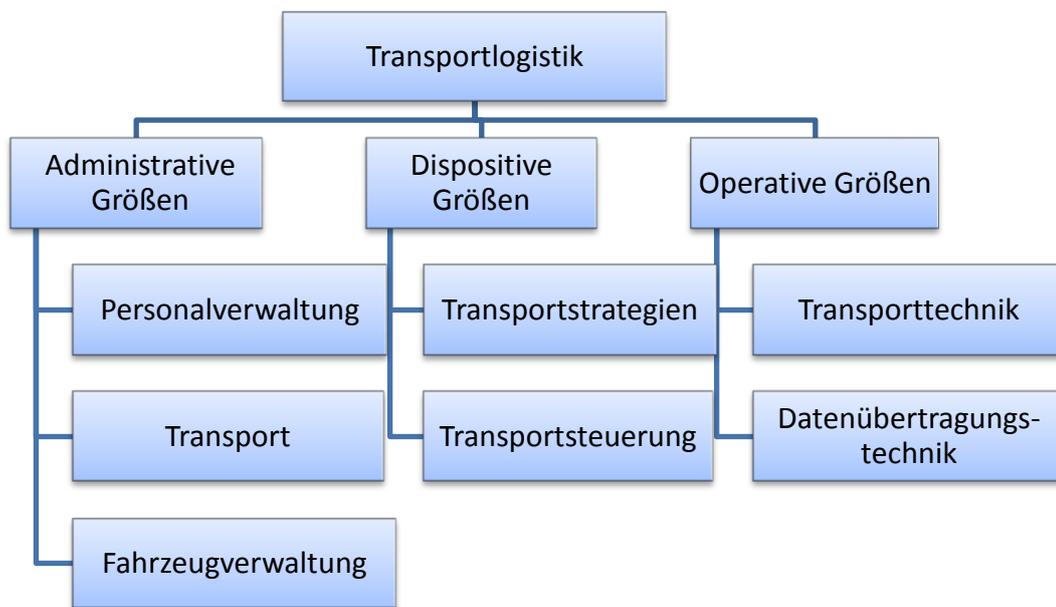
¹ Jünemann (1989), S. 11

² Geduhus (2007), S. 7

³ Martin (1995), S. 94

⁴ vgl. Martin (1995), S. 94

Abbildung 1. Einteilung Transportlogistik



Diese Arbeit konzentriert sich ausschließlich auf die Distributionslogistik bzw. Transportproblematik eines Unternehmens, welche sich unter die dispositiven Größen (Transportstrategien) eingliedern lassen. Es gibt eine Reihe möglicher Transportprobleme, die das Interesse vieler Wissenschaftler seit geraumer Zeit geweckt haben und die eine Vielzahl an Theorien und praxiserprobten Methoden mit sich brachten. Unter die Transportproblematik im weiteren Sinne können viele unterschiedliche Problemstellungen fallen. Als Basis vieler bekannter Lösungsmodelle im Bereich der Transportlogistik dienen die sogenannten graphentheoretischen Grundlagen (siehe *Kapitel 2.1*). Mit Hilfe dieser Überlegungen wird versucht, komplexe Zusammenhänge zu modellieren und vereinfacht darzustellen. Einige etablierte Modelle wie das *Minimum Spanning Tree Problem (MST)*, das *Shortest Path Problem (SPP)*, das *Traveling Salesman Problem (TSP)* sowie das *Vehicle Routing Problem* basieren auf jenen Theorien. Für eine nähere Erläuterung des *MST* und *SPP* sei auf die einschlägige Literatur verwiesen wie z.B. Domschke et al. (2006). Da das *TSP* und *VRP* die zentrale Grundlage für die Untersuchungen dieser Arbeit darstellen, wird auf diese Modelle in den weiteren Kapiteln näher eingegangen.

Die vielen Problematiken im Transportwesen sind schon lange bekannt, der Anwendungsbereich der Modelle ist daher äußerst vielfältig und reicht von der Planung regionaler Paketlieferungen über die Optimierung von Müllentsorgungsrouten in Städten bis hin zu Strategieplanungen multinationaler Gütertransporte. Gerade wirtschaftlich schwierige Zeiten wie die aktuellen aus den Jahren der globalen Wirtschaftskrise von 2008

bis 2010, aber auch die immer unvorhersehbarere Entwicklung des Ölpreises und die damit korrelierenden Änderungen der Spritpreise, erhöhen die Bedeutung einer optimalen Transportplanung enorm. Ein alternativer Anreiz für effiziente Tourenplanung kommt direkt aus der Bevölkerung. So kann es, auf Grund der wachsenden Sensibilität der Menschen bezüglich des Umweltverhaltens von Unternehmen, bzw. durch das generell stärker werdende Umweltbewusstsein der Konsumenten auf Grund des vielzitierten globalen Klimawandels, positive Auswirkungen auf die Kunden haben, sich als effizientes und damit „grünes“ Unternehmen zu präsentieren. Eine wichtige Rolle moderner Tourenplanung spielt dabei eine professionelle Tourenplanungssoftware. Diese ermöglicht es, auch komplexe Aufgabenstellungen zu bewältigen, um so einen optimalen Output zu erreichen.

Im Theorieteil dieser Arbeit werden die Grundlagen optimierter Tourenplanung vorgestellt. Dies soll ein besseres Verständnis der im Praxisteil der Arbeit eingesetzten Software und deren Optimierungsabläufe mit sich bringen. Es soll dabei ausdrücklich erwähnt sein, dass es sich hierbei nicht um eine vollständige Aufarbeitung aller in der Software verwendeten Methoden und Modelle handelt. Dies ist schon dadurch nicht möglich, da die Entwicklerfirma der Software, *GTS Systems und Consulting GmbH*, die in der Software integrierten Algorithmen nicht öffentlich preisgibt. Vielmehr wird hier ein genereller Überblick über ausgewählte Kapitel der Transport- und Tourenplanung gegeben, die dem Leser als Einführung in die Thematik dienen sollen. Zunächst wird in Kapitel 2.1 auf die graphentheoretischen Grundlagen eingegangen. Danach werden einige Transportproblematiken wie insbesondere das *TSP* und *VRP* mit einigen Variationen näher behandelt. Im Anschluss werden einige Lösungsansätze der vorgestellten Probleme präsentiert. Einerseits wird dabei auf die Verwendung exakter Verfahren hingewiesen (siehe *Kapitel 3.1*), andererseits auf die Verwendung von Heuristiken (siehe *Kapitel 3.2*) und Metaheuristiken (siehe *Kapitel 3.3*).

Die Problemstellung im Praxisteil dieser Arbeit beruht auf den Optimierungs- und Umstrukturierungsplänen eines Grazer Kleinunternehmens im Bereich seiner Transportlogistik. Beim Unternehmen handelt es sich um einen Bürobedarfszulieferer der über eine eigene Transportlogistik verfügt und für den Vertrieb seiner Waren selbst zuständig ist. Das Unternehmen (in Zukunft kurz *Office GmbH* genannt) setzte sich mit dem Autor dieser Arbeit in Verbindung, um gemeinsam die aktuelle Transport- und Tourenplanung im Unternehmen zu analysieren und zu optimieren. Als Hauptproblem

nannte das Unternehmen das unstrukturierte Vorgehen in der Planungsphase des Transportwesens. Die Tourenplanung erfolgt nahezu ausschließlich nach „Bauchgefühl“ – so obliegt es alleine dem zuständigen Fahrer nach Erhalt der Aufträge die Tourenplanung durchzuführen. Abgesehen vom hohen Zeitaufwand den der Fahrer hierfür benötigt, bedeutet diese Vorgehensweise auch Kontrollverlust seitens der Geschäftsführung. Vor allem aber wenn sich die momentan überschaubare Auftragslage vergrößern sollte, wird die bisherige Vorgehensweise nicht mehr bewältigbar sein. Um diesem Problem vorzubeugen, soll der Einsatz professioneller Planungssoftware getestet werden. Dadurch soll eine effektivere Tourenplanung ermöglicht werden, um so die Transportkosten zu minimieren. Durch den Einsatz der Software kann neben der Optimierung der aktuellen Tourenplanung auch eine Untersuchung hinsichtlich grundlegender Änderungen der Transportstrategie erfolgen. So sollen, ebenfalls mit Hilfe der Planungssoftware, mehrere mögliche Szenarien (wie beispielsweise die Erweiterung des Fuhrparks, ein zusätzliches Depot, etc.) simuliert und auf ihr Potenzial hin untersucht werden. Da es sich bei der *Office GmbH* um ein sehr kleines Unternehmen handelt (momentan besteht der Fuhrpark aus lediglich einem Fahrzeug), würde ein praktisches „Ausprobieren“ neuer Transportstrategien ein sehr hohes finanzielles Risiko darstellen. Mit Hilfe der Tourenplanungssoftware kann hier Abhilfe geschafft werden, indem eine risikolose Kostenanalyse durchgeführt wird. Wie groß die Vorteile sind bzw. ob überhaupt Vorteile durch den Einsatz der Software im Vergleich zur bisherigen Vorgehensweise erzielt werden können, zeigen die Ergebnisse der einzelnen Fallbeispiele.

I THEORIE

2 Transport- und Tourenplanung

In den folgenden Kapiteln soll ein Überblick über zwei Planungsprobleme aus dem Bereich der Überbrückung räumlicher Differenzen gegeben werden. Die Transport- und Tourenplanung behandelt vorwiegend Probleme, die bei der Versorgung regionaler Abnehmerzentren oder der Auslieferung der Produkte an einzelne Abnehmer auftreten.⁵ Generell handelt es sich bei den beiden Problemstellungen um die Disposition des Güterverkehrs, wobei die Zielsetzung die „Koordination der einkommenden und ausgehenden Gütermengen zur Ablaufsteuerung und zur Senkung der gesamten werksinternen und werksexternen Verkehrskosten bei Aufrechterhaltung eines hohen Servicegrades sowie kürzest möglicher Versandtermine und Transportzeiten unter konsequenter Nutzung aller Rationalisierungsmöglichkeiten der gesamten Abwicklungskette“⁶ ist.

Im Gegensatz zur Transportplanung, bei der festzulegen versucht wird, welcher Produktionsstandort welches Abnehmerzentrum mit welcher Menge des Produkts beliefern soll, besteht die Aufgabe der Tourenplanung darin, „für einen sehr kurzen Zeitraum (oftmals nur einen Tag) die verschiedenen Transportvorgänge mit dem Ziel der Fahrwegoptimierung aufeinander abzustimmen.“⁷ Primär unterscheidet man beim Distributionsvorgang zwischen Einzelbelieferungen (jeder Auftrag wird einzeln zum Bestimmungsort transportiert) und Gruppenbelieferungen (mehrere Aufträge werden zusammengefasst und ein Fahrzeug wird mit mehreren Sendungen für mehrere Abnehmer entsprechend der Fahrzeugkapazität beladen). Könnten alle Aufträge mit einer einzigen Fahrt abgefertigt werden, wäre also die Fahrzeugkapazität eines einzigen Fahrzeuges ausreichend groß dafür, spricht man von einem sogenannten Rundreiseproblem (siehe *Kapitel 2.2*). Ist dies nicht der Fall, d.h. können nicht alle Aufträge durch eine einzige Tour abgefertigt werden, entsteht ein Tourenplanungsproblem (siehe *Kapitel 2.3*).⁸

⁵ vgl. Günther et al. (2000), S. 274ff.

⁶ Schulten et al. (1984), S. 14

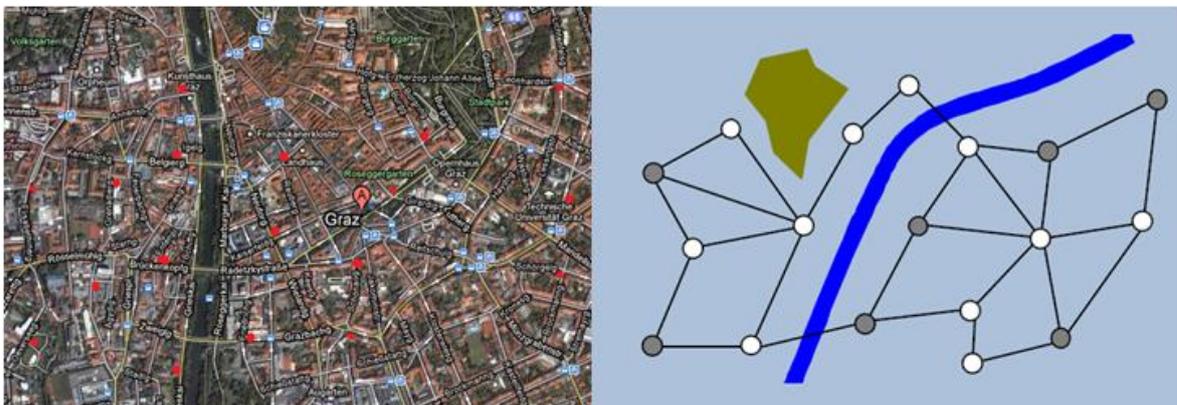
⁷ Günther et al. (2000), S. 281

⁸ vgl. Günther et al. (2000), S. 274ff.

2.1 Graphentheoretische Grundlagen

Um ein komplexes reales Phänomen wie den Gütertransport eines Unternehmens wissenschaftlich analysieren zu können, muss wie in vielen anderen Bereichen der Wissenschaft versucht werden, ein Abbild der Realität in Form von Modellen zu erschaffen. In der Transportlogistik wird als Ausgangspunkt oft auf die sogenannten *graphentheoretischen Grundlagen* zurückgegriffen. Dabei versucht man mittels Graphen reale Gegebenheiten (Standorte, Straßennetze, Schienennetze, etc.) nachzubilden und somit leichter erfassbar zu machen (siehe *Abbildung 2*).

Abbildung 2. Graphentransformation (Bild links: www.maps.google.at)



Ein Graph definiert sich dabei als eine nichtleere Knotenmenge V und einer Kanten- oder Pfeilmenge $E \subseteq V \times V$, bei der jedem Element aus E genau ein Knotenpaar i und j aus V zugeordnet wird. Man unterscheidet weiter zwischen sogenannten gerichteten (das jedem Element aus E zugewiesene Knotenpaar ist *geordnet*) und ungerichteten (das jedem Element aus E zugewiesene Knotenpaar ist *ungeordnet*) Graphen. Im Fall des gerichteten Graphen bezeichnet man die Elemente von E als Pfeile, im Fall des ungerichteten Graphen als Kanten. In der Praxis stellen die Kanten beispielsweise beidseitig befahrbare Straßen dar, die Pfeile jedoch Einbahnen. Ein Knoten repräsentiert üblicherweise einen Standort bzw. einen Kunden. Folgende Abbildungen sollen die beiden unterschiedlichen Graphenarten veranschaulichen.

Abbildung 3. Ungerichteter Graph (in Anlehnung an Domschke et al., 2006, S.65)

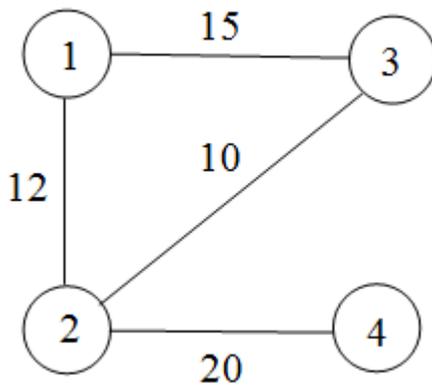


Abbildung 4. Gerichteter Graph (in Anlehnung an Domschke et al., 2006, S.65)

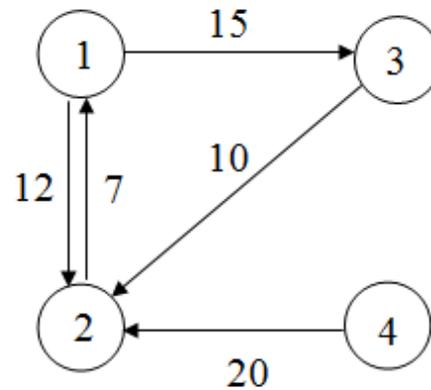


Abbildung 3 zeigt einen ungerichteten Graphen $G = [V, E]$ mit der Knotenmenge $V = \{1, 2, 3, 4\}$ und der Kantenmenge $E = \{[1,2], [1,3], [2,3], [2,4]\}$. Abbildung 4 zeigt einen gerichteten Graphen $G = (V, E)$ mit der Knotenmenge $V = \{1, 2, 3, 4\}$ und der Pfeilmenge $E = \{(1,2), (1,3), (2,1), (2,3), (4,2)\}$. Die Zahlen an den Kanten bzw. Pfeilen (c_{ij}) in den Abbildungen spiegeln die Transportkosten einer Mengeneinheit (ME) von i nach j (bzw. zwischen i und j) wider.⁹

2.2 Traveling Salesman Problem (TSP)

Das *Traveling Salesman Problem* (TSP, Rundreiseproblem, Problem des Handlungsreisenden) ist ein seit den 1930er Jahren bekanntes kombinatorisches Optimierungsproblem, mit dem sich seither viele Wissenschaftler intensiv beschäftigt haben. Ein Handelsreisender, beginnend von seiner Heimatstadt, muss genau einmal jede andere zuvor definierte Stadt besuchen und danach in die Heimatstadt zurückkehren. Dabei hat der Handelsmann die Wahl, in welcher Reihenfolge er die Städte besucht. Ziel ist es, eine Route so zu wählen, dass die gesamte Reisedistanz möglichst gering ist. Ihm sind dabei jeweils die Distanzen zwischen zwei Städten bekannt.¹⁰

Das Modell in seiner ursprünglichen Form wurde über die Jahre kontinuierlich weiterentwickelt, wodurch die anfangs eher theoretische Gestaltung auf Grund der neuen

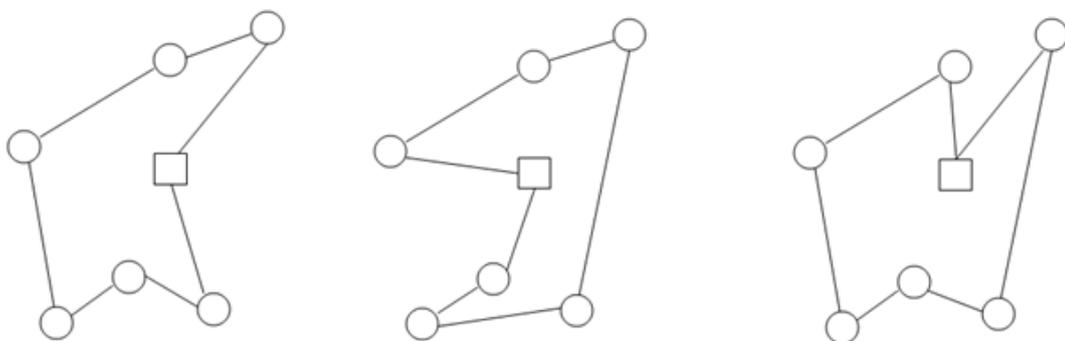
⁹ vgl. Domschke et al. (2006), S. 65

¹⁰ Lawler et al. (1985), S. 1f.

Varianten zunehmend an praktischer Bedeutung gewann. Das TSP erwirbt seine Daseinsberechtigung durch die vielen unterschiedlichen Anwendungsbereiche in der Praxis. Die Problemstellungen können ihren Ursprung neben dem eigentlichen Transportproblem in vielen Bereichen haben, u.a. der Gestaltung von Leiterplatten bzw. Computerschaltungen (computer wiring), der Optimierung von Tapetenschnitten (cutting wallpaper), der Findung optimaler Aufgabenablauffolgen (job sequencing) oder der Optimierung von Datenvisualisierungstechniken (data visualization techniques), um nur einige wenige zu nennen. Wissenschaftler aus der Mathematik, dem IT-Bereich, der Physik, Chemie, Psychologie und der Wirtschaft haben die Grundprinzipien dieser Theorie immer wieder aufgegriffen.¹¹

Ausgehend von einem gegebenen Set an Standorten sowie den Distanzen zwischen diesen wird mit Hilfe des TSP versucht, den kostengünstigsten Weg ausgehend von einem Startpunkt (Depot) zu finden, wobei jede Stadt genau einmal besucht wird. Am Ende soll der Reisende wieder zum Depot zurückkehren, sodass eine Tour entsteht (siehe *Abbildung 5*). Entscheidend ist also die Reihenfolge, in der die einzelnen Städte besucht werden. Die Distanzen zwischen den Städten sind bekannt und werden üblicherweise in einer $n \times n$ Matrix angegeben – der sogenannten Distanzmatrix D . Diese Matrix dient in gewissen Maßen auch als Angabe der Kosten, da in der Regel die Distanzen zwischen den Städten die Transportkosten (in Form von Treibstoffverbrauch etc.) widerspiegeln.

Abbildung 5. Rundreiseproblem



Das Grundmodell des TSP geht von folgenden Annahmen aus:

¹¹ vgl. Hahsler et al. (2006), S. 1

- n Standorte (Depot zuzüglich $n-1$ Kunden).
- Entfernung zu den einzelnen Kunden bekannt (Distanzmatrix).
- Jeder Kunde muss genau einmal besucht werden.
- Rückkehr des Reisenden zum Depot.

Ziel des Rundreisenden ist unter den gegebenen Voraussetzungen jene Tour zu wählen, die am schnellstmöglichen zurückzulegen ist (also die kürzeste Gesamtdistanz aufweist). Zu beachten ist weiter, ob es sich um ein symmetrisches oder ein a-symmetrisches Problem handelt. Beim symmetrischen Fall ist eine Strecke von A nach B ident mit der Strecke B nach A, was in der Regel in der Praxis eher selten zutrifft. Grund dafür könnten beispielsweise Einbahnen im Straßennetz sein, wodurch unterschiedliche Routen für den Hin- bzw. Rückweg gewählt werden müssen.¹²

2.3 Vehicle Routing Problems (VRP)

„Eine zentrale Aufgabenstellung der Distributionslogistik eines Unternehmens ist die rentable und gleichzeitig marktgerechte Gestaltung der Auslieferung der Kundenaufträge mit einer vorhandenen Flotte von Fahrzeugen.“¹³ Beim *Vehicle Routing Problem (VRP, Tourenplanung)* wird versucht, eine optimale Routenplanung für eine aus einer bestimmten Anzahl an Fahrzeugen bestehenden Flotte zu entwerfen. Dabei sollen wie auch beim TSP alle Kunden genau einmal besucht und bedient werden. Ähnlich wie beim TSP, das als Spezialfall (Relaxation bzw. Teilproblem) des VRP angesehen werden kann, handelt es sich auch hier um ein kombinatorisches Optimierungsproblem. Das VRP „...wird im Bereich des Operations Research (OR) seit mehr als 50 Jahren intensiv untersucht und hat sich dabei zu einem der bedeutsamsten Teilgebiete der kombinatorischen Optimierung entwickelt.“¹⁴

Das Problem wurde in seiner ursprünglichen Form das erste Mal von Dantzig und Ramser¹⁵ im Jahre 1959 vorgestellt. Dabei formulierten die beiden erstmals ein mathematisches Modell mit einer algorithmischen Lösungsmethode um die Lieferung von Benzin zu mehreren Tankstellen zu optimieren. Über die Jahre wurde die Methode stetig

¹² vgl. Applegate et al. (2006), S. 1

¹³ Kabath (1997), S. 1

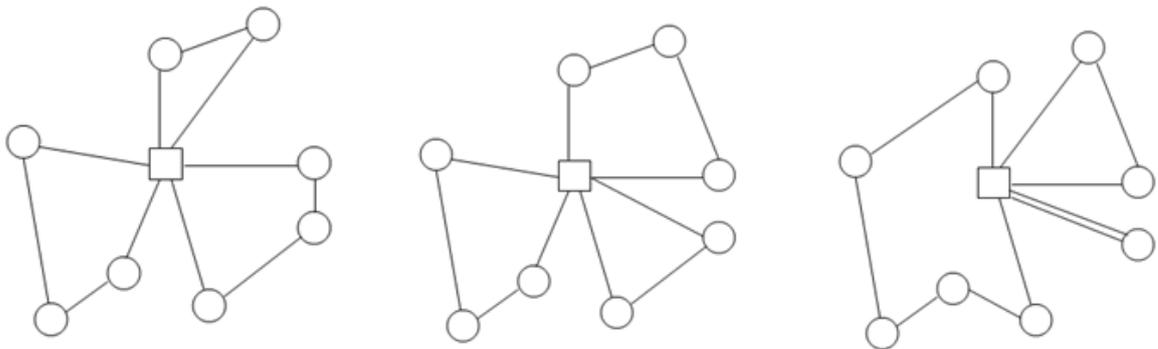
¹⁴ Kabath (1997), S. 1

¹⁵ vgl. Dantzig et al. (1959), S. 80ff.

weiterentwickelt und modifiziert. So führten z.B. Clarke und Wright¹⁶ im Jahre 1964 eine effektivere *Greedy Heuristik* ein, welche die *Dantzig-Ramser Methode* verbesserte. Damit war der Startschuss für eine regelrechte Jagd auf immer bessere und ausgefeiltere Methoden eröffnet was zu einer Vielzahl an neuen optimalen und heuristischen Methoden für das VRP führte. Als primäres Ziel streben die Modelle und Lösungsansätze eine Transportkostenminimierung an, wobei die Problemstellung des klassischen VRP im Laufe der Jahre immer wieder um zusätzliche Nebenbedingungen und Variationen erweitert wurde.¹⁷

Toth und Vigo definieren das VRP als „distribution of goods concerns the service, in a given time period, of a set of customers by a set of vehicles, which are located in one or more depots, are operated by a set of crews (drivers), and perform their movements by using an appropriate road network.“¹⁸ Wie *Abbildung 6* zeigt, soll durch das VRP eine möglichst gute Konstellation von Fahrtrouten erstellt werden, die jeweils von genau einem Fahrzeug befahren werden und von einem Depot aus starten und zu diesem auch wieder zurückkehren. Dabei sollen alle Kundenbedürfnisse befriedigt, alle operationalen Nebenbedingungen erfüllt und die Transportkosten minimiert werden.

Abbildung 6. Tourenplanung



Alternative, teilweise gegensätzliche Ziele können sein:

- Die Minimierung der benötigten Anzahl an Fahrzeugen (Fahrern) um alle Kundenbedürfnisse zu befriedigen.

¹⁶ vgl. Clarke & Wright (1964)

¹⁷ vgl. Toth et al. (2002), S. xvii

¹⁸ Toth et al. (2002), S. 2

- Die Ausgeglichenheit der Routen (im Sinne von Fahrzeiten oder Beladungen).
- Die Minimierung der „penalties“ (z.B. Zusatzkosten für nicht zeitgerechte Lieferungen) für nur teilweise erfüllte Kundenanforderungen.
- Eine Kombination der zuvor genannten Ziele.¹⁹

2.3.1 Das Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)

Als Basismodell des VRP wird in der Literatur meist das *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* angesehen. Alle Kunden werden beliefert, wobei die Nachfrage deterministisch, d.h. im Vorhinein bekannt ist und nicht teilbar ist. Alle Fahrzeuge sind ident und an einem zentralen Depot stationiert. Die einzige Nebenbedingung und somit das wichtigste Merkmal des CVRP ist die Kapazitätsrestriktion der Fahrzeuge. Das Ziel ist es, die Transportkosten zu minimieren und alle Kunden zu bedienen.²⁰

Das CVRP kann dabei als graphentheoretisches Problem beschrieben werden. Es wird versucht, die kostenminimalste Zusammensetzung aus K Touren (die jeweils als Fahrtroute zu interpretieren sind) zu finden, wobei sich die Kosten jeder Tour aus der Summe aller Kosten der einzelnen Kanten der Tour zusammensetzen, sodass...

- jede Tour den Startknoten (Depot) beinhaltet,
- jeder sonstige Knoten (Kunde) in genau einer Tour inkludiert ist,
- die Summe aller Nachfragen der Kunden auf einer Tour die Kapazität eines Fahrzeuges nicht übersteigt.²¹

2.3.2 Das Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP)

Das PVRP erweitert das Basismodell um einen Planungshorizont, in dem Fahrten zu Kunden durchgeführt werden. Dieser Planungshorizont reicht von wenigen Tagen im Voraus bis hin zu langfristiger Planung über Wochen oder Monate. Diese Vorgangsweise impliziert, dass Kunden nicht wie bisher genau einmal, sondern öfter über den Planungshorizont verteilt besucht werden. Logischerweise variiert dabei die Anzahl der Besuche pro Kunde abhängig von dessen Nachfrage, so wird es beispielsweise erforderlich

¹⁹ vgl. Toth et al. (2002), S. 2

²⁰ vgl. Toth et al. (2002), S. 5

²¹ vgl. Toth et al. (2002), S. 7

sein, Kunden mit kleineren Lagerkapazitäten öfters zu besuchen als Kunden mit großen Lagermöglichkeiten.²²

2.3.3 Das Vehicle Routing Problem with Backhauls (VRPB)

Das VRPB erweitert das VRP um die Möglichkeit, Rücktransporte von Kunden zuzulassen. Hierfür wird die Menge aller Kunden V_i in zwei Teilmengen untergliedert. Einerseits entstehen dadurch sogenannte L-Kunden (zu beliefernde Kunden), andererseits B-Kunden (Kunden, von denen etwas abgeholt wird), wobei die Vorrangregel gilt, dass L-Kunden stets vor den B-Kunden zu besuchen sind.

Ziel des VRPB ist es, eine Zusammensetzung von genau K einfachen Touren zu finden und dabei die Transportkosten zu minimieren, sodass...

- jede Tour den Startknoten (Depot) beinhaltet,
- jeder sonstige Knoten (Kunde) in genau einer Tour inkludiert ist,
- die gesamte Nachfrage aller in einer Tour besuchten L-Kunden die Fahrzeugkapazität nicht überschreitet,
- die gesamte Nachfrage aller in einer Tour besuchten B-Kunden die Fahrzeugkapazität nicht überschreitet,
- die Vorrangregel eingehalten wird.

Weiter gilt, dass keine Routen zugelassen sind, in denen ausschließlich Abholungen erfolgen, was ökonomisch damit begründet ist, dass nicht mit leeren Fahrzeugen gestartet werden soll.²³

2.3.4 Das Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)

Das VRPTW stellt ähnlich wie das VRPB eine Erweiterung des CVRP dar. Die Idee hinter dieser Variante ist ebenfalls aus der Praxis gewachsen und geht aus der Tatsache hervor, dass gewisse Kunden nur zu bestimmten Zeiten beliefert werden können. Die Gründe dafür können sein, dass manche Lager an spezifische Öffnungszeiten gebunden sind, dass

²² vgl. Hemmelmayr et al. (2007), S. 1ff.

²³ vgl. Toth et al. (2002), S. 9

manche Straßen nur zu gewissen Zeiten befahrbar sind (Innenstadtbelieferungen nur an Vormittagen möglich etc.) o.ä.

Beim VRPTW wird jedem Kunden ein individuelles Zeitintervall (*Zeitfenster*, *Time Window*) $[a_i, b_i]$ zugeteilt. Zusätzlich müssen noch andere zeitabhängige Faktoren wie Abfahrtszeit vom Depot, Fahrzeit t_{ij} für jede Fahrt von i nach j , sowie eine Servicezeit s_i für jeden Kunden bekannt sein. Die Serviceleistung für jeden Kunden muss in dem für ihn vorgegebenen Zeitintervall beginnen und das Fahrzeug verbleibt beim Kunden V_i für s_i Zeiteinheiten. Weiter wird angenommen, dass dem Fahrzeug im Falle eines zu frühen Erscheinens eines Fahrzeuges bei Kunde V_i gestattet wird, solange zu warten, bis der Zeitpunkt a_i des Zeitintervalls erreicht ist. Normalerweise decken sich die Kosten- und Fahrzeitmatrix und es wird angenommen, dass die Startzeit aller Fahrzeuge vom Depot zum Zeitpunkt null erfolgt.

Ziel des VRPTW ist es, eine Zusammensetzung von genau K einfachen Touren zu finden und dabei die Transportkosten zu minimieren, sodass...

- jede Tour den Startknoten (Depot) beinhaltet,
- jeder sonstige Knoten (Kunde) in genau einer Tour inkludiert ist,
- die Summe aller Nachfragen der Kunden auf einer Tour die Kapazität eines Fahrzeuges nicht übersteigt, und
- für jeden Kunden i die Serviceleistung innerhalb des Zeitintervalls $[a_i, b_i]$ liegt und das Fahrzeug für s_i Zeiteinheiten haltet.

Zu beachten ist auch, dass beim VRPTW die Zeitintervalle eine gewisse Ordnung implizieren, auch wenn die ursprünglichen Matrizen symmetrisch sind. So kann ein Kunde mit einem Zeitintervall von 15:00 Uhr bis 16:00 Uhr nicht vor einem Kunden mit einem Zeitintervall von 11:00 Uhr bis 12:00 Uhr beliefert werden. Dies hat zur Folge, dass das VRPTW meist asymmetrisch formuliert wird. Unter Umständen kann die Zeitfensterrestriktion im Nachhinein gelockert werden, indem eine gewisse „Überschreitungstoleranz“ gewährt wird. So kann eine Tourenplanung weiter optimiert werden, indem eine gewisse Überschreitung der vorgegebenen Zeitfenster akzeptiert wird.²⁴

²⁴ vgl. Toth et al. (2002), S. 9f.

2.3.5 Das Consistent Vehicle Routing Problem (ConVRP)

Den Ursprung dieses aus dem CVRP abgeleiteten und erweiterten Modells hat das ConVRP aus einer zunehmend kundenorientierten Herangehensweise an die moderne Tourenplanung. Heutzutage bedarf es nicht nur kostenmindernden Überlegungen seitens des Unternehmens, um am Markt kompetitiv zu sein, sondern vielmehr einer Differenzierung durch erstklassigen Kundenservice. Es kommt also zur Verschiebung von einer flottenorientierten zu einer kundenorientierten Betrachtungsweise. Das ConVRP versucht genau diese Überlegungen zu berücksichtigen, indem dem Kunden gewisse Regelmäßigkeiten gewährleistet werden. So wird versucht, den Kunden möglichst immer vom selben Fahrer, zur gleichen Zeit, am vom Kunden gewünschten Tag zu bedienen.

Man gehe beim ConVRP davon aus, D Tage an Serviceleistungen zu bieten. Jeder Kunde wird an einem spezifischen, im Voraus bekannten Tag bedient. Jeder Kunde muss genau einmal pro Tag, von irgendeinem der K identischen Fahrzeuge bedient werden. Hat der Kunde einmal Service erhalten, wiederholt sich der Vorgang über den Planungshorizont von D Tagen, wobei er vom gleichen Fahrer zu ungefähr gleicher Zeit (mit einer maximalen Variation der Ankunftszeit von L Zeiteinheiten) bedient wird.²⁵

Zur näheren Betrachtung dieses Problems sei auf die Arbeit von Groër et al.²⁶ verwiesen, die das Problem als *mixed-integer program* formuliert haben und einen entsprechenden Algorithmus zu Lösung entwickelt haben.

²⁵ vgl. Groër et al. (2008), S. 630ff.

²⁶ vgl. Groër et al. (2008)

3 Methoden zur Lösung von Transport- und Tourenplanung

Nachdem eine Problemstellung formuliert ist, liegt es nun daran, einen geeigneten Algorithmus zur Lösung des Problems zu finden. Unter Algorithmus (Lösungsverfahren) verstehen wir „eine Vorschrift, nach der Eingabedaten in einer vorgegebenen Reihenfolge durch eine endliche Anzahl von Schritten (*Operationen*) in Ausgabedaten (Ergebnisse, Lösungen) umgeformt werden“²⁷. Die tatsächliche Umsetzung des geeigneten Verfahrens erfolgt mit Hilfe von Computern bzw. einer passenden Software (Programmiersprache) wie z.B. C/C++, PASCAL, FORTRAN, etc. In der Regel handelt es sich bei den von uns beschriebenen Problemen um Optimierungsaufgaben bzw. kombinatorische Optimierungsaufgaben. Entscheidend für die Lösung dieser Probleme ist deren Komplexität, wobei man alle Optimierungsprobleme im Grunde in zwei Klassen unterteilen kann. Zum einen spricht man von Problemen, die mit *polynomialem Aufwand* zu lösen sind (*Probleme der Klasse P*). Zum anderen von sogenannten *NP-schweren Problemen* (nichtdeterministisch polynomiale Zeit), also „Probleme, für die man bislang keinen Algorithmus kennt, der auch das am schwierigsten zu lösende Problem desselben Typs mit polynomialem Aufwand löst [...]“. Man sagt, die Probleme aus *P* seien „effizient lösbar“. Dagegen bezeichnet man NP-schwere Probleme als „schwierig“ oder „schwer lösbar“ Probleme“²⁸. Ausschlaggebend für die Komplexität der Algorithmen ist der zur Lösung des Problems benötigte Rechenaufwand (Zeitaufwand, Rechenzeit). „Der Rechenaufwand eines Algorithmus [...] bezieht sich auf die Anzahl der auszuführenden Operationen (d.h. elementare Operationen wie Addition oder Vergleich zweier Zahlen mit begrenzter Stellenzahl), die zur Lösung des Problems erforderlich sind.“²⁹ Im Fall des TSP beispielsweise ist der Rechenaufwand abhängig von der Anzahl der Knoten eines Graphen. Übersteigt diese eine gewisse Anzahl, ist das Problem nicht mehr in angemessener Zeit optimal lösbar. Man nennt den Aufwand einer Komplexität $O(f(n))$ *polynomial*, wenn die Funktion $f(n)$ ein Polynom von n ist, ansonsten nennt man sie *exponentiell*. Man stelle sich folgende Beispiele vor:³⁰

²⁷ Domschke et al. (2007), S. 19

²⁸ Domschke et al. (2007), S. 127

²⁹ Domschke et al. (2007), S. 19

³⁰ vgl. Domschke et al. (2007), S. 126f.

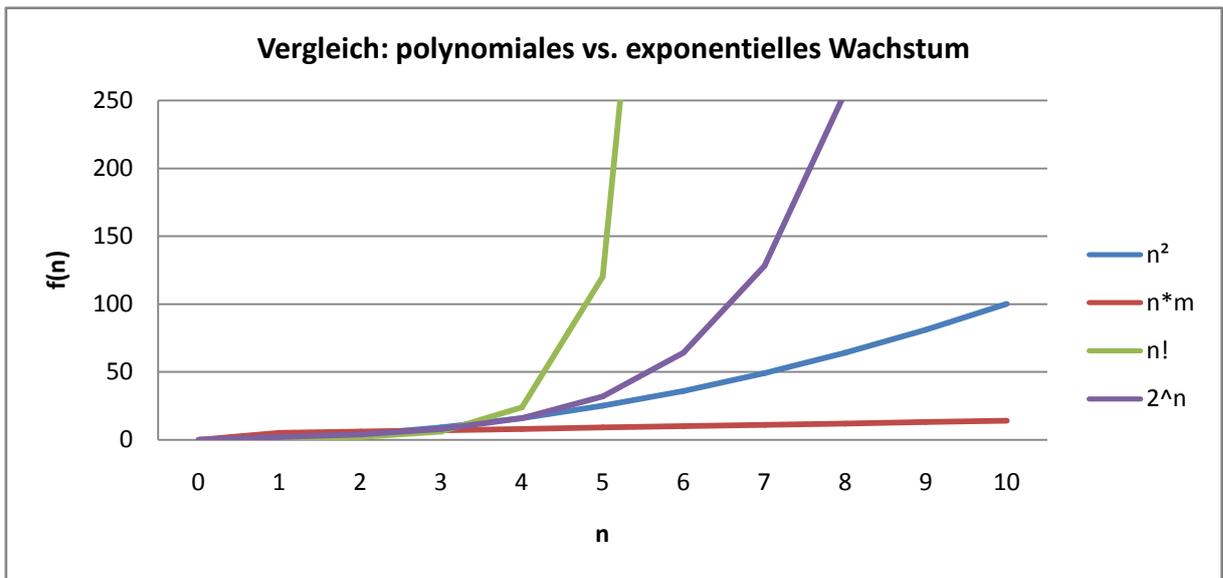
- a) Es werden $3n^2 + 10n + 50$ Elementarschritte zur Lösung eines Problems benötigt. Dieser Aufwand ist proportional zum Polynom $f(n) = n^2$ (für ein hinreichend großes n), er sei daher von der Komplexität $O(n^2)$, also polynomial.
- b) Ein (asymmetrisches) Rundreiseproblem mit n Knoten hat $(n - 1)!$ mögliche Touren. Wird angenommen, ein Computer könne 100.000 Lösungen pro Sekunde berechnen, bedeutet das folgenden Rechenaufwand:

Anzahl Kunden	Zeitaufwand
10	36 Sekunden
12	1 Stunde 20 Minuten
20	777,940 Jahre
99	$2.96 * 10^{143}$ Jahre

Selbst wenn man bei diesem Beispiel annimmt, die Rechenleistung des Computers wäre eine Million mal schneller, käme man auf eine Rechenzeit von 356 Jahren bei 22 Kunden. Dieses einfache Beispiel verdeutlicht, dass selbst der schnellste heute erhältliche Computer keine zufriedenstellende Lösung bietet, solange es keine effiziente Lösungsmethode gibt. Es handelt sich also um ein NP-schweres Problem.

Zur besseren Veranschaulichung der unterschiedlichen Komplexitäten zeigt *Abbildung 7* einen Vergleich zweier polynomialer und zweier exponentieller Funktionen. Man erkennt deutlich, dass die Funktionen $f(n) = n!$ und $f(n) = 2^n$ schon bei einer geringen Ausprägung von n in sehr große Höhen schnellen. Für $n=10$ erreicht die Funktion $f(n) = n!$ bereits einen Wert von 3.628.800 und $f(n) = 2^n$ einen Wert von 1024 (Werte nicht mehr in der Abbildung), wogegen die Werte für die Funktionen $f(n) = n^2$ und $f(n) = n * m$ (wobei hier für m ein Wert von 4 angenommen wurde) bei 100 bzw. 14 liegen.

Abbildung 7. Polynomiales vs. exponentielles Wachstum (in Anlehnung an Brandstätter, 2008)



Grundsätzlich gibt es in der Mathematik bei (kombinatorischen) Optimierungsproblemen zwei Lösungsansätze. Man kennt exakte Verfahren mit optimalen Lösungen, die vorrangig bei Problemen der Klasse P zum Einsatz kommen. Handelt es sich jedoch um Probleme der Klasse NP, ist die Rechenzeit von exakten Verfahren exorbitant hoch und nicht mehr sinnvoll. Um diesem Phänomen entgegenzuwirken und auch NP-schwere Probleme entsprechend gut und mit angemessenem Aufwand lösen zu können, greift man auf sogenannte Heuristiken bzw. Metaheuristiken (siehe *Kapitel 3.2*) zurück.

3.1 Exakte Verfahren

Es gibt eine Reihe exakter Verfahren zur Berechnung von Transport- und Tourenproblemen. In dieser Arbeit wird nur ein kurzer Überblick über einige der bekanntesten gegeben. Für eine nähere Befassung mit dem Thema empfiehlt sich eine große Auswahl einschlägiger Literatur wie u.a. Toth et al.³¹, Domschke et al.³² usw.

3.1.1 Die Cutting Plane Methode

Die Cutting Plane Methode (Schnittebenenverfahren) wurde bereits in den 1950er Jahren u.a. von Georg Dantzig, Delbert Ray Fulkerson und Selmer Johnson³³ entwickelt und zählt

³¹ vgl. Toth et al. (2002)

³² vgl. Domschke (2007)

³³ vgl. Dantzig et al. (1954)

nach wie vor zu den Standardmethoden zur Lösung ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme. Dabei wird durch eine sogenannte LP-Relaxation die Ganzzahligkeitsbedingung zunächst außer Acht gelassen. Erst durch das schrittweise Hinzufügen von Nebenbedingungen wird die ursprüngliche Lösung verschärft. Dabei wird das lineare Programm solange zu lösen versucht, bis man im Idealfall eine ganzzahlige Lösung erhält. Ist die Lösung jedoch noch immer ein Bruch, werden weitere Nebenbedingungen erzeugt und das lineare Programm von neuem gelöst. Dieser Vorgang wird solange fortgesetzt, bis schließlich eine ganzzahlige Lösung erreicht ist. Diese Lösung ist als Optimum anzusehen. Für größere Optimierungsprobleme ist diese Methode alleine jedoch oft nicht ausreichend, weshalb bessere Ansätze entwickelt wurden. Sehr beliebt ist die Kombination mit der *Branch-and-Bound Methode* (siehe 3.1.2) zur sogenannten *Branch-and-Cut Methode*.³⁴

3.1.2 Die Branch-and-Bound Methode

Die *Branch-and-Bound Methode* (*B&B Methode*) ist eine der am häufigsten verwendeten Methoden im Bereich der exakten Verfahren. Ähnlich wie bei der Cutting Plane Methode hat sich auch die *B&B Methode* zum Ziel gemacht, eine bestmögliche Lösung für ein ganzzahliges Optimierungsproblem zu finden. Da das Verfahren keine allgemeine Gültigkeit besitzt, sondern viel mehr als Meta-Verfahren zu verstehen ist, finden sich eine Vielzahl an Methoden, die an das jeweilige kombinatorische Optimierungsproblem angepasst sind. Die *B&B Methode* ist eine Form der Enumeration, jedoch mit dem Vorteil, dass nur ein Bruchteil aller möglichen Lösungen untersucht werden muss, was den Rechenaufwand erheblich vermindert. Die Begriffe *Branching* (*Verzweigen*) und *Bounding* (*Begrenzen, Bewerten*) bezeichnen die wiederholt durchzuführenden Tätigkeiten zur Bestimmung des Optimums. Beim *Branching* wird dabei nach einer bestimmten Regel die gesamte Menge P_0 in mehrere Teilmengen P_i und diese neuerlich in Teilmengen aufgeteilt. Bei Minimierungsproblemen wird beim *Bounding* eine Grenze für jede Teilmenge ermittelt, die von keinem Zielfunktionswert der in P_0 enthaltenen Lösungen unterschritten werden darf – man spricht von der sogenannten *Lower Bound*. Anders formuliert erhält man eine untere Schranke indem man eine oder mehrere Nebenbedingungen eines Teilproblems P_i lockert oder entfernt, z.B. durch den Verzicht der Ganzzahligkeitsbedingung. Dadurch verringert man den Aufwand der zur Lösung des

³⁴ Toth et al. (2002), S. 97

Teilproblems notwendig wäre, gleichzeitig erweitert man jedoch die Lösungsmenge. Der Wert der optimalen Lösung des Teilproblems P_i liefert eine untere Schranke \underline{Z}_i für den Wert der optimalen Lösung von P'_i . Probleme dieser Art werden in der Literatur als *Relaxion* von P_i bezeichnet. Erhält man nach dem *Branching* eine Teilmenge mit nur einer Lösung, so vergleicht man diese mit der bisherigen besten Lösung. Kommt es zu einer Verbesserung, so verdrängt die neue Lösung die bisherige beste Lösung als solche. Die momentan beste Lösung wird in der Regel als *Upper Bound* bezeichnet und ist entscheidend für das Optimalitätskriterium. Das Minimum ist bestimmt, wenn die *Lower Bounds* aller noch nicht verzweigten Teilmengen größer oder gleich dem *Upper Bound* sind.^{35, 36}

3.2 Heuristiken

„Heuristische Verfahren unterscheiden sich von exakten Verfahren vor allem dadurch, daß sie keine Garantie dafür bieten, daß eine optimale Lösung des betrachteten Problems gefunden wird“³⁷. „Heuristik geht auf das griechische Wort „heuriskein“ zurück und bezeichnet „finden“ bzw. „entdecken“. Mit Heuristiken sollen also Lösungen zu Problemen gefunden werden, für die in der Regel eine exakte Lösung nur schwer, z.B. aus Gründen des Rechenaufwandes, zu erzielen ist. Eine Heuristik ist eine Suchmethode, die mit vernünftigen Rechenaufwand gute Lösungen sucht, ohne garantieren zu können, das Optimum zu erreichen oder Aussagen darüber machen zu können, wie weit man vom Optimum entfernt ist“³⁸. Eine andere Definition kommt von *Zimmermann und Stache* und bezeichnet heuristische Verfahren als „Näherungsverfahren, die letztlich auf systematischem Probieren, planmäßigem Suchen und numerischen Experimenten beruhen“³⁹. Wie aus den Definitionen bereits erkennbar ist, liefert eine Heuristik nicht unbedingt eine optimale Lösung. Vielmehr wird versucht, eine möglichst gute Lösung zu finden. Der Vorteil von Heuristiken liegt vor allem im wesentlich geringeren Zeitaufwand, der für die Lösung eines Problems benötigt wird. Die Idee hinter Heuristiken ist, bestimmte, für die jeweilige Problemstellung geeignete, „Vorgehensregeln“ zu befolgen um so ein bestmögliches Resultat zu erzielen. In der Regel geht man dabei von einer zulässigen Startlösung aus, die mit Hilfe eines *Eröffnungsverfahrens* bestimmt wird.

³⁵ vgl. Hinrichsen (1975), S. 25f.

³⁶ vgl. Domschke (1990), S. 8ff.

³⁷ Domschke (1990), S. 15

³⁸ Zäpfel et al. (2005), S. 22

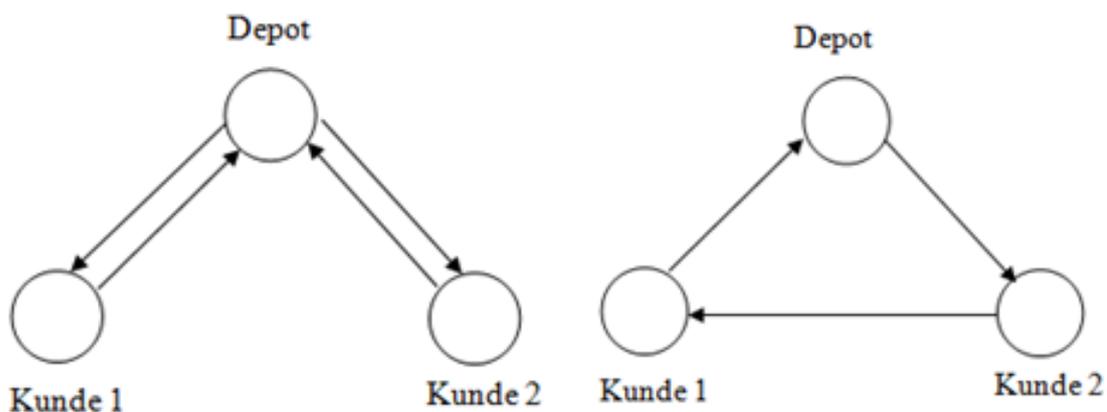
³⁹ Zimmermann et al. (2001), S. 336

Danach versucht man mit Hilfe eines *Verbesserungsverfahrens* eine bessere Lösung als die Startlösung zu finden. Alternativ besteht auch noch die Möglichkeit, unvollständig exakte Verfahren als Heuristik heranzuziehen, ein Beispiel dafür wäre ein vorzeitig abgebrochenes *B&B Methode* (siehe *Kapitel 3.1.2*). Oft kommt es zu einer Kombination dieser Möglichkeiten, um das beste Ergebnis zu erzielen.⁴⁰

3.2.1 Die Savings-Heuristik

Eine der bekanntesten Heuristiken zur Lösung von VRPs ist die auf *Clarke und Wright*⁴¹ zurückzuführende Savings-Heuristik. Bei dieser Heuristik handelt es sich um ein simultanes Eröffnungsverfahren mit paralleler Tourkonstruktion weshalb man es auch zu den sogenannten Parallelverfahren zählt. Das Modell geht dabei von einem unendlich großen Fuhrpark aus wobei jeder zu beliefernde Kunde jeweils eine Einzel- als auch eine Pendeltour zugeteilt bekommt. Weiter wird von der Annahme ausgegangen, dass jeder Auftrag eines Kunden durch mindestens ein zur Verfügung stehendes Fahrzeug durchgeführt werden kann. Entscheidend bei diesem Algorithmus sind die sogenannten Savingswerte, also jede potenzielle Ersparnis die erzielt werden können, würde man anstatt zweier Einzeltouren zu zwei Kunden, beide innerhalb einer einzigen Tour bedienen. *Abbildung 8* soll das Savings-Prinzip veranschaulichen.

Abbildung 8. Das Savings-Prinzip (in Anlehnung an Kabath, 1996, S. 50)



⁴⁰ vgl. Domschke et al. (2007), S. 128

⁴¹ vgl. Clarke et al. (1964)

Der zuvor erwähnte Savingswert ergibt sich aus folgender Formel:

$$s_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij}, \quad (3.1)$$

wobei i und j zwei Kunden bezeichnen. Weiter steht 0 für das Depot und d für die Distanzen zwischen den einzelnen Standorten. Bei der Heuristik werden nun alle Kundenpaare auf ihre Savingswerte hin überprüft. Kommt es also tatsächlich zu Einsparungen durch die Zusammenlegung von Touren und werden zusätzlich noch die Restriktionen (wie z.B. Kapazitätsrestriktionen) beachtet, so wird die Zusammenlegung durchgeführt. Der Vorgang wiederholt sich so lange, bis alle Savingswerte abgearbeitet wurden und keine Tourenzusammenlegungen mehr möglich sind. Man erhält einen Tourenplan. Da dieses Ergebnis nur als Startlösung gilt, werden die Ergebnisse üblicherweise mittels Verbesserungsverfahren aufgewertet. Dabei sei auf die einschlägige Literatur verwiesen, die eine Vielzahl dieser Verfahren vorstellt. Als Beispiel sei die bekannte *K-opt-Heuristik* von *Lin und Kernighan*⁴² erwähnt.⁴³

3.2.2 Sweep Algorithmus

Im Gegensatz zum zuvor beschriebenen *Savings-Verfahren* handelt es sich beim *Sweep Algorithmus* nicht um ein Parallelverfahren, sondern ein Sukzessivverfahren. Weiter lässt sich der Sweep Algorithmus den vorwiegend knotenorientierten Probleme der „*Cluster first – route second*“ Verfahren zuteilen. Der Algorithmus geht auf die Arbeiten von *Gillett und Miller*⁴⁴ aus dem Jahr 1974 zurück. Bei dieser Heuristik werden sowohl dem Depot als auch allen übrigen Standorten spezifische Koordinaten (x_i, y_i) zugeteilt. Das Depot liegt dabei genau im Ursprung des Koordinatensystems. Die Entfernungen zwischen den einzelnen Standorten sind durch eine Distanzmatrix gegeben, wobei hier von euklidischen Distanzen ausgegangen wird. Als nächsten Schritt werden die Kunden nach aufsteigenden Polarwinkeln φ (also gegen den Uhrzeigersinn) sortiert. Als Startlösung wird nun beginnend mit dem ersten Kunden solange der nächste Kunde in der Reihenfolge

⁴² vgl. Lin et al. (1973), S. 499ff.

⁴³ vgl. Kabath (1997), S. 50f.

⁴⁴ vgl. Gillett et al. (1974), S. 1ff.

hinzugefügt, bis eine Restriktion (z.B. maximale Tourlänge oder maximale Fahrzeugkapazität) verletzt wird. Die erste Tour besteht also aus der Menge an Kunden aus der letzten zulässigen Lösung ohne die Restriktionen zu verletzen. Steht die erste Tour, kann diese noch weiter verbessert werden, indem man beispielsweise mittels 2-opt oder 3-opt Verfahren Verbesserungen erzielt. Die zweite Tour beginnt mit jenem Kunden, der als erster nicht mehr in der vorherigen Tour aufgenommen werden konnte. Danach wiederholt sich die Vorgangsweise analog bis alle Kunden Teil einer Tour sind. Eine zweite Lösung erhält man, indem man den als ersten anzufahrenden Kunden (in Schritt eins Kunde 1), durch den nächsten Kunden (Kunde 2) ersetzt. Danach folgt man wieder der Vorgehensweise wie schon bei der ersten Lösung. Diese Verschiebung des Startkunden wiederholt man solange, bis jeder Kunde einmal der erste angefahrene Kunde war. Aus den erhaltenen n Tourenplänen wählt man schließlich beste Lösung, also jene mit der geringsten Gesamtlänge.⁴⁵

Für eine vertiefende Betrachtung weiterer bekannter Heuristiken wie insbesondere diverse „Route first – cluster second“ Heuristiken, den Petal Algorithmus, Insertion Heuristiken, der Algorithmus von Fisher und Jaikumar oder ähnliche sei hier auf die einschlägige Literatur wie z.B. Toth et al.⁴⁶ verwiesen

3.3 Metaheuristiken

„A metaheuristic is a general solution method that provides both a general structure and strategy guidelines for developing a specific heuristic method to fit a particular kind of problem.“⁴⁷ Aus dieser Definition geht der große Vorteil dieses relativ neuen Lösungsansatzes bei kombinatorischen Optimierungsproblemen hervor. Eine heuristische Methode muss stets präzise und zeitintensiv auf ein konkretes Problem abgestimmt werden. Ändert sich das Problem, muss entsprechend darauf reagiert werden und unter Umständen die gesamte Heuristik neu überdacht und überarbeitet werden. Genau dies ist bei den vergleichsweise mächtigen Metaheuristiken nicht mehr der Fall. Eine Metaheuristik bietet eine abstrakte Folge von Abläufen, die theoretisch auf verschiedenste Probleme angewandt werden können. Jedoch ist dabei zu beachten, dass die einzelnen Schritte teilweise für sich genommen ebenfalls Heuristiken darstellen, die wiederum

⁴⁵ vgl. Kabath (1997), S. 50ff.

⁴⁶ vgl. Toth et al. (2002)

⁴⁷ Hillier et al. (2005), S. 617

problemspezifisch implementiert werden müssen. Wie auch bei den Heuristiken garantiert eine Metaheuristik niemals eine optimale Lösung, sondern lediglich eine beste Lösung, die beliebig von der optimalen Lösung abweichen kann. Die Vorteile liegen ähnlich wie bei Heuristiken im vergleichsweise geringen Rechen- bzw. Zeitaufwand und der (guten) Lösung großer komplexer Probleme. Die bekanntesten Konzepte bei den Metaheuristiken sind u.a. die *Tabu Search Method*⁴⁸, das *Simulated Annealing*⁴⁹ sowie die *Genetic Algorithms*⁵⁰. Die Schlüsselfunktion dieser Ansätze liegt in der Fähigkeit, lokalen Optima zu entkommen umso weitaus bessere Lösungen zu generieren.⁵¹

⁴⁸ vgl. Hillier et al. (2005), S. 625ff.

⁴⁹ vgl. Hillier et al. (2005), S. 635ff.

⁵⁰ vgl. Hillier et al. (2005), S. 644ff.

⁵¹ vgl. Hillier et al. (2005), S. 617ff.

4 Computergestützte Planungssoftware

In den letzten Jahren hat sich die Anzahl computergestützter Modelle zur Tourenplanung rasant entwickelt. Eine Vielzahl an unterschiedlichen Herangehensweisen unter Betrachtung verschiedener Nebenbedingungen war die Folge. Bei den Überlegungen zu diesen Problemstellungen sind vor allem folgende Dispositionsparameter von Bedeutung:

- Die Wahl des Versandweges,
- die Wahl des Verkehrsträgers,
- die Wahl des spezifischen Verkehrsmittels und
- die Bildung verkehrsmittelgerechter Ladungen.

Weiter können mehrere unterschiedliche Restriktionen in die Überlegungen mit einbezogen werden, u.a.:

- Gewicht, Volumen, Waren- und Verpackungsart,
- Kundenvorschriften,
- Ländervorschriften,
- Transportsicherheitsaspekte,
- Gefahrgutvorschriften,
- Produkteigenschaften sowie Termine.

Die aus den angewandten Modellen resultierenden positiven Nutzeffekte für das Unternehmen sind u.a.:

- Erhöhung der Wirtschaftlichkeit (Minimierung der Transportkosten),
- Steigerung der Termintreue gegenüber den Kunden,
- Senkung der Fehlerquote,
- Reduzierung des Verwaltungsaufwandes,
- Entlastung der Mitarbeiter von Routinetätigkeiten,
- hohe Flexibilität bei Änderungen in Kundentouren etc.⁵²

⁵² vgl. Schulte (1999), S. 168ff.

Toth und Vigo beziffern die weltweiten Transportkosteneinsparungen die auf den Einsatz computergestützter Distributionsprozessplanung zurückzuführen sind mit etwa 5% bis 20%.⁵³

Vor allem durch die immer höhere Nachfrage und den stetig steigenden Leistungen moderner Computer haben sich viele Unternehmen auf die Entwicklung computergestützter Tourenplanungssysteme spezialisiert. Die Funktionalitäten einer solchen Software lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Tabelle 1. Funktionen rechnergestützter Tourenplanungssysteme (in Anlehnung an Schulte, 1999, S. 169)

Planungsfunktionen	Sammeltouren	z.B. Müllkollektion
	Verteiltouren	z.B. Paketdienste
	Eindepot-Tourenplanung	Touren beginnen und enden in einem Depot
	Mehrdepot-Tourenplanung	Start- und Zielort nach Bedarf in unterschiedlichen Depots
	Planung der Besuchsfrequenzen	Zuordnung von Liefertag zu Kunde
	Zuordnung der Kunden zu Depots	
	Planung von mehrstufigen Sammel- und Verteiltouren	Abwicklung über Zwischenlager
	Wiedereinsatzplanung	Planung mehrerer Touren für einen LKW pro Tag oder pro Woche
	Entscheidung über Eigen- oder Fremdtransport einzelner Touren	Outsourcing
	Fahrer- bzw. Subunternehmereinsatzplanung	
Fahrzeugeinsatzplanung	Fahrzeugeinsatzplanung	Anzahl an eingesetzten Fahrzeugen
	Wechselbrückeneinsatzplanung	
	Manuelle Tourenplanung	Vorgabe von Kundenanfahrreihenfolgen
Planungsverfahren	Einzeltoptimierung	Aufträge sind Touren bereits zugeordnet
	Gesamtoptimierung	Gleichzeitige Verteilung aller Aufträge auf Touren
Kunden- bzw. Auftragsrestriktionen	Berücksichtigung Kundenzeitfenster	
	Berücksichtigung unterschiedlicher Kundenzeitfenster je Wochentag	
	Berücksichtigung Auftragszeitfenster	
	Abbildung von Kundenfahrrestriktionen	z.B. Rampe
	Abbildung fixer Kundenstandzeiten	

⁵³ vgl. Toth et al. (2002), S. 1

	Anzahl Depots	
	Anzahl Kunden	
	Anzahl Aufträge	
Fuhrpark-, Fahrer- und Kapazitätsrestriktionen	Anzahl Fahrzeuge	
	Fahrzeuggewicht/Fahrzeugvolumen	
	Anzahl Paletten pro Fahrzeug	
	Berücksichtigung von Aufträgen mit unterschiedlichen Kapazitätsrestriktionen	
	Zuordnung Fahrer/Fahrzeug zu Kunde	
	Zuordnung Fahrer/Fahrzeug zu Güter- und Auftragsklassen	
	Zeitrestriktionen	Schicht-, Pausen-, Ruhezeiten
Oberfläche und Ausgabe	Softwareoberfläche	
	Grafische Ausgabe der Touren	
	Grafische Ausgabe des Straßennetzes	
	Funktionen auf grafischer Oberfläche	
Methode	Koordinatenmethode	
	Netzwerkmethode	
	Kombination Koordinaten-/Netzwerkmethode	
Schnittstellen zu	Auftragsabwicklung	
	Kostenrechnung/Controlling	
	Bordcomputer	
	Mobilkommunikation	
Raumbezugssysteme	Entfernungswerke	z.B. digitale Straßennetze
	Ortsdateien	

Es gibt mittlerweile eine Vielzahl an leistungsstarken Softwarepaketen. Einige der bekanntesten im deutschsprachigen Raum sind u.a.:

- PowerOpt⁵⁴
- TrackPilot⁵⁵
- mobileX-Dispatch⁵⁶
- TransIT⁵⁷.

⁵⁴ vgl. Homepage PowerOpt (2010)

⁵⁵ vgl. Homepage TrackPilot (2010)

⁵⁶ vgl. Homepage MobileX (2010)

⁵⁷ vgl. Homepage GTS Systems (2010)

II PRAXIS

5 Transportlogistikanalyse der *Office GmbH*

Im ersten Teil dieses Kapitels soll das untersuchte Unternehmen kurz allgemein vorgestellt werden. Es wird darauf hingewiesen, dass auf Wunsch des Unternehmens der Firmenname fiktiv gewählt wurde, umso dessen Anonymität zu gewährleisten. Nach der Vorstellung erfolgt eine generelle Übersicht über die Organisation und Abwicklung der *Office GmbH* hinsichtlich ihrer Transportlogistik. Es sollen so die Stärken und Schwächen der momentanen Abläufe verdeutlicht werden. Danach erfolgt eine Analyse der bisherigen Tourenplanung auf Basis einer empirischen Untersuchung über einen Beobachtungszeitraum von 12.4.2010 bis 23.4.2010.

5.1 Vorstellung des Unternehmens

Die *Office GmbH* ist ein traditionelles Familienunternehmen mit einer über hundert Jahre alten Firmengeschichte. Das Unternehmen wurde 1906 gegründet und spezialisierte sich auf die Papierbranche und anfangs insbesondere auf den Verkauf von Schulartikeln. Der Verkauf erfolgte fast ausschließlich über das Fachgeschäft am Standort Wielandgasse 15 in 8010 Graz. Über die Jahre wuchs das Unternehmen sehr langsam aber stetig an. Heute zählt das nach wie vor im Besitz der Familie stehende Unternehmen in etwa 20 Mitarbeiter und macht einen Umsatz von knapp 2,2 Millionen Euro. Im Jahre 1986 startete das Unternehmen ein zweites Standbein neben dem Einzelhandel, den regionalen Streckenhandel für Bürobedarf. Mit der Anschaffung des ersten LKW folgten zunächst Auslieferungen zu gewissen Stammkunden. Dies änderte sich erst im Jahr 1995, erst man mit professioneller Lagerlogistik begann und den Kundenkreis erweiterte. Mittlerweile kann diese Sparte mit etwa 60% des Gesamtumsatzes gewichtet werden. Das Unternehmen sieht jedoch noch großes Expansionspotenzial im Bereich Streckenhandel, was mitunter die Frage einer Erweiterung des Fuhrparks oder die Aktivierung eines zusätzlichen Depots in den Raum stellt. Gerade dies würde logischerweise zu einer erhöhten Komplexität der hausinternen Logistik führen und die Notwendigkeit einer professionellen Planung umso wichtiger werden lassen. Prinzipiell beliefert die *Office GmbH* österreichweit; selbst durchgeführte Lieferungen, also mittels eigenem Fuhrpark, erfolgen jedoch ausschließlich im geographischen Raum Graz. Alle Aufträge außerhalb dieses Bereichs werden an

externe Lieferservices weitergegeben. Bei diesen Drittanbietern handelt es sich vorrangig um professionelle Lieferserviceunternehmen.

5.2 Deskriptive Analyse der aktuellen Transportlogistik und Tourenplanung

5.2.1 Auftragslage und Tourenplanung

Die komplette Tourenplanung erfolgt bis zum heutigen Tag größtenteils intuitiv und unsystematisch. Die eingehenden Aufträge der Kunden erfolgen in der Regel sehr unregelmäßig, werden noch am selben oder darauffolgenden Tag kommissioniert und paketweise bereit gestellt. Der Fahrer ist daraufhin selbstständig für die Verladung und in weiterer Folge für die Tourenplanung verantwortlich. Es obliegt dem Fahrer, eine möglichst optimale Tour zu erstellen. Die Beladungs- und Planungszeit beträgt in etwa eine Stunde, danach wird die Tour gestartet. Übersteigt die Anzahl der Pakete die maximale Kapazität des Fahrzeugs für eine Tour, wird die Tour gestartet, sobald das Fahrzeug voll ausgelastet ist. Die restlichen Lieferungen erfolgen nach Abschluss der ersten Tour in Form einer weiteren Tour. Dabei kehrt der Fahrer zum Depot zurück und plant die zweite Tour. Der Fahrer ist selbst dafür verantwortlich, möglichst alle Kunden noch am Tag ihrer Bestellung zu beliefern. Das System beruht darauf, dass der Fahrer alle Kunden und den optimalen Weg dorthin kennt und aus seinen Erfahrungswerten eine möglichst optimale Tour zusammenstellt. Auch wird vom Fahrer erwartet, alle Besonderheiten wie Lieferzeitbeschränkungen einzelner Kunden auswendig zu kennen (z.B. Lieferungen in das Stadtzentrum nur bis 11:00 Uhr möglich). Diese Art von Planung ist nur möglich, wenn der Fahrer bereits einige Erfahrung hat und ein profundes Know-how des Kundenstocks vorhanden ist. Der Kunde erwartet eine Belieferung innerhalb von 48 Stunden ab Bestellung. Die Servicezeiten bei den Kunden sind in der Regel abhängig von der gelieferten Menge. Müssen viele Pakete abgeliefert werden, muss mit längeren Servicezeiten gerechnet werden.

5.2.2 Lager/Depots

Das Lager der *Office GmbH* befand sich bis zum Jahr 2009 im Keller des Stammhauses in der Wielandgasse 15 im Stadtgebiet von Graz. Mittlerweile wurde dieses Lager jedoch stillgelegt. Im Jahre 2009 konnte durch die Übernahme eines Mitbewerbers ein neuer

Standort (Ungergasse 15a, 8020 Graz) erschlossen werden. Dieser Standort dient ab dem Jahr 2010 als alleiniges Warenlager für den Streckenhandel und es kann damit als Depot bezeichnet werden. Das Lager bietet gute Lademöglichkeiten und es wäre durchaus denkbar, ein zusätzliches Fahrzeug an diesem Standort zu stationieren. Am Standort des ursprünglichen Lagers befindet sich immer noch eine aktive Verkaufsstelle des Unternehmens. Eine tägliche Lieferung vom Depot zur Zweigstelle steht an der Tagesordnung.

5.2.3 Fuhrpark

Der Fuhrpark der *Office GmbH* umfasst im Moment einen LKW der Klasse *Renault Trafic* mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 2770 kg und einem Ladevolumen von 3,2 m³.⁵⁸ Der Heimatstandort des Fahrzeuges ist das Depot in der Ungergasse 24a in 8010 Graz. Im Moment steht der *Office GmbH* nur ein Fahrer zu Verfügung.

5.2.4 Kunden

Die Zielkundengruppe der *Office GmbH* richtet sich auf Klein- und Mittelbetriebe mit entsprechend geringen Bürobedarfsmengen. Im Moment beträgt der gesamte von der *Office GmbH* belieferte Kundenstock etwa 1100 Kunden. Dabei werden die Lieferungen für ca. 600 Kunden direkt vom Unternehmen (nur im Raum Graz) und für ca. 500 Kunden von externen Lieferservices durchgeführt. Auf das Kundenservice wird dabei großer Wert gelegt, so wird den Kunden unter anderem eine 48 Stunden Liefergarantie versprochen. Die Servicezeit (SZ) pro Kunde ist abhängig von der Anzahl an gelieferten Paketen. Es wird dem Fahrer jedoch nahe gelegt, ausreichend Servicezeit für die Kunden einzukalkulieren, da er das persönliche Bindeglied zwischen Unternehmen und Kunde darstellt und für einen guten direkten Kontakt zu den Kunden verantwortlich ist.

5.3 Quantitative Analyse mittels Fahrtenbuchauswertung

Anhand der Fahrtenbuchauswertung soll gezeigt werden, welche Touren der Fahrer gewählt hat und wie seine Vorgehensweise war. Die benötigten Daten wurden durch eine empirische Untersuchung über einen Zeitraum von zwei repräsentativen Arbeitswochen

⁵⁸ vgl. Homepage Renault Österreich GmbH (2010)

(12.4.2010 bis 23.4.2010) gesammelt. Folgende Daten wurden im Fahrtenbuch aufgezeichnet:

- Startzeitpunkt der Tour
- Endzeitpunkt der Tour
- Servicezeiten bei Kunden
- Zurückgelegte Distanz (in Kilometer)
- Anzahl der ausgelieferten Pakete

Nachfolgende Tabelle zeigt alle eingegangenen Aufträge (A), die korrespondierenden Locations (L), ob es sich beim Auftrag um Heimatbesuche (HB) handelt, die Anzahl der zu liefernden Pakete (P) sowie die Servicezeiten (SZ) bei den Kunden. Die genauen Adressdaten der Locations sind dem Anhang (siehe *Tabelle 34*) zu entnehmen.

Tabelle 2. Aufträge Fahrtenbuch

12.04.2010					13.04.2010					14.04.2010					15.04.2010					16.04.2010				
A	L	HB	P	SZ	A	L	HB	P	SZ	A	L	HB	P	SZ	A	L	HB	P	SZ	A	L	HB	P	SZ
A01	L027		4	9	B01	L052		1	5	C01	L042		1	4	D01	L015		2	6	E01	L108	HB	1	9
A02	L002		1	5	B02	L045		1	4	C02	L041		1	4	D02	L018		4	9	E02	L017		14	8
A03	L105		4	7	B03	L073		2	3	C03	L019		2	1	D03	L095		1	5	E03	L004		8	3
A04	L069		5	9	B04	L066		4	4	C04	L014		1	1	D04	L032		1	6	E04	L054		3	1
A05	L092		1	1	B05	L054		1	10	C05	L075		1	1	D05	L008		2	4	E05	L090		1	6
A06	L103		1	9	B06	L042		1	4	C06	L108	HB	1	11	D06	L087		1	4	E06	L074		2	3
A07	L014		4	4	B07	L083		1	2	C07	L003		1	2	D07	L057		2	4	E07	L037		2	1
A08	L059		1	8	B08	L108	HB	3	3	C08	L098		1	3	D08	L063		2	3	E08	L049		1	2
A09	L067		1	3	B09	L026		1	5	C09	L068		3	10	D09	L086		3	4	E09	L036		1	4
A10	L008		1	3	B10	L096		1	3	C10	L091		2	4	D10	L038		8	14	E10	L095		1	4
A11	L102		3	3	B11	L063		3	4	C11	L043		2	5	D11	L079		1	2	E11	L057		1	2
A12	L049		1	3	B12	L059		2	7	C12	L059		1	3	D12	L047		1	4	E12	L059		1	7
A13	L099		1	4	B13	L061		5	5	C13	L087		1	2	D13	L100		1	5	E13	L071		2	4
A14	L047		1	3	B14	L060		1	1	C14	L057		8	8	D14	L108	HB	3	7	E14	L068		4	3
A15	L107	HB	1	12	B15	L064		2	3	C15	L034		3	2	D15	L107	HB	1	35	E15	L088		6	3
A16	L108	HB	4	4	B16	L070		3	5	C16	L095		4	4	D16	L072		1	2	E16	L003		3	6
					B17	L101		1	6	C17	L032		1	3	D17	L106		3	1	E17	L078		6	2
					B18	L049		2	3	C18	L033		1	4	D18	L039		1	2	E18	L089		4	6
					B19	L107	HB	0	10	C19	L022		3	3	D19	L108	HB	2	5	E19	L020		3	3
					B20	L108	HB	5	15	C20	L100		1	1						E20	L107	HB	1	9
					B21	L040		1	1	C21	L001		1	3						E21	L108	HB	4	11
										C22	L009		3	6						E22	L003		4	6
										C23	L107	HB	2	5										
										C24	L108	HB	8	5										
										C25	L011		6	5										

19.04.2010					20.04.2010					21.04.2010					22.04.2010					23.04.2010				
A	L	HB	P	SZ	A	L	HB	P	SZ	A	L	HB	P	SZ	A	L	HB	P	SZ	A	L	HB	P	SZ
F01	L089		4	5	G01	L072		1	3	H01	L108	HB	11	17	I01	L108	HB	1	2	J01	L065		12	11
F02	L094		6	6	G02	L090		1	6	H02	L107	HB	2	41	I02	L107	HB	1	3	J02	L004		1	3
F03	L108	HB	3	9	G03	L013		3	4	H03	L009		1	8	I03	L108	HB	4	17	J03	L090		1	3
F04	L023		4	8	G04	L012		1	4	H04	L085		5	5	I04	L044		3	6	J04	L002		1	7
F05	L063		1	2	G05	L104		1	4	H05	L017		1	2	I05	L074		3	7	J05	L012		2	3
F06	L012		2	3	G06	L069		4	9	H06	L042		2	4	I06	L024		1	3	J06	L101		1	6
F07	L014		1	2	G07	L096		1	5	H07	L004		1	4	I07	L056		1	5	J07	L095		1	2
F08	L076		1	1	G08	L023		4	10	H08	L035		6	6	I08	L017		1	3	J08	L094		3	3
F09	L042		3	6	G09	L060		2	1	H09	L030		2	2	I09	L025		6	3	J09	L059		1	2
F10	L090		2	4	G10	L062		1	3	H10	L013		1	4	I10	L058		2	2	J10	L084		1	1
F11	L107	HB	5	16	G11	L007		1	5	H11	L063		2	6	I11	L059		3	2	J11	L079		1	1
F12	L066		1	2	G12	L029		1	3	H12	L059		1	2	I12	L021		2	4	J12	L097		11	10
F13	L100		1	2	G13	L101		1	5	H13	L016		1	3	I13	L063		4	4	J13	L003		1	3
F14	L073		1	3	G14	L095		1	5	H14	L031		1	5	I14	L028		1	2	J14	L104		20	13
F15	L005		1	3	G15	L049		2	5	H15	L029		1	3	I15	L096		1	3	J15	L107	HB	4	14
F16	L018		1	2	G16	L050		1	1	H16	L051		1	2	I16	L053		1	1	J16	L108	HB	4	3
F17	L101		1	11	G17	L055		3	2	H17	L050		1	3	I17	L010		1	1	J17	L089		1	3
F18	L058		8	36	G18	L048		1	3	H18	L071		1	2	I18	L100		1	1					
F19	L080		4	5	G19	L081		1	4	H19	L069		1	5	I19	L045		1	6					
F20	L108	HB	3	11	G20	L046		4	14	H20	L003		5	3	I20	L107	HB	3	15					
F21	L107	HB	2	5	G21	L006		2	11	H21	L082		1	5	I21	L108	HB	5	7					
F22	L108	HB	2	5	G22	L107	HB	15	19	H22	L077		6	7	I22	L093		4	6					
					G23	L108	HB	5	13	H23	L107	HB	2	16										
										H24	L108	HB	7	2										
										H25	L089		4	4										
										H26	L003		4	7										
										H27	L107	HB	3	5										
										H28	L108	HB	4	10										

Während des Untersuchungszeitraums wurden 225 Aufträge direkt mittels Zustellung abgefertigt. Nicht jeder Auftrag entspricht dabei einem Kunden, da es über die zwei Wochen zu Mehrfachlieferungen zu gewissen Kunden kam. An jedem Untersuchungstag wurde eine Tour vom Fahrer erstellt. *Tabelle 3* zeigt eine Auswertungen der Touren, wobei folgende Daten erhoben wurden:

- Tour-Start (TS)
- Tour-Ende (TE)
- Tour-Dauer (TD)
- Zurückgelegte Distanz (D)
- Anzahl der Aufträge (A)
- Anzahl Pakete (P)
- Servicezeit beim Kunden (SZ)
- Servicezeit pro Auftrag (SZ/A)
- Servicezeit pro Paket (SZ/P)
- Pakete pro Auftrag (P/A)

Tabelle 3. Fahrtenbuchauswertung

Datum	TS (hh:mm)	TE (hh:mm)	TD (hh:mm)	D (in km)	A	P	SZ (in min)	SZ/A (in min)	SZ/P (in min)	P/A
12.04.10	8:28	12:00	3:32	47	17	34	87	5,44	2,56	2,13
13.04.10	8:25	12:05	3:40	36	22	41	103	4,90	2,51	1,95
14.04.10	8:37	12:35	3:58	41	26	59	100	4,00	1,69	2,36
15.04.10	8:25	12:20	3:55	42	20	40	122	6,42	3,05	2,11
16.04.10	8:09	12:17	4:08	29	23	73	103	4,68	1,41	3,32
19.04.10	8:21	12:45	4:24	38	23	57	147	6,68	2,58	2,59
20.04.10	8:50	13:16	4:26	53	24	57	139	6,04	2,44	2,48
21.04.10	8:00	13:50	5:50	63	29	78	183	6,54	2,35	2,79
22.04.10	8:25	12:16	3:51	41	23	50	103	4,68	2,06	2,27
23.04.101	8:24	11:26	3:02	22	18	66	88	5,18	1,33	3,88
Summe			40:46	412	225	555	1175			
Schnitt	8:24	12:29	4:04	41,2	22,5	55,5	117,5	5,46	2,19	2,59

Die Tabelle gibt eine Übersicht über die vom Fahrer geplanten Touren. Man sieht, dass der Fahrer während des gesamten Untersuchungszeitraums 40 Stunden 46 Minuten im Einsatz war. Der Durchschnitt pro Arbeitstag beträgt dabei 4 Stunden 4 Minuten. Die Arbeitszeit des Fahrers beginnt um 07:30 Uhr, das heißt bei einem durchschnittlichen Tour-Beginn um 08:24 Uhr benötigt der Fahrer 54 Minuten zur Planung und Beladung. Gesamt wurden 225 Aufträge abgefertigt (22,5 pro Tag). Pro Auftrag benötigte der Fahrer im Durchschnitt 5,46 Minuten reine Servicezeit. Im Laufe der 10 Touren wurden 412 km zurückgelegt (41,2 km pro Tour). Pro Auftrag mussten im Schnitt 2,59 Pakete zur Auslieferung vorbereitet werden. Zu beachten ist, dass auch Heimatbesuche (Depotbesuche) als Auftrag gewertet wurden. Üblicherweise erfolgen diese mehrmals täglich und ungeplant was darin begründet liegt, dass die Verkaufsstelle *Wielandgasse* oftmals Waren zum Verkauf aus dem Depot benötigt und der Fahrer daraufhin seine geplante Tour spontan ändern muss um eine Lieferung zwischen den Depots durchzuführen.

Die gesamten Tour-Kosten ergeben sich aus der benötigten Einsatzzeit sowie den Kosten für gefahrene Kilometer. Die Einsatzzeitkosten (Kosten für Fahrer) beziffert das Unternehmen mit 15 Euro pro Stunde, die Kilometerkosten mit 40 Cent pro gefahrenen Kilometer. In Summe bedeutet das Kosten von EUR 776,3 ($15 \times 40,766 + 0,4 \times 412$). Rechnet man noch die durchschnittliche Planungs- und Beladungszeit von 54 Minuten pro Tag mit ein, kommen weitere EUR 135 ($0,9 \times 15 \times 10$) hinzu.

6 Fallbeispiele zur softwareunterstützten Tourenplanung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Untersuchung mehrerer Fallbeispiele zur Tourenplanung. Dabei kommt die Software *TransIT* zum Einsatz. Mit ihrer Hilfe werden die Untersuchungsfälle geplant, ausgewertet und analysiert. In *Kapitel 6.1* wird die Software vorgestellt und ihre wichtigsten Funktionen beschrieben. Besonderes Augenmerk wird dann auf die korrekte Stammdatenverwaltung gelegt. Dem Bereich kommt deshalb eine große Bedeutung zu, da die Stammdatenverwaltung Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Planung ist und entscheidenden Einfluss auf die praktische Bedeutung der Ergebnisse hat. Nach Bestimmung der Grundeinstellungen und Eingabe der Stammdaten werden in *Kapitel 6.2* die aus der Fahrtenbuchanalyse bekannten Touren in die Software implementiert, um so quantitative Daten und Vergleichswerte für die Optimierungsbeispiele zu erhalten. Erst danach kommt es zur Vorstellung der eigentlichen Untersuchungsfälle. Diese lassen sich in drei unterschiedliche Szenarien einteilen, wobei jedes der Szenarien mehrere Fälle beinhaltet. Die Szenarien unterscheiden sich in ihrer Planungsmethode, die Fälle wiederum variieren in den unterschiedlichsten Planungsvoraussetzungen. Schließlich werden die Fälle in *Kapitel 6.4* ausgewertet und die Ergebnisse präsentiert.

6.1 *TransIT*: Standard-Software für Tourenplanung

6.1.1 Vorstellung der Software

„*TransIT* ist eine erfolgreich in der Praxis eingesetzte Software für Tourenplanung. Diese verfügt neben der reinen Planungsfunktion auch über umfangreiche Web-basierte Dienste und Telematikfunktionen“⁵⁹. Die Software wurde vom deutschen Unternehmen *GTS Systems und Consulting GmbH* entwickelt und verwendet quantitative Modelle und Methoden zur Optimierung, Simulation und Prognose ein. Alle durchgeführten Tourenplanungen dieser Arbeit erfolgen mit Hilfe dieser Software. Die Basisfunktionalitäten der Software beinhalten laut Angaben des Entwicklers:

- „Automatische Tourenplanung in Echtzeit, mit der Möglichkeit der manuellen Eingabe und Änderung

⁵⁹ vgl. Homepage *GTS Systems und Consulting GmbH* (2010)

- Halbautomatische Tourenplanung mit
 - Suchen von passenden Aufträgen zu Touren
 - Suchen von passenden Touren zu Aufträgen
- Manuelle Tourenplanung mit
 - Einfügen von Aufträgen in Touren sowie
 - Entfernen von Aufträgen aus Touren
 - Änderung der Reihenfolge von Aufträgen in Touren
- Alternative Auftragstypen
 - Knotenorientiert mit simultaner Abholung und Auslieferung an einem Standort
 - Kantenorientiert (Pickup-and-Delivery) mit getrenntem Abhol- und Auslieferungsort
 - Daueraufträge zur Abbildung regelmäßig wiederkehrender Aufträge
- unter Berücksichtigung von:
 - mehreren Depots
 - mehreren Fahrzeugtypen
 - Auftragsqualifikationen
 - variablen Optimierungszeiträumen
 - Einsatzzeiträumen von Fahrzeugen
 - Auftragskategorien und Auftragsprioritäten
 - Kunden-Öffnungszeiten (auch mehrfache, z. B. alternativ 10:00-12:00 oder 17:00-19:00)
 - Heimatbesuchen bei vollem Fahrzeug
 - Auftragszeitfenstern
 - gesetzlicher Lenkzeitregelung
 - sowohl knoten- als auch kantenorientierten Aufträgen
- Optimierung von Rahmentouren
 - mit flexibler Gebietsschneidung
 - Besuchsrhythmen
 - Kompatibilität zwischen Fahrzeug und Auftrag
- Elektronische Landkarte
 - Ermittlung von Standortkoordinaten (Geokodierung), automatisiert oder manuell
 - Berechnung von Fahrzeiten und Distanzen

- Routing
- Maut
- Telematikdienste
 - Kommunikation mit Partnern (z. B. Dienstleister, Kunden, Filialen) über Webportale
 - Kommunikation mit Fahrern über mobile Endgeräte
 - Ansteuerung von Navigationsgeräten (z. B. tomtom, maptrip)
 - GPS-Ortung mit automatischem Track&Trace
 - Nachträgliche Fahrtauswertungen
 - Digitaler Tachograph
- Stamm- und Bewegungsdatenverwaltung
 - Benutzerverwaltung mit Vergabe unterschiedlicher Rechte
 - Schnittstelle (XML, csv, Excel) für Import und Export von Stamm- und Bewegungsdaten (z. B. Kunden, Aufträge, Touren)
- Reports, deren Ergebnisse interaktiv weiter verwendet werden können
- Konsistenzprüfungen für Touren und Aufträge⁶⁰

Es sei hier ausdrücklich erwähnt, dass in dieser Arbeit die Softwarevariante „*TransIT Forschung und Lehre*“ in der *Version 3.11* verwendet wird, die im Gegensatz zur Vollversion Einschränkungen in ihrer Funktionalität sowie der kommerziellen Nutzbarkeit aufweist. Jeglicher Gebrauch der Software in dieser Arbeit dient ausschließlich den wissenschaftlichen Erkenntnissen und wird nicht für kommerzielle Zwecke missbraucht.

6.1.2 Nutzen durch die Software

Der Nutzen durch die Software hängt von der Zielsetzung des Anwenders ab, generell können durch ihren Einsatz jedoch u.a. folgende Verbesserungen erzielt werden:

- „Erhöhte Effizienz der Disposition bei verringertem Planungsaufwand
- Kostensenkung durch verbesserte Planungsqualität
- Bewältigung eines größeren Auftragsvolumens bei gleichem Fuhrpark
- Reduzierung der Wartezeiten für die Kunden
- Schnelle Reaktion auf Änderungen in der Auftragslage

⁶⁰ vgl. Homepage GTS Systems und Consulting GmbH (2010)

- Erhöhte Transparenz durch die Dokumentation aller Ereignisse und Tätigkeiten
- Durchgängige elektronische Unterstützung des Workflow
- Schaffung von Wachstumspotenzialen, da ein erhöhtes Auftragsaufkommen nicht notwendigerweise einen erhöhten Personalaufwand für die Tourenplanung zur Folge hat
- Geringere Abhängigkeit von Planungsspezialisten⁶¹

6.1.3 Aufbau der Software

Die Software ist ein interaktives System, mit deren Hilfe Tourenplanungen einerseits manuell, andererseits durch mathematische Optimierung durchgeführt werden können. Voraussetzung für die Verwendung der Software ist dabei eine qualitativ hochwertige und vollständige Verwaltung der Stammdaten. Die Software arbeitet mit verschiedenen Typen von sogenannten *Planungsobjekten (PO)* wie beispielsweise *Aufträge*, *Fahrzeuge* oder *Touren*. Über diese werden die planungsrelevanten Daten eingelesen und verwaltet. Auch müssen so etwaige Restriktionen vor der Planung gesetzt werden. Weiter besteht die Möglichkeit, viele kundenspezifische Einstellungen wie Anfahrtszeiten, Öffnungszeiten etc. vorzunehmen. Die Eingabe der Daten erfolgt entweder direkt über die graphische Benutzeroberfläche der Software, oder indirekt über den Import von Microsoft Excel-Tabellen, Access-Tabellen oder Access-Abfragen. Da die Eingabe der Stammdaten einmalig erfolgt und für alle Beispiele konstant bleibt, erfolgt diese direkt über die Benutzeroberfläche. Eine solche Verwaltung wäre jedoch auf Grund der großen Anzahl an Auftragsdaten mit exorbitant hohem Zeitaufwand verbunden, weshalb diese in Microsoft Excel erfolgt und dann eingelesen wird. Die Anzeige der Daten nachdem sie in die Datenbank der Software eingelesen wurden, erfolgt durch sogenannte *Objektdialoge*, wobei für jeden *Objekttyp* mehrere Objektdialoge mit spezifischen Eingabefeldern zur Verfügung stehen. In den folgenden Kapiteln werden die für diese Arbeit relevanten Objektdialoge näher vorgestellt. Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Software ist die sogenannte *Geokodierung*. Mittels dieser werden Adressinformationen automatisch den entsprechenden realen Geokoordinaten zugeordnet, woraus die Entfernungen zwischen allen Orten errechnen werden. Aus diesen Berechnungen wird eine vollständige Distanzmatrix erstellt. Die Berechnung der Distanzen und Zeiten zwischen mehreren Standorten benötigt neben der Optimierung selbst den höchsten Rechenaufwand. Alle

⁶¹ vgl. Homepage GTS Systems und Consulting GmbH (2010)

geokodierten Daten werden auch in einer digitalen Landkarte graphisch dargestellt und ermöglichen so eine bessere Veranschaulichung der Berechnungen.

6.1.4 Aufnahme der Stammdaten

Die Stammdaten können als Grundgerüst der Software verstanden werden und haben entscheidenden Einfluss auf den Output der Planung. Da die Software möglichst praxisrelevante Ergebnisse für die kommenden Fallbeispiele liefern soll, müssen die Einstellungen so getroffen werden, dass die aktuellen Gegebenheiten im Unternehmen möglichst realitätsgetreu und akkurat durch die Software simulieren werden. Die Ergebnisse sollen sowohl in Bezug auf die Zeiten (Tour-Dauer, Netto-Fahrtzeiten etc.), als auch Distanzen (gefahren Kilometer) und Kosten (als logische Konsequenz der ersten beiden Faktoren) realistische Werte liefern. In den folgenden Unterkapiteln werden die Stammdatensätze näher erläutert. Die Setzung der entsprechenden Werte erfolgt einmalig und bleibt für alle Untersuchungsfälle konstant. Alle Beschreibungen für die folgenden Objektdialoge sind angelehnt an die *HTML Help Funktion*, die als integraler Bestandteil der Software von der *GTS Systems und Consulting GmbH* zur Verfügung steht.

6.1.4.1 Setzung geeigneter Zielfunktionswerte

Die Zielfunktion der Software zielt auf eine Minimierung der gesamten Tour-Kosten ab. Die Tour-Kosten bestehen dabei aus...

- Kosten pro gefahrenem Kilometer,
- Kosten pro Stunde, sowie den
- Einsatzkosten.

Das Unternehmen beziffert die Zeitkosten mit 15 Euro pro Stunde bzw. die Kilometerkosten mit 0,4 Euro pro Kilometer. Es wird angenommen, dass die Einsatzkosten den Wert 0 annehmen, wodurch diese vernachlässigt werden können. Die Mehrkosten für die Benutzung eines zusätzlichen Fahrzeuges werden somit lediglich durch die Kosten für gefahrenen Kilometer und der benötigten Zeit ausgedrückt.

6.1.4.2 Objektdialog „Fahrzeugtyp“

Als nächster Schritt bei der Aufnahme der Stammdaten erfolgt die Bestimmung der Fahrzeugtypen. Ein Fahrzeugtyp legt die Basiseigenschaften eines jeden Fahrzeuges fest und wird wie folgt definiert:

Abbildung 9. Objektdialog „Fahrzeugtyp“

Matchcode/Bezeichnung

Der *Matchcode* gibt dem Fahrzeugtyp eine individuelle Kurzbezeichnung für die Datenbank. Die *Bezeichnung* dient der Identifikation des Datensatzes. Wir unterscheiden zwischen zwei unterschiedlichen Fahrzeugtypen:

- Standard Fahrzeug (Kurzbezeichnung „*lkw*“)
- Großes Fahrzeug (Kurzbezeichnung „*grlkw*“)

Die beiden Fahrzeugtypen unterscheiden sich lediglich in ihren Kapazitäten (siehe weiter unten).

Geschwindigkeitsprofil

Weist dem Fahrzeugtyp ein zuvor definiertes Geschwindigkeitsprofil zu (siehe *Kapitel 6.1.4.3*)

Lenkzeitparameter

Die Lenkzeitparameter des Fahrzeugtyps können für folgende Attribute geändert werden: Die *maximale Lenkzeit* des Fahrzeugtyps, die *maximale Lenkzeit ohne Pause*, die *Lenkzeitpausendauer*, die *maximale Strecke* die vom Fahrzeugtyp zurückgelegt werden kann sowie für die *maximale Anzahl an Stopps*. Die entsprechenden Werte für die Lenkzeitparameter können folgender Tabelle entnommen werden:

Tabelle 4. Stammdaten „Lenkzeiten“

Bezeichnung	Wert
Max. Lenkzeit	540 min
Max. Lenkzeit ohne Pause	540 min
Lenkzeitpausendauer	0 min
Max. Strecke	10000 km
Max. Anzahl Stopps	100

Die Werte entsprechen den gesetzlichen Vorgaben für Lastkraftfahrer und wurden ausreichend hoch gewählt, um diese Restriktionen möglichst nicht schlagend werden zu lassen. Die Planung sollte dadurch möglichst nicht beeinflussen werden.

Zeiten

Die Einstellungen der Sparte *Zeiten* beziehen sich auf die Zeitrestriktionen der gesamten Touren und bestehen aus der *maximalen Dauer* einer Tour mit einem Fahrzeug des entsprechenden Typs, der *maximalen Einzelpausendauer*, der *maximalen Gesamtpausendauer*, der *maximalen Schichtdauer* sowie der *maximalen Schichtpausendauer*. Auch hier werden wie bei den Lenkzeitparametern möglichst hohe Werte verwendet, die über alle Untersuchungen hinweg konstant bleiben und wie folgt definiert wurden:

Tabelle 5. Stammdaten „Zeiten“

Parameterbezeichnung	Wert
Max. Dauer	600 min
Max. Einzelpausendauer	600 min
Max. Gesamtpausendauer	600 min
Max. Schichtdauer	720 min
Schichtpausendauer	600 min

Kapazitäten

Zur Bestimmung der Fahrzeugkapazitäten bestehen grundsätzlich drei Typen an Referenzmaßen. Zum Ersten das *Volumen*, zum Zweiten die *Lademeter* und zum Dritten das *Gewicht*. Diese Arbeit beschränkt sich ausschließlich auf die Maßeinheit Volumen (in m³). Folgende Werte wurden für die beiden Fahrzeugtypen gewählt (zur näheren Erklärung der gesetzten Werte sei auf Kapitel 6.1.5.2 verwiesen):

Tabelle 6. Stammdaten „Fahrzeugkapazität“

Fahrzeugtyp	Kapazität
lkw	2,8 m ³
grlkw	5,6 m ³

Der Werte für den Fahrzeugtyp *lkw* richtet sich nach dem von der *Office GmbH* verwendeten Standard-Fahrzeug (siehe *Kapitel 5.2.3*) mit 2,8m³ Volumen Fassungsvermögen. Beim Typ *grlkw* wird ein doppelt so großes Fahrzeug mit einem Fassungsvermögen von 5,6m³ Volumen angenommen.

Sonstige Eingabefelder

Die sonstigen Eingabefelder zur Bestimmung des Fahrzeugtyps wie Artikeltyp oder Umweltinformationen werden nicht näher erläutert, da sie für die hier verwendeten Beispiele nicht relevant sind.

6.1.4.3 Objektdialog „Geschwindigkeitsprofil“

Weist dem Fahrzeugtypen zuvor definierte Geschwindigkeitsmerkmale zu. Das Geschwindigkeitsprofil ist ausschlaggebend für die Berechnung der Kostenmatrix. Abhängig davon, wie lange ein Fahrzeug von A nach B benötigt, ändern sich die Kosten.

Das Geschwindigkeitsprofil wird über einen eigenen Objektdialog definiert und bekommt eine eindeutige Bezeichnung zugewiesen. In dieser Arbeit bezeichnen wir das einzig verwendete Geschwindigkeitsprofil als „Lkw“ und setzen dafür folgende Parameter:

Tabelle 7. Stammdaten „Geschwindigkeitsprofil“

Straßentypen	Wert
Autobahn	90 km/h
Schnellstraße	70 km/h
Stadtgebiet	20 km/h

Wie aus der Tabelle hervorgeht, unterscheidet die Software zwischen den drei Straßentypen *Autobahn*, *Schnellstraße* und *Stadtgebiet*. Für jeden der drei Typen wird eine eigene Geschwindigkeitseinstellung vorgenommen. Zu beachten ist dabei, dass es sich hier um Durchschnittsgeschwindigkeiten handelt und nicht um Geschwindigkeitslimits. Die Werte müssen geschätzt bzw. aus Erfahrungswerten abgeleitet werden, was mitunter Schwierigkeiten verursacht. Vor allem beim Straßentyp *Stadtgebiet* ist es schwierig geeignete Durchschnittsgeschwindigkeiten zu schätzen, da Faktoren wie Staus oder Ampelschaltungen schwer kalkulierbar sind. Die gewählten Werte liegen deutlich unter der erlaubten Höchstgeschwindigkeit und wurden durch Befragung des Fahrers und mittels Fahrtenbuchanalyse bestimmt.

6.1.4.4 Objektdialog „Fahrzeug“

Nachdem die Einstellungen für die Fahrzeugtypen vorgenommen wurden, folgt im nächsten Schritt die Bestimmung der Attribute der einzelnen Fahrzeuge (siehe *Abbildung 10*) der Flotte. Dabei wird jedes eingesetzte Fahrzeug individuell betrachtet und mit entsprechenden Daten gespeist.

Abbildung 10. Objektdialog „Fahrzeug“

Matchcode/Bezeichnung

Der *Matchcode* gibt dem Fahrzeug eine individuelle Kurzbezeichnung für die Datenbank. Die *Bezeichnung* dient der Identifikation des Datensatzes.

Fahrzeugtyp

Teilt jedem Fahrzeug einen zuvor festgelegten Fahrzeugtypen (*siehe 6.1.4.2*) zu.

Adressfelder

Bestimmen den Heimatstandort jedes Fahrzeugs. Von diesem Standort startet das Vehikel und kehrt nach Fertigstellung der Tour wieder zurück. Die Daten werden mittels Geokodierung in reale Geokoordinaten umgewandelt.

Qualifikationen

Mit der Funktion *Qualifikationen* können den Fahrzeugen spezifische Eigenschaften (wie Sondertransporter etc.) zugeteilt werden. Da es sich in unseren Beispielen immer um Fahrzeuge desselben Typs handelt, bleibt diese Einstellung auf „Standard“.

Regelfahrzeiten

Über die Einstellung *Regelfahrzeiten* lassen sich die Einsatzzeiten der Fahrzeuge regeln. So kann man erzwingen, dass gewisse Fahrzeuge nur an bestimmten Tagen oder zu bestimmten Zeiten eingesetzt werden.

Sonstige Eingabefelder

Die sonstigen Eingabefelder zur Bestimmung der Fahrzeugeigenschaften wie *Fahrerkontakt* etc. werden nicht näher erläutert, da sie für die hier verwendeten Beispiele nicht relevant sind.

Folgende Fahrzeuge stehen bei den Fallbeispielen zur Verfügung:

Tabelle 8. Stammdaten „Fahrzeuge“

Kurzbezeichnung	Bezeichnung	Fahrzeugtyp	Regelfahrzeiten	Heimatstandort
F1	Standard-Fahrzeug 1	lkw	08:00-17:00	Depot 1
F2	Standard-Fahrzeug 2	lkw	08:00-17:00	Depot 2
F3	Standard-Fahrzeug 3	lkw	08:00-17:00	Depot 3
F4	Großes Fahrzeug 1	grlkw	08:00-17:00	Depot 1
F5	Großes Fahrzeug 2	grlkw	08:00-17:00	Depot 3

6.1.4.5 Objektdialog Depot

Folgende Depots werden in den Stammdatensatz aufgenommen:

Tabelle 9. Stammdaten „Depot“

Kurzbezeichnung	Bezeichnung	Typ	Öffnungszeiten	Location	SZ (in min)
D1	Depot 1	Hauptlager	08:00-17:00	L107	15
D2	Depot 2	Nebenlager, Kunde	08:00-17:00	L108	15
D3	Depot 3	Zweitlager	08:00-17:00	L109	15

Depot 1 ist das Hauptlager und Startdepot für *F1* und *F4* und befindet sich in L107. *Depot 2* ist eine unternehmensinterne Zweigstelle ohne Lager und daher kein Depot im herkömmlichen Sinn. Vielmehr kann der Standort als normaler Kunde betrachtet werden.

Es wird jedoch als Depot bezeichnet, da tägliche Heimatbesuche durchgeführt werden. *Depot 3* ist ein zweites reguläres Lager und Heimatstandort für *F3* und *F5*. Es befindet sich in L109. Jedem Depot wird eine fixe Servicezeit (SZ, Beladezeit) von 15 Minuten zugeteilt.

6.1.5 Aufnahme der Auftragsdaten

6.1.5.1 Objektdialog „Auftrag“

Der Objektdialog *Auftrag* zählt zu den wichtigsten Planungsvoraussetzungen. Hier werden alle wichtigen Informationen bezüglich eines Kundenauftrages verwaltet. In der Regel besteht eine Tourenplanung aus einer großen Anzahl an Aufträgen. Da die Datenverwaltung über die manuelle Eingabe jedes einzelnen Auftrages viel zu aufwendig und zeitintensiv wäre, erfolgt diese über ein externes Programm wie z.B. *Microsoft Excel*. Die Daten können so leichter bearbeitet und aktualisiert werden. Die Datenpflege in *Microsoft Excel* erfolgt dabei nach gewissen Richtlinien, so sind die Spalten des *Excel* Sheets vordefiniert und auch die Daten selbst müssen gewissen Schemata folgen. Neben den Erklärungen zu den einzelnen Eingabefeldern wird in diesem Abschnitt deshalb auch die entsprechende Importbezeichnung angeführt. *Abbildung 11* zeigt den Objektdialog „Auftrag“ aus der Benutzeroberfläche der Software.

Abbildung 11. Objektdialog „Auftrag“

Matchcode/Bezeichnung

Der *Matchcode* gibt dem Auftrag eine individuelle Kurzbezeichnung für die Datenbank. Die *Bezeichnung* dient der Identifikation des Datensatzes.

Importspalten: KBEZ, BEZ

Zeiten

Im Bereich *Zeiten* wird der zeitliche Rahmen des Auftrags vorgegeben. Dieser zeitliche Rahmen wird durch Angaben unter den Karteikarten *Servicezeiten* und *Ausschlusszeiten* (geben regelmäßige Zeiten an, zu denen der Auftrag von Seiten des Lieferanten ausführbar bzw. nicht ausführbar ist) ergänzt. Wichtig sind vor allem die Einstellungen bezüglich *Anfahrtszeit* und *Abholzeit*. Diese regeln die Zeitfenster, an denen Kunden besucht werden können. Die *früheste Anfahrt* gibt vor, wann ein Fahrzeug zur Auftragsausführung frühestens eintreffen kann, bezeichnender Weise gibt die *späteste Anfahrt* vor, bis wann ein Fahrzeug spätestens beim Kunden eintreffen muss. Die *Dauer* bestimmt die

Servicezeit, die pro Kunde für Entladung bzw. sonstiges Serviceleitungen einkalkuliert wurde.

Importspalten: FA, SA, FTS, STE, SZ, VT1, VT2, SZ1 BEGINN, SZ1 ENDE, SZ2 BEGINN, SZ2 ENDE

Leistungstyp

Der Leistungstyp ist ein eigener, zuvor definierter Objektdialog zur Bestimmung von Auftragsattributen. Es bestimmt verschiedene Auftragsvoraussetzungen und kann somit als Regulator zusätzlicher Nebenbedingungen eingesetzt werden. Man kann beispielsweise jedem Kunden über verschiedene Leistungstypen einen speziellen Fahrer zuzuordnen.

Importspalten: LT

Adressfelder

Die Adressfelder dienen wieder der Bestimmung der geographischen Position eines Auftrags/Kunden. Die Daten werden mittels Geokodierung in reale Geokoordinaten umgewandelt.

Importspalten: STRASSE, NR, PLZ, ORT, L

Kapazitäten

Da jeder Auftrag mit einer Lieferung gleichzusetzen ist, verbraucht jeder Auftrag einen gewissen Teil der zur Verfügung stehenden Fahrzeugkapazität. Da bereits in Kapitel 6.1.4.2 darauf hingewiesen wurde, dass als Maßeinheit für Kapazitäten ausschließlich das *Volumen* verwendet wird, dient auch hier das Feld *Zuführung Volumen* als relevantes Eingabefeld. Jeder Auftrag ist also mit einer gewissen Volumszuführung versehen, die aufsummiert die Fahrzeugkapazität nicht überschreiten darf.

Importspalten: ZF VOL

Importspalten Auftragsdatensatz

Zusammenfassend sind in *Tabelle 10* alle Importspalten übersichtsmäßig aufgelistet und erklärt.

Tabelle 10. Importspalten eines Auftragsdatensatzes

Abkürzung	Importbezeichnung	Bedeutung
KBEZ	Kurzbezeichnung	Kurzbezeichnung des Auftrags
BEZ	Bezeichnung	Bezeichnung des Auftrags
LT	Leistungstyp	siehe <i>Kapitel 6.1.5.1</i> – Leistungstyp
QUALI	Qualifikation	siehe <i>Kapitel 6.1.5.1</i> – Qualifikation
AT	Artikeltyp	siehe <i>Kapitel 6.1.5.1</i> – Artikeltyp
STRASSE	Straße	Straßenname des zu beliefernden Kunden
NR	Hausnummer	Hausnummer des zu beliefernden Kunden
PLZ	PLZ	Postleitzahl des zu beliefernden Kunden
ORT	Ort	Ort des zu beliefernden Kunden
L	Land	Land des zu beliefernden Kunden
FA	Früheste Ankunft	siehe <i>Kapitel 6.1.5.1</i> – Zeiten
SA	Späteste Ankunft	siehe <i>Kapitel 6.1.5.1</i> – Zeiten
FTS	Frühester Tour-Start	siehe <i>Kapitel 6.1.5.1</i> – Zeiten
STE	Späteste Tour-Ende	siehe <i>Kapitel 6.1.5.1</i> – Zeiten
ZF VOL	Zuführung Volumen	siehe <i>Kapitel 6.1.5.1</i> – Zeiten
SZ	Fixe Dauer	Servicezeit bei Kunden
VT1	Verkehrstage 1	Wochentage an denen Servicezeit 1 gilt
SZ1 BEGINN	Servicezeit 1 Beginn	siehe <i>Kapitel 6.1.5.1</i> – Zeiten
SZ1 ENDE	Servicezeit 1 Ende	siehe <i>Kapitel 6.1.5.1</i> – Zeiten
VT2	Verkehrstage 2	Wochentage an denen Servicezeit 2 gilt
SZ2 BEGINN	Servicezeit 2 Beginn	siehe <i>Kapitel 6.1.5.1</i> – Zeiten
SZ2 ENDE	Servicezeit 2 Ende	siehe <i>Kapitel 6.1.5.1</i> – Zeiten

Die in der Arbeit verwendeten Auftragsdatensätze ändern sich von Fallbeispiel zu Fallbeispiel und werden daher in den entsprechenden Kapiteln näher erläutert.

6.1.5.2 Operationalisieren und Implementieren der Auftragsinformationen

Wie bereits erwähnt, gibt die Software genau vor, welche Auftragsinformationen für die Planung erforderlich sind. Dabei muss sich der Planungsbeauftragte exakt an die Vorgaben der Software halten. Nicht alle dieser verlangten Daten können aus der Praxis direkt übernommen werden. Kommt es also zu Abweichungen zwischen den verlangten und den

vom Unternehmen zur Verfügung gestellten Daten, müssen diese vor der Implementierung an die Softwarevorgaben angeglichen werden. In einigen Fällen zeigten sich hier Schwierigkeiten.

Die Adressdaten der Aufträge stellen kein Problem dar und können direkt aus dem unternehmensinternen EDV-System übernommen werden. Auch die Zeitparameter bereiten keine Schwierigkeiten und können kundenspezifisch vergeben werden. Jedem Kunden wird dabei eine individuelle Lieferzeit zugeteilt. In der Regel sind alle Kunden von 8:00 Uhr bis 16:30 Uhr belieferbar. Einzige Ausnahme stellen Kunden in gewissen Innenstadtzonen dar. Diese Kunden können nur vormittags von 8:00 Uhr bis 10:30 Uhr beliefert werden. Die genaue Auflistung dieser Kunden findet sich in *Tabelle 34* im Anhang. Der Wert für den *frühesten Tour-Start* wird für alle Beispiele mit 8:00 Uhr angenommen. Damit wird davon ausgegangen, dass der Fahrer, dessen Dienstbeginn 7:30 Uhr ist, eine halbe Stunde Zeit zum Beladen des Fahrzeuges hat. Das *späteste Tourende* wird für alle Beispiele von Montag bis Donnerstag auf 17:00 Uhr und am Freitag auf 14:00 Uhr festgesetzt.

Die *Servicezeiten (SZ)* bei den Kunden sind im Voraus nicht genau bekannt. Die Software verlangt jedoch eindeutige Werte, die jedem Auftrag im Vorhinein zugewiesen werden müssen. Als Standardeinstellung wird angenommen, dass die Servicezeiten von der Anzahl der zu liefernden Pakete abhängig sind. Diese sind für jeden Auftrag im Voraus bekannt und dienen als Multiplikator zur Errechnung der Servicezeiten. Aus der Fahrtenbuchauswertung ist bekannt, dass die Servicezeit pro Paket im Durchschnitt etwa zwei Minuten beträgt. Multipliziert man diesen Wert mit der Anzahl an Paketen, kann für jeden Auftrag eine individuelle Servicezeit berechnet werden. Heimatbesuche, die wie Aufträge zu werten sind, haben ebenfalls eine gewisse Servicezeit. Die benötigte Zeit für Wiederbeladungsstopps (15 Minuten pro Stopp) hingegen zählt nicht als Servicezeit sondern wird extra zur gesamten Tour-Dauer hinzugerechnet.

Die Werte für die *Verkehrstage* (jene Tage, an denen Auslieferungen stattfinden) werden als sieben aufeinanderfolgende binäre Variablen verwaltet, wobei jede der sieben Zahlen einen Wochentag repräsentiert. Nimmt die Variable den Wert *eins* an, wird an diesem Tag der Kunde bedient, nimmt die Variable den Wert *null* an, ist dies nicht der Fall. Hat also beispielsweise ein Kunde die Werte „1111100“ als Verkehrstage, bedeutet das, dass er an einem Montag, Dienstag, Mittwoch, Donnerstag und Freitag, nicht jedoch an einem

Samstag und Sonntag beliefert werden kann. Die Werte für *Servicezeit Beginn* (ab diesem Zeitpunkt ist eine Lieferung prinzipiell möglich) bzw. *Servicezeit Ende* (bis zu diesem Zeitpunkt ist eine Lieferung prinzipiell möglich) beziehen sich auf die zuvor definierten Verkehrstage.

Probleme bereitete vor allem die Setzung der Kapazitätsrestriktionen. Die Software verlangt bei jedem Auftrag genaue Informationen bezüglich des Volumens, des Gewichts oder der Lademeter einer Lieferung (*Zuführung Volumen, Zuführung Gewicht, Zuführung Lademeter*). In der Praxis verwendet die *Office GmbH* jedoch keine dieser Maßeinheiten. In der Regel werden die Produkte zu Paketen unterschiedlichen Gewichts und Inhaltes verpackt. Um jedoch auf eines der angebotenen Maße zu gelangen, wurde die Annahme getroffen, dass alle Pakete großemäßig genormt sind und ein Volumen von $0,07\text{m}^3$ (entspricht in etwa der Größe einer Standard-Ordnerschachtel) aufweisen. Daraus ergibt sich, dass bei einem Fassungsvermögen des Standard-Fahrzeuges von $3,2\text{m}^3$ ($2,8\text{m}^3$ nach Abzug einer Pufferzone für Hubwagen etc. von $0,4\text{m}^3$) genau 40 Pakete ($0,07 \cdot 40 = 2,8$) pro Fahrzeug transportiert werden können (bzw. 80 Pakete für den Fahrzeugtyp „*grlkw*“). Dies entspricht in etwa den realen Gegebenheiten. Umgekehrt lässt sich aus der Anzahl der Pakete pro Auftrag schließen, wie viel Volumen dem Fahrzeug pro Tour zugeführt wird bzw. wann die Kapazität des Fahrzeuges erschöpft ist.

6.1.6 Planung

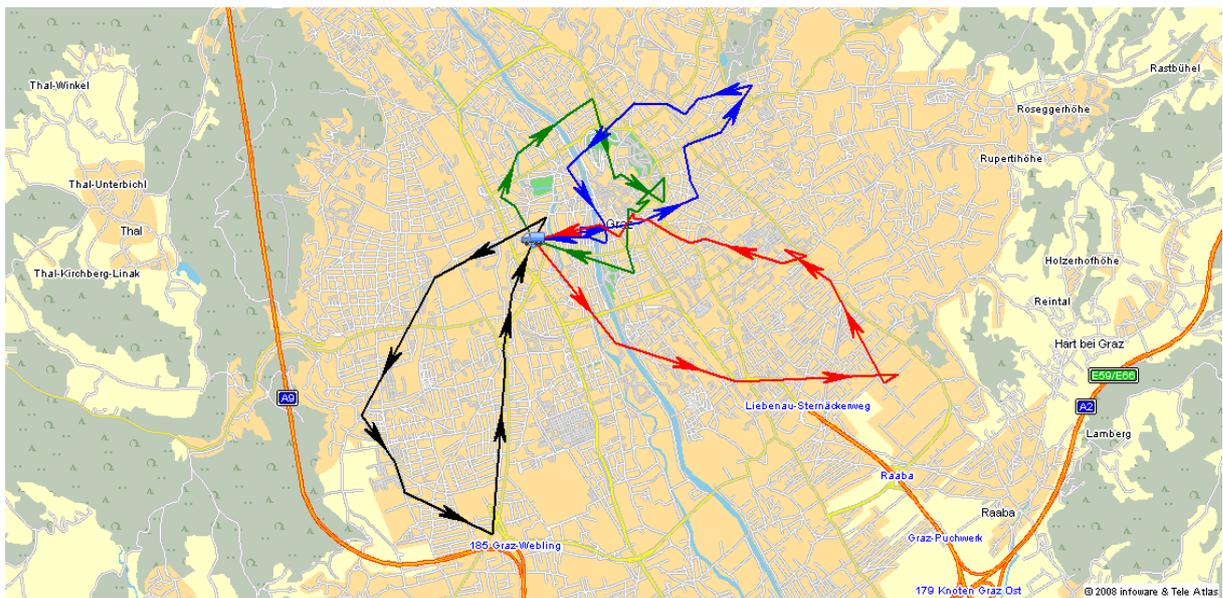
Sind nun alle Stammdaten eingegeben, erfolgt die eigentliche Tourenplanung. Als erster Planungsschritt erfolgt die Festlegung eines geeigneten Planungshorizonts. Die Software ist prinzipiell in der Lage sowohl kurzfristige (Tagesplanung), als auch mittel- und langfristige Planungen (Mehr-Tages-Planungen) durchzuführen. Entscheidend für die Wahl des Planungshorizonts ist, ob bzw. wie lange im Voraus die Aufträge bekannt sind und bis wann diese erfüllt werden müssen. Nach Festlegung des Planungshorizonts können die Aufträge über das sogenannte *Planungsfenster* in die Planung einbezogen werden. Das Planungsfenster besteht aus einem *Gantt-Diagramm* und einer *Planungsliste*. Alle Aufträge und Fahrzeuge werden mittels Drag-and-Drop Funktion dort aufgenommen. Es besteht nun die Möglichkeit, entweder eine *manuelle Tourenplanung* (manuelle Reihenfolge der Kundenbesuche, MTP) oder eine *automatische Tourenplanung* (Reihenfolge mittels Optimierung bestimmt, OTP) durchzuführen. Für die MTP zieht man einfach die Aufträge in gewünschter Reihenfolge in das Gantt-Diagramm, wodurch sofort

die entsprechende Tour angezeigt wird. Es lässt sich dabei extra bestimmen, ob alle Restriktionen eingehalten werden sollen oder nicht. Mit der Funktion *Optimierung* übernimmt der Rechner diese Aufgabe und errechnet unter Berücksichtigung aller Nebenbedingungen eine optimale Tour. Kann bei einem Auftrag eine Restriktion nicht eingehalten werden, wird der Auftrag nicht verplant. Die Rechenzeit dafür ist neben der Rechnerleistung von der Anzahl der Aufträge und des Planungshorizonts abhängig und variiert zwischen wenigen Sekunden bis hin zu einigen Stunden. Nach Beendigung der Optimierung lassen sich die Touren manuell modifizieren.

6.1.7 Auswertung

Die Auswertung der Ergebnisse der Tourenplanung erfolgt in drei Varianten: Entweder über *Datentabellen*, über ein *Gantt-Diagramm* oder *graphisch* über eine digitale Landkarte. Bei der tabellarischen Auswertung lassen sich beliebige Anzeigeoptionen einstellen und kombinieren. So können beispielsweise alle Touren inklusive der Tour-Stationen einzeln ausgewiesen werden, oder ein Gesamtergebnis über die Summe aller Touren. Eine Filterfunktion der Software lässt hierfür beliebigen Spielraum. Analog zur Importfunktion können diese Daten dann in externe Programme wie *Microsoft Excel* exportiert werden. Mit Hilfe der graphischen Auswertung lassen sich die Touren optisch gut veranschaulichen. Auch hier lässt sich eine Vielzahl an Feineinstellungen tätigen, so kann beispielsweise bestimmt werden, ob die Fahrtrouten nur schematisch (in Form von Luftlinien) oder exakt (anhand des Straßenverlaufs) angezeigt werden. Die Software bietet auch die Möglichkeit, beliebig nahe in die digitale Landkarte zu zoomen, um so exakte Vorstellungen über den Straßenverlauf zu bekommen. Folgende Abbildung dient als Beispiel für die in dieser Arbeit verwendeten graphischen Auswertungen:

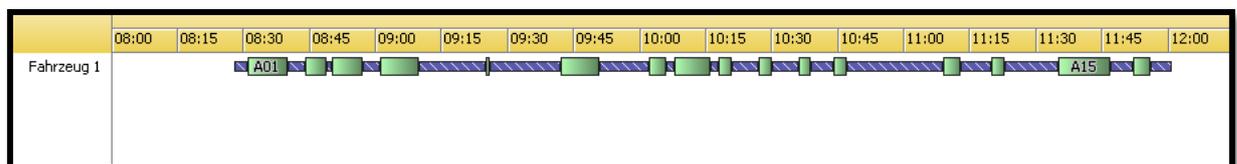
Abbildung 12. Beispiel Auswertung: Graphik



Die Abbildung zeigt den geographischen Raum Graz auf einer digitalen Landkarte. Die eingezeichneten Linien mit Pfeilen in unterschiedlichen Farben repräsentieren schematisch die geplanten Touren und deren Fahrtrichtung. Zur besseren Übersicht verwenden wir dabei stets Luftlinien zwischen zwei Orten. Das blaue Fahrzeug in der Mitte der Abbildung repräsentiert ein Depot und zeigt somit zugleich Ausgangs- als auch Endpunkt der Touren.

Das Gantt-Diagramm zeigt die erstellten auf einer Zeitskala und sieht wie folgt aus:

Abbildung 13. Beispiel Auswertung: Gantt Diagramm



Die blaue Linie symbolisiert die Netto-Fahrzeit, die grünen Balken stehen für die benötigte Zeit pro Aufträge. Je länger die blaue Linie zwischen den grünen Balken ist, desto länger benötigt ein Fahrzeug von einem Auftrag zum Nächsten. Je breiter die grünen Balken sind, desto länger ist die Servicezeit beim jeweiligen Kunden. Das Gantt-Diagramm bietet den Vorteil, die Dauer aller Aktivitäten deutlich erkennbar zu machen. Außer Acht gelassen werden jedoch die Abhängigkeiten und sachlichen Zusammenhänge der Aufträge. Zur

manuellen Optimierung ist das Gantt-Diagramm daher eher ungeeignet, es bietet lediglich eine gute Übersicht für das Zeitmanagement.

6.2 Manuelle Tourenplanung: Implementierung der Ist-Situation

Im ersten Untersuchungsfall wird versucht, die aus der Fahrtenbuchanalyse bekannten Touren akkurat in die Software zu implementieren, um diese dadurch quantifizierbar zu machen. So können die Optimierungsbeispiele der nachfolgenden Szenarien besser mit der momentanen Situation im Unternehmen verglichen werden. Die Planung erfolgt mit Hilfe der Softwarefunktion „*manuelle Tourenplanung*“. Diese ermöglicht es, die Reihenfolge der Aufträge selbstständig zu wählen. Die Ergebnisse der hier durchgeführten Softwareplanung sollen sowohl in Bezug auf die Zeiten, als auch die Distanzen und Kosten möglichst ident mit jenen der Fahrtenbuchauswertung sein. Damit wäre gezeigt, dass die Grundeinstellungen und Stammdaten gut gewählt wurden und die reale Situation im Unternehmen realistisch widerspiegelt wird. Die Aufträge entsprechen exakt jenen des Fahrtenbuchs während des Beobachtungszeitraums von 12.04.2010 bis 23.04.2010. Die Abfahrtszeiten, Endzeiten, Servicezeiten und Auftragsvolumina werden aus den Fahrtenbuchaufzeichnungen übernommen und mittels Auftragsdatensatz in die Software eingelesen.

6.2.1 Auswertung

Die Auswertung der Planung erfolgt für jeden untersuchten Tag separat. Die Ergebnisse der einzelnen Tage werden jedoch zu einem Endergebnis aufsummiert. Die Anzahl der Touren (AT) ist stets 1, da mit nur einem Fahrzeug gefahren wird. Bei einem Untersuchungszeitraum von 10 Tagen wurden daher genau 10 Touren erstellt. *Tabelle 11* zeigt die Ergebnisse der manuellen Tourenplanung:

Tabelle 11. Auswertung der manuellen Tourenplanung

Datum	AT	A	TS (hh:mm)	TE (hh:mm)	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	D (in km)	K (in EUR)
12.04.10	1	16	8:28	12:01	3:33	2:06	43,4	70,61
13.04.10	1	21	8:25	11:45	3:20	1:37	33,6	63,44
14.04.10	1	25	8:37	12:23	3:46	2:06	43,7	73,98
15.04.10	1	19	8:25	12:15	3:50	1:48	37,0	72,3

Datum	AT	A	TS (hh:mm)	TE (hh:mm)	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	D (in km)	K (in EUR)
16.04.10	1	22	8:09	11:57	3:48	1:28	30,8	69,32
19.04.10	1	21	8:21	12:25	4:04	1:53	39,5	76,8
20.04.10	1	23	8:50	13:11	4:21	2:02	42,0	82,05
21.04.10	1	28	8:00	13:55	5:55	2:52	60,4	112,91
22.04.10	1	22	8:25	11:53	3:53	2:10	46,0	76,65
23.04.10	1	17	8:24	11:15	2:51	1:23	28,2	54,03
Summe		214			39:21	19:25	404,6	752,09
Durchschnitt		21,4	8:24	12:18			40,46	75,21

Alle Touren werden mit einem einzigen Fahrzeug (*FI*) absolviert. Die kostenintensivste Tour ist die Tour am 21.4.2010 mit Kosten (*K*) von 112,91 Euro. Diese Tour war mit 28 Aufträgen (*A*) auch die Tour mit den meisten Aufträgen. Die Summe der Zeiten aller Touren während der zwei Wochen beträgt 39 Stunden 21 Minuten. Der von der Software berechnete Wert für die zurückgelegte Distanz (*D*) liegt bei 404,6 km. Die Gesamtkosten betragen 752,09 Euro. Da von den gleichen Tour-Startzeiten (*TS*) ausgegangen wird wie bei der Fahrtenbuchauswertung, ändern sich die Kosten für die Beladungs- und Planungszeit in diesem Beispiel nicht im Vergleich zu den Ergebnissen aus der Fahrtenbuchauswertung und bleiben bei 135 Euro.

6.2.2 Fazit

In dieser ersten Untersuchung wurden die aus der Fahrtenbuchanalyse bekannten Touren in die Software implementiert und mittels Softwarefunktion *manuelle Tourenplanung* nachgestellt, um so die vom Planungsbeauftragten gewählten Touren zu quantifizieren. Die Ergebnisse dienen als Referenzwerte für die Optimierungsbeispiele und können mit diesen verglichen werden. Die von der Software erhaltenen Planungsdaten bezüglich zurückgelegter Distanz und benötigter Zeiten weichen kaum von den realen Werten aus der Fahrtenbuchanalyse ab, was bedeutet, dass die zuvor definierten Grundeinstellungen (Durchschnittsgeschwindigkeiten etc.) sowie die Stammdaten (Kapazitätsbeschränkungen etc.) so gewählt wurden, dass sie die realen Gegebenheiten gut simulieren.

6.3 Optimierte Tourenplanung: Vorstellung der Fallbeispiele

Nachdem in den vorherigen Kapiteln eine Analyse der aktuellen Situation im Unternehmen durchgeführt und die Stammdaten in die Planungssoftware aufgenommen wurden, sollen nun anhand unterschiedlicher Fallstudien diverse Szenarien mit Hilfe *automatischer Tourenplanung (optimierter Tourenplanung, OTP)* untersucht werden. Die Funktion ist wie auch die *manuelle Tourenplanung (MTP)* integraler Bestandteil der *TransIT* Software. Die Fallbeispiele basieren teilweise auf realen Gegebenheiten, teilweise werden auch fiktive Ausgangssituationen (erweiterter Fuhrpark, Änderung der Auftragslage, Änderung der Servicezeiten etc.) angenommen. In der Praxis wäre es sehr aufwändig und teilweise zu kostenintensiv, diese Szenarien in die Tat umzusetzen und zu testen. Mit Hilfe der Software ist es jedoch möglich, verschiedene Ideen und Ansätze zu simulieren, ohne dabei finanziellen Risiken ausgesetzt zu sein. Grundsätzlich unterscheiden wir bei den Untersuchungen dieser Arbeit zwischen drei Szenarien:

- Szenario 1: Tagesplanung mit konstanter Auftragslage über einen Untersuchungszeitraum von zwei Wochen.
- Szenario 2: Mehr-Tages-Planung mit konstanter Auftragslage und fixen Besuchsfrequenzen über einen Untersuchungszeitraum von zwei Wochen.
- Szenario 3: Eine Ein-Tages-Planung mit variabler Auftragslage.

Jedes Szenario untersucht eine Reihe von unterschiedlichen Fällen, die sich durch Änderung der Ausgangslage bzw. Restriktionen voneinander unterscheiden.

Bei der OTP werden die Aufträge mittels mathematischer Optimierung kostenminimierend verplant. Die Optimierung erfolgt durch unterschiedliche heuristische Verfahren, die zunächst eine Startlösung erzeugen und in weiterer Folge durch Verbesserungsverfahren die Lösung weiter verbessern. Als Voraussetzung dafür stellt die Software im Gegensatz zur MTP zusätzliche Anforderungen an die Auftragsdatenverwaltung. Die Software entscheidet allein über die Reihenfolge der zu besuchenden Kunden – es handelt sich also, abhängig von der Anzahl der Fahrzeuge, um ein *TSP* bzw. *VRP*. Damit die Software möglichst gute Entscheidungen treffen kann und ein optimaler Output erreicht wird, ist es von großer Bedeutung, möglichst alle von der Software verlangten Inputs bereitzustellen. Es ist notwendig, jedem Kunden einmalig spezifische Werte zuzuordnen und in die Datenbank aufzunehmen. Vor allem die Setzung von Zeit- und Kapazitätsrestriktionen ist

unerlässlich. Es muss beispielsweise darauf geachtet werden, dass gewisse Kunden nur an bestimmten Zeiten beliefert werden können, dass die Fahrzeuge nur eine begrenzte Kapazität aufweisen oder dass das Depot nur zu gewissen Servicezeiten geöffnet ist etc.

Tabelle 12 gibt eine generelle Übersicht über alle Fallbeispiele und deren Eigenschaften. Eine nähere Erläuterung der Fälle folgt in den nachfolgenden Kapiteln.

Tabelle 12. Übersicht Fallbeispiele

		Szenario 1					
		Fall 1.1	Fall 1.2	Fall 1.3	Fall 1.4	Fall 1.5	Fall 1.6
Methode		OTP	OTP	OTP	OTP	OTP	OTP
Ziel	Zielfunktion	Transportkosten-Minimierung	Transportkosten-Minimierung	Transportkosten-Minimierung	Transportkosten-Minimierung	Transportkosten-Minimierung	Transportkosten-Minimierung
	Transportproblem	TSP	TSP + VRP	TSP	TSP	TSP	TSP
	Fallspezifikation	Reale Voraussetzungen	Änderung Fuhrpark (Anzahl)	Änderung Fuhrpark (Typ)	Keine Heimatbesuche	Änderung SZ	Zeitfenster-Relaxion
Planungs-funktionen	Planungshorizont	Tagesplanung	Tagesplanung	Tagesplanung	Tagesplanung	Tagesplanung	Tagesplanung
	Planungstage	10	10	10	10	10	10
	Anzahl Fahrzeuge	1	optimal	1	1	1	1
	Anzahl Depots	1	1	1	1	1	1
	Wiedereinsatz-Planung	bei Kapazitäts-Überschreitung					
	Erzwungene Heimatbesuche	1x täglich	1x täglich	1x täglich	keine	1x täglich	1x täglich
	Gebietszuordnung	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Planungs-verfahren		Gesamtoptimierung	Gesamtoptimierung	Gesamtoptimierung	Gesamtoptimierung	Gesamtoptimierung	Gesamtoptimierung
Restriktionen	Kundenzeitfenster	abhängig von Location					
	Servicezeit bei Kunden	abhängig von Paketen	abhängig von Paketen	abhängig von Paketen	abhängig von Paketen	s=5, s=10	abhängig von Paketen
	Kapazitäts-Restriktionen	lkw	lkw	grlkw	lkw, grlkw	lkw	lkw

		Szenario 2	Szenario 3				
		Fall 2.1	Fall 3.1	Fall 3.2	Fall 3.3	Fall 3.4	Fall 3.5
Methode		OTP	OTP, MTP				
Ziel	Zielfunktion	Transportkosten-Minimierung	Transportkosten-Minimierung	Transportkosten-Minimierung	Transportkosten-Minimierung	Transportkosten-Minimierung	Transportkosten-Minimierung
	Transportproblem	TSP	Single-Depot TSP	Single-Depot VRP	Multi-Depot VRP	Single-Depot TSP	Single-Depot VRP
	Fallspezifikation	Konstante Auftrags-Frequenzen	30 Aufträge	30 Aufträge	30 Aufträge	60 Aufträge	60 Aufträge
Planungs-funktionen	Planungshorizont	Mehr-Tages-Planung	Ein-Tages-Planung	Ein-Tages-Planung	Ein-Tages-Planung	Ein-Tages-Planung	Ein-Tages-Planung
	Planungstage	10	1	1	1	1	1
	Anzahl Fahrzeuge	1	1	2	2	1	2
	Anzahl Depots	1	1	1	2	1	1
	Wiedereinsatz-Planung	bei Kapazitäts-Überschreitung					
	Erzwungene Heimatbesuche	1x täglich					
	Gebietszuordnung	nein	OTP: nein, MTP: nein	OTP: nein, MTP: nein	OTP: nein, MTP: nein	OTP: nein, MTP: nein	OTP: nein, MTP: nein
Planungs-verfahren		Gesamtoptimierung	Gesamtoptimierung	Gesamtoptimierung	Gesamtoptimierung	Gesamtoptimierung	Gesamtoptimierung
Restriktionen	Kundenzeitfenster	abhängig von Location					
	Servicezeit bei Kunden	abhängig von Paketen	konstant s=5				
	Kapazitäts-Restriktionen	lkw	lkw	lkw	lkw	lkw	lkw

		Szenario 3			
		Fall 3.6	Fall 3.7	Fall 3.8	Fall 3.9
Methode		OTP, MTP	OTP, MTP	OTP, MTP	OTP, MTP
Ziel	Zielfunktion	Transportkosten-Minimierung	Transportkosten-Minimierung	Transportkosten-Minimierung	Transportkosten-Minimierung
	Transportproblem	Multi-Depot VRP	Single-Depot TSP	Single-Depot VRP	Multi-Depot VRP
	Fallspezifikation	60 Aufträge	90 Aufträge	90 Aufträge	90 Aufträge
Planungs-funktionen	Planungshorizont	Ein-Tages-Planung	Ein-Tages-Planung	Ein-Tages-Planung	Ein-Tages-Planung
	Planungstage	1	1	1	1
	Anzahl Fahrzeuge	2	1	2	2
	Anzahl Depots	2	1	1	2
	Wiedereinsatz-Planung	bei Kapazitäts-Überschreitung	bei Kapazitäts-Überschreitung	bei Kapazitäts-Überschreitung	bei Kapazitäts-Überschreitung
	Erzwungene Heimatbesuche	1x täglich	1x täglich	1x täglich	1x täglich
	Gebietszuordnung	OTP: nein, MTP: nein	OTP: nein, MTP: ja	OTP: nein, MTP: ja	OTP: nein, MTP: ja
Planungs-verfahren		Gesamtoptimierung	Gesamtoptimierung	Gesamtoptimierung	Gesamtoptimierung
Restriktionen	Kundenzeitfenster	abhängig von Location	abhängig von Location	abhängig von Location	abhängig von Location
	Servicezeit bei Kunden	konstant s=5	konstant s=5	konstant s=5	konstant s=5
	Kapazitäts-Restriktionen	lkw	lkw	lkw	lkw

6.3.1 Szenario 1 – Tagesplanung

In *Szenario 1* erfolgt die Planung, wie auch tatsächlich im Unternehmen gehandhabt, täglich unmittelbar vor dem eigentlichen Beginn der Tour. Dabei stehen dem Planungsbeauftragten folgende Auftragsinformationen zur Verfügung:

- Auftragsgeber
- Auftragsort
- Auftragsvolumen (Anzahl Pakete)

Für alle Fallbeispiele wird stets von derselben Auftragslage wie schon bei der manuellen Tourenplanung ausgegangen (genaue Auftragsliste siehe *Tabelle 2*). Sowohl die Auftraggeber als auch die Locations und Auftragsvolumina bleiben unverändert. Der einzige Unterschied in der Auftragslage liegt darin, dass Heimatbesuche (d.h. Besuche der Depots) nun regelmäßig einmal pro Tag während eines fix vorgegebenen Zeitintervalls absolviert werden müssen (mit Ausnahme von *Fall 4*, bei dem Heimatbesuche explizit ausgeschlossen sind). Als einziges tatsächliches Depot dient wiederum *Depot 1*, das sowohl Start- als auch Zieldepot ist. *Depot 2* ist als Kunde zu betrachten und muss einmal täglich zwischen 09:30 Uhr und 12:30 Uhr beliefert werden. Die Servicezeiten bei den Kunden ergeben sich wie bei der MTP indirekt aus der Anzahl an zu liefernden Paketen.

Die Planung erfolgt wie bisher für zehn Arbeitstage, wobei jeder Tag individuell betrachtet wird. Die nachfolgenden Fälle unterscheiden sich in der Anzahl an eingesetzten Fahrzeugen, den unterschiedlichen Fahrzeugtypen, den Kundenservicezeiten, der Anzahl an Heimatbesuchen und den Kundenzeitfenstern.

6.3.1.1 Fall 1.1

In *Fall 1.1* handelt es sich um ein klassisches TSP, wobei von den tatsächlich im Unternehmen vorherrschenden Gegebenheiten ausgegangen wird. Es steht demnach ein einziges Fahrzeug des Typs „lkw“ zur Verfügung, welches in *Depot 1* stationiert ist. Im Grunde orientiert sich *Fall 1.1* vollständig am Beispiel aus der MTP. Lediglich die Reihenfolge der Kundenbesuche soll optimiert werden. Übersteigt die Gesamtanzahl an auszuliefernden Paketen zu Beginn des Tages die Kapazität des Fahrzeuges, werden exakt so viele Aufträge verplant, bis die maximale Kapazität des Fahrzeuges erreicht ist. Danach

startet die Tour automatisch. Erst nach Befriedigung aller Aufträge der ersten Tour kehrt das Fahrzeug zum Heimatdepot zurück und wird mit den restlichen Paketen beladen. Danach startet eine zweite Tour. Es sei erwähnt, dass im Zuge der Auswertung eine solche Vorgehensweise als *eine* Tour gewertet wird. Der Wiederbeladungsstopp (WB) wird jedoch vermerkt. Das Ergebnis dieses Beispiels dient als Referenzwert für die übrigen Beispiele. Die Auswertung umfasst neben einer Kostenanalyse auch eine Auslastungsanalyse, die Aufschluss über die Kapazitätsauslastung des Fahrzeuges während einer Tour gibt. Die Ergebnisse sollen mit jenen der MTP verglichen werden um so die Verbesserungen durch die OTP ausfindig zu machen.

Untersuchungsziele

- Kostenanalyse
- Auslastungsanalyse
- Vergleich mit MTP

6.3.1.2 Fall 1.2

Fall 1.2 ändert die Planungsvoraussetzungen, indem die Annahme getroffen wird, zwei weitere Fahrzeuge des Typs „*lkw*“ zur Verfügung zu haben. Der Einsatz dieser Fahrzeuge ist nicht verpflichtend, es soll vielmehr untersucht werden, ob dadurch wesentliche Kostenersparnisse erzielt werden können. Die Software entscheidet selbstständig, mit wie vielen Fahrzeugen minimale Tour-Kosten erzielt werden. Die Auftragslage bleibt unverändert. Es kommt zu keiner expliziten Gebietsaufteilung. Alle Fahrzeuge starten und beenden ihre Tour in *Depot 1*. Es handelt sich nun um ein Ein-Depot VRP.

Untersuchungsziele

- Auswirkung zusätzlicher Fahrzeuge auf Kosten
- Vergleich mit Fall 1.1

6.3.1.3 Fall 1.3

Fall 1.3 verwendet dieselben Stamm- und Auftragsdaten wie *Fall 1.1*, diesmal jedoch unter der Annahme eines neuen Fahrzeugtyps. Es soll mit Hilfe der Optimierung

festgestellt werden, inwiefern sich die gesamten Tour-Kosten ändern, wenn anstatt eines Standard-Fahrzeuges („*lkw*“), ein größeres Fahrzeug („*grlkw*“) zum Einsatz kommt. Die Frage ist, ob durch den Einsatz eines Fahrzeuges mit größerer Kapazität die Touren optimiert werden können. Es ist anzunehmen, dass sich zumindest die Wiederbeladungsstopps während einer Tour reduzieren bzw. ganz wegfallen. Es ist zu prüfen, ob die sonstige Reihenfolge der Auftragsabfolge beeinflusst wird. Weiter soll das Fahrzeug in der Auswertung auf seine Auslastung hin untersucht werden.

Untersuchungsziele

- Auswirkungen auf Kosten durch Änderung der Fahrzeugtyps
- Auswirkungen auf Fahrzeugauslastung durch Änderung des Fahrzeugtyps

6.3.1.4 Fall 1.4

Fall 1.4 sieht eine Tourenplanung *ohne* tägliche Heimatbesuche während der regulären Touren vor. Bisher wurde davon ausgegangen, innerhalb eines bestimmten Zeitfensters, sowohl *Depot 1* als auch *Depot 2* anzufahren um dadurch eine unternehmensinterne Lieferung zwischen den beiden Standorten zu ermöglichen. Dadurch wird die eigentliche Tour gestört und es kommt zu erhöhten Kosten. In diesem Untersuchungsfall ist nun zu prüfen, um wie viel günstiger es ist, die reguläre Tour ohne die Berücksichtigung dieser internen Lieferung zu planen. Anstatt dessen wird eine zusätzliche Fahrt nach Beendigung der ersten Tour erstellt, die ausschließlich eine Lieferung zwischen den beiden Depots vorsieht.

Untersuchungsziele

- Auswirkungen auf Kosten durch Änderung der Heimatbesuche

6.3.1.5 Fall 1.5

Dieser Untersuchungsfall sieht eine Änderung der Servicezeiten bei den Kunden vor. Im Gegensatz zur bisherigen Annahme, dass die Servicezeiten in direktem Zusammenhang mit den ausgelieferten Paketen stehen, wird nun davon ausgegangen, dass dem Kunden eine konstante Servicezeit von 10 Minuten zugesprochen wird. Aus der

Fahrtenbuchanalyse geht hervor, dass durchschnittlich bisher ca. 5 Minuten Kundenbetreuung pro Auftrag benötigt wurden. Bei einer Servicezeit von 10 Minuten wird diese also verdoppelt, wodurch eine Verbesserung der Kundenbeziehungen angestrebt wird. Es stellt sich die Frage, wie sich die Änderung der Zeiten auf die Reihenfolge der zu besuchenden Kunden auswirkt und welche Kosten eine Verdopplung der Servicezeiten mit sich zieht. Auch ist zu untersuchen, ob die längeren Servicezeiten Auswirkungen auf die Auftragsbefriedigungsrate der Office GmbH haben.

Untersuchungsziele

- Auswirkungen auf Kosten durch Änderung der Servicezeiten

6.3.1.6 Fall 1.6

In *Fall 1.6* wird eine mögliche Änderung der Touren durch eine Zeitfenster-Relaxion untersucht. Die Optimierung wird analog zu *Fall 1.1* durchgeführt, jedoch mit einer möglichen „Auflockerung“ der gesetzten Zeitfenster. Bei den Tourenplanungen wird nun eine Verletzung der Zeitrestriktionen bis zu 30 Minuten toleriert. Es soll getestet werden, ob dadurch signifikant bessere Ergebnisse erzielt werden können.

Untersuchungsziele

- Auswirkungen auf Kosten durch Zeitfenster-Relaxion

6.3.2 Szenario 2 – Mehrtagesplanung

6.3.2.1 Fall 2.1

In *Fall 2.1* wird der Planungshorizont auf 10 Tage erweitert. Es handelt sich hier um eine Mehrtagesplanung mit regelmäßigen Kundenbesuchen. Bisher wurde davon ausgegangen, die eingehenden Aufträge umgehend für den aktuellen Tag zu verplanen. Die Optimierung beschränkt sich daher lediglich auf die Reihenfolge der zu befriedigenden Aufträge. In der Mehrtagesplanung erhöht sich die Komplexität der Optimierung, da ein gegebenes Set an Aufträgen über den gesamten Planungshorizont verplant werden muss. Alle zu absolvierenden Aufträge sind im Voraus bekannt. Die Software entscheidet, abhängig von den Restriktionen, an welchen Tagen und in welcher Reihenfolge die Aufträge zu

befriedigen sind. Jedem Kunden wird dabei einmalig eine individuelle Besuchsfrequenz zugeordnet, die Aufschluss darüber gibt, wie oft ein Kunde während des Planungshorizonts besucht wird. Das gesamte Set an Aufträgen besteht aus 107 zu befriedigenden Kunden, wobei jeder Kunde entweder...

- einmal alle zwei Wochen,
- einmal wöchentlich,
- zweimal wöchentlich,
- dreimal wöchentlich oder
- täglichen

zu besuchen ist. Der genaue Zeitpunkt des Besuchs ist nicht exakt vorgegeben, sondern befindet sich entsprechend *Tabelle 13* in einem gewissen Zeitrahmen. Die entsprechenden Besuchsfrequenzen weisen folgende Zeitrahmen auf:

Tabelle 13. Szenario 2: Zeitrahmen

	1. Besuch	2. Besuch	3. Besuch	4. Besuch	5. Besuch
1 x in zwei Wochen	Mo-Fr				
1 x pro Woche	Mo-Fr	-	-	-	-
2 x pro Woche	Mo-Mi	Do-Fr	-	-	-
3 x pro Woche	Mo-Di	Mi-Do	Fr	-	-
Täglich	Mo	Di	Mi	Do	Fr

Durch die gesetzten Zeitrahmen sollen Mehrfachbesuche zu Kunden innerhalb einer Arbeitswoche möglichst gleichmäßig verteilt werden.

In folgender Tabelle ist das gesamte Set an Kunden mit den dazugehörigen Besuchsfrequenzen für den Planungszeitraum von zwei Wochen aufgelistet. Jede Location (L) entspricht einem Kunden, die gewählten Frequenzen (FR) ergeben sich aus Vergangenheitserfahrungen.

Tabelle 14. Szenario 2: Kundenset + Frequenzen

L	FR								
L001	1	L023	2	L045	2	L067	1	L089	4
L002	2	L024	1	L046	1	L068	2	L090	4
L003	6	L025	1	L047	1	L069	1	L091	1
L004	4	L026	1	L048	1	L070	1	L092	1
L005	1	L027	1	L049	4	L071	2	L093	1
L006	1	L028	1	L050	2	L072	2	L094	2
L007	1	L029	2	L051	1	L073	2	L095	6
L008	2	L030	1	L052	1	L074	2	L096	4
L009	2	L031	1	L053	1	L075	1	L097	1
L010	1	L032	2	L054	2	L076	1	L098	1
L011	1	L033	1	L055	1	L077	1	L099	1
L012	4	L034	1	L056	1	L078	1	L100	4
L013	2	L035	1	L057	4	L079	2	L101	4
L014	4	L036	1	L058	2	L080	1	L102	1
L015	1	L037	1	L059	6	L081	1	L103	1
L016	1	L038	1	L060	2	L082	1	L104	1
L017	4	L039	1	L061	1	L083	1	L105	1
L018	2	L040	1	L062	1	L084	1	L106	1
L019	1	L041	1	L063	6	L085	1	L107	10
L020	1	L042	4	L064	1	L086	1	L108	10
L021	1	L043	1	L065	1	L087	2		
L022	1	L044	1	L066	2	L088	1		

Die Frequenzen wurden mit dem Faktor 2 multipliziert um so die Anzahl der Besuche über 2 Wochen zu erhalten. Wie aus der Tabelle hervorgeht, gibt es 68 Locations mit der Besuchsfrequenz 1, 22 Locations mit der Besuchsfrequenz 2, zwölf Locations mit der Besuchsfrequenz 4, vier Locations mit der Besuchsfrequenz 6 und zwei Locations mit täglichen Besuchen. Bei den beiden Letzteren handelt es sich um die Heimatdepots. Insgesamt ergeben sich dadurch 204 Aufträge, die in den zwei Wochen verplant werden müssen.

Das Ergebnis wird in Form einer Kostenanalyse präsentiert und mit *Fall 1.1* verglichen. Es ist zu untersuchen, welche Kostenvorteile sich durch die Mehr-Tages-Planung ergeben und welche eventuellen Nachteile diese Art der Planung mit sich bringt.

Untersuchungsziele

- Kostenanalyse Mehr-Tages-Planung
- Vergleich Tagesplanung
- Kritische Betrachtung der Mehr-Tages-Planung

6.3.3 Szenario 3 – Ein-Tages-Planung mit variabler Auftragslage

Szenario 3 unterscheidet sich von den übrigen Szenarien durch eine sich ändernde Auftragslage. Es sollen an einem beliebigen Tag entweder 30, 60 oder 90 Aufträge verplant werden. Dabei stehen jeweils entweder ein oder zwei Fahrzeuge, sowie ein oder zwei Depots zur Verfügung. Die Durchführung der Planung erfolgt sowohl durch *manuelle Tourenplanung (MTP)* durch einen Planungsbeauftragten, als auch durch *automatische Tourenplanung (OTP)*. Ziel ist es, in möglichst kurzer Zeit, möglichst kostenminimierende Touren bei höchstmöglicher Auftragsbefriedigung zu erstellen. Die Ergebnisse der MTP und OTP werden danach tabellarisch ausgewertet, miteinander verglichen und analysiert.

Folgende Fallbeispiele werden betrachtet:

Tabelle 15. Szenario 3: Fallbeispiele

Fall	A	LOC	Anz. LKW	Anz. Depots
3.1	30	L001-L030	1	1
3.2	30	L001-L030	2	1
3.3	30	L001-L030	2	2
3.4	60	L001-L060	1	1
3.5	60	L001-L060	2	1
3.6	60	L001-L060	2	2
3.7	90	L001-L090	1	1
3.8	90	L001-L090	2	1
3.9	90	L001-L090	2	2

In *Fall 3.1* bis *3.3* müssen 30 Aufträge verplant werden, wobei es sich dabei um 30 verschiedene Kunden (Locations L001 bis L030) handelt. In *Fall 3.4* bis *3.6* kommen zu den bisherigen Locations weitere 30 (L031-L060) hinzu, was in Summe 60 zu verplanende Aufträge bedeutet. In den letzten drei Untersuchungsfällen werden wiederum 30 Aufträge (L061 bis L090) hinzugefügt. Für alle Beispiele muss zusätzlich zu den Aufträgen jeweils eine Fahrt zwischen den Depots durchgeführt werden, was als zusätzlicher Auftrag zu deuten ist. Wir unterscheiden für jede Auftragslage zwischen einem *Single-Depot TSP* (1 Fahrzeug, 1 Depot), einem *Single-Depot VRP* (2 Fahrzeuge, 1 Depot) sowie einem *Multi-Depot VRP* (2 Fahrzeuge, 2 Depots). Die Stammdaten bleiben unverändert zu den bisherigen Szenarien. Folgende Ausgangssituationen sind gegeben:

Tabelle 16. Szenario 3: Fahrzeuge, Depots

Fallklassifikation	Fälle	Fahrzeuge	Heimatstandort	Wiederbeladungsstopp
Single-Depot TSP	3.1, 3.4, 3.7	F1	D1	D1
Single-Depot VRP	3.2, 3.5, 3.8	F1	D1	D1
		F2	D1	D1
Multi-Depot VRP	3.3, 3.6, 3.9	F2	D2	D2
		F3	D3	D3

Für die Fallbeispiele der *Single-Depot TSPs* steht jeweils Fahrzeug *F1* zur Verfügung. Dieses ist, wie aus den Stammdaten zu entnehmen ist, in *D1* stationiert. Sollte eine Wiederbeladung während einer Tour notwendig sein, geschieht dies ebenfalls in *D1*. In den Fällen der *Single-Depot VRPs* steht zusätzlich zu *F1* auch *F2* zur Verfügung. Dieses ist ident zu *F1* und kann ebenfalls nur in *D1* wiederbeladen werden. Bei den *Multi-Depot VRPs* muss die Wiederbeladung der Fahrzeuge in den fahrzeugspezifischen Heimatdepots stattfinden, von denen aus die Fahrzeuge auch ihre Touren starten und beenden. Während *D2* im Stadtzentrum liegt, befindet sich *D3* im Westen der Stadt, wodurch eine bessere Gebietsaufteilung angestrebt wird. Das Auftragsvolumen und die Servicezeit eines Auftrags sind konstant und entsprechen mit $0,17\text{m}^3$ bzw. 5 Minuten einem durchschnittlichen Auftrag der *Office GmbH*.

Da die durchschnittliche Anzahl an Aufträgen der *Office GmbH* momentan bei 22,5 Aufträgen pro Tag liegt, ist dieses Szenario als Belastungstest zu verstehen. Die bisherige Auftragslage lässt eine „Gefühlsplanung“ durch den Planungsbeauftragten zu. Hier soll

zunächst durch einen leichten und danach durch einen drastischen Anstieg der Auftragslage ermittelt werden, welchen Einfluss diese steigende Komplexität auf die Ergebnisse der MTP und der OTP hat.

Neben der Kostenminimierung soll ein wichtiges Planungskriterium eine möglichst hohe Auftragsbefriedigung sein. Um diesen Aspekt in die Kostenfunktion einfließen zu lassen, gehen wir von *Penaltykosten* in der Höhe von 10 Euro pro nicht verplantem Auftrag aus. Diese werden den Transportkosten hinzugefügt und ergeben damit das Gesamtergebnis. Der Wert wurde bewusst hoch angesetzt, um einen entscheidenden Anreiz zu schaffen, möglichst viele Aufträge zu befriedigen.

Bei der MTP wurden dem Planungsbeauftragten der *Office GmbH* lediglich die Aufträge bekannt gegeben. Dieser muss daraufhin seine Touren in gewohnter unstrukturierter Weise planen und dem Autor präsentieren. Die dafür benötigte Zeit wird gemessen. Für die Kostenanalyse werden die Touren wie auch schon im ersten Untersuchungsfall in die Software eingelesen und mittels MTP verplant. Dabei werden die identen Stammdaten wie bei der OTP verwendet.

Mit Hilfe dieser Fallbeispiele soll gezeigt werden, wie sehr sich die Ergebnisse der manuellen und optimierten Tourenplanung bei steigender Auftragslage voneinander unterscheiden und ab wann eine Planung wie sie bisher im Unternehmen üblich war, nicht mehr effizient durch eine Einzelperson ohne professionelle Planungssoftware durchgeführt werden kann. Es ist anzunehmen, dass im einfachsten der Fälle (*Single-Depot TSP* mit 30 Aufträgen) der Unterschied zwischen den Ergebnissen nur sehr gering ist. Dies sollte sich bei steigender Komplexität ändern. Jedoch ist auch unklar, wie gut die Software und die darin enthaltenen Algorithmen mit den unterschiedlichen Situationen zu Recht kommen.

Untersuchungsziele

- Kostenanalyse
- Vergleich MTP – OTP
- Graphische Analyse

6.4 Optimierte Tourenplanung: Auswertung/Ergebnisse

6.4.1 Szenario 1 - Tagesplanung

6.4.1.1 Fall 1.1

Tabelle 17. Fall 1.1: Kostenanalyse

Datum	A	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	D (in km)	K (in EUR)
12.04.10	16	3:18	1:50	38,1	64,74
13.04.10	20	2:55	1:19	26,7	54,43
14.04.10	24	4:10	1:49	38,2	77,78
15.04.10	18	2:58	1:20	28,1	55,74
16.04.10	21	4:00	1:07	23,9	69,56
19.04.10	19	3:46	1:37	33,6	69,94
20.04.10	23	3:43	1:44	36,2	70,23
21.04.10	24	4:24	2:09	45,1	84,04
22.04.10	19	3:02	1:20	27,7	56,58
23.04.10	17	3:36	0:55	19,2	61,68
Gesamt	201	35:52	15:10	316,8	664,72

Insgesamt wurden über den Untersuchungszeitraum 201 Aufträge (A) erfolgreich an ein Fahrzeug (F) verplant. Dabei wurden 10 Touren (eine Tour pro Tag) erstellt. Die gesamte Tour-Dauer (TD) setzt sich aus der Netto-Lenkzeit (L), den Servicezeiten sowie den Wiederbeladungszeiten zusammen. Sie beträgt insgesamt 35 Stunden und 52 Minuten. Davon entfallen 15 Stunden und 10 Minuten auf die Netto-Lenkzeit (L). Es wird mit einer Gesamtdistanz (D) von 316,8 Kilometer gerechnet. Die gesamten Tour-Kosten (K) belaufen sich auf 664,72 Euro. Die zeit- und kostenintensivste Tour ist jene am 19.4.10 mit einer Tour-Dauer von 4 Stunden und 24 Minuten und Kosten von 84,04 Euro, gefolgt von der Tour am 14.4.10 mit 4 Stunden und 10 Minuten bei Kosten von 77,78 Euro. Beide Touren finden am auftragsstärksten Tag der Woche (Mittwoch) statt. Alle Aufträge konnten am gewünschten Tag verplant werden. Folgende Tabelle gibt eine detaillierte Übersicht über die Auslastung des Fahrzeugs:

Tabelle 18. Fall 1.1: Auslastungsanalyse

Datum	P	P/KAP	WB	Max. A. Tour 1a (in %)	Max. A. Tour 1b (in%)
12.04.10	33	0,825	0	82,5	0
13.04.10	37	0,925	0	92,5	0
14.04.10	52	1,300	1	100	30,0
15.04.10	38	0,950	0	95,0	0
16.04.10	71	1,775	1	82,5	95,0
19.04.10	46	1,150	1	100	15
20.04.10	41	1,025	1	97,5	5
21.04.10	53	1,325	1	95,0	37,5
22.04.10	40	1,000	0	100	0
23.04.10	62	1,550	1	100	55
Gesamt	473		6		

Die Tabelle zeigt, dass insgesamt 473 Pakete (P) verplant wurden. Die zweiten Spalte der Tabelle (P/KAP) gibt Aufschluss über das gesamte Auftragsvolumen pro Tag im Verhältnis zum Fassungsvermögen des Fahrzeuges. Die Werte ergeben sich, indem die Anzahl an Paketen durch die maximale Kapazität des Fahrzeuges (40 Pakete) dividiert wird. Übersteigt die Zahl den Wert 1, ist die maximale Auslastung überschritten und das Fahrzeug muss einen erzwungenen Heimatbesuch zur Wiederbeladung (WB) antreten. Die letzten beiden Spalten stehen für die maximale Auslastung jeder Teil-Tour (Max. A. Tour). Am 16.4.2010 mussten beispielsweise 71 Pakete ausgeliefert werden. Das Fahrzeug wurde im Zuge der ersten Teil-Tour zu 82,5% beladen, nach Auslieferung aller Pakete kehrte das Fahrzeug zum Heimatdepot zurück und wurde ein zweites Mal zu 90% beladen. Danach startete es die zweite Teil-Tour. Während der zehn Untersuchungstage konnte vier Mal eine Tour ohne Wiederbeladungsstopps geplant werden, während die Auftragslage sechs Mal einen Wiederbeladungsstopp notwendig machte.

Nachfolgende Tabelle zeigt einen Vergleich der optimierten Touren mit jenen der manuellen Tourenplanung aus *Kapitel 6.2*:

Tabelle 19. Fall 1.1: Vergleichsanalyse

	PT	AT	WB	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	D (in km)	K (in EUR)
MTP	10	10	6	39:21	19:25	404,6	752,09
Fall 1.1	10	10	6	35:52	15:10	316,8	664,72
Abweichung (absolut)	0	0	-2	-3:29	-4:15	-87,8	-87,37
Abweichung (relativ)				-8,85%	-21,89%	-21,70%	-11,62%

Die Vergleichsanalyse zeigt eine deutliche Verbesserung der Ergebnisse durch die Optimierung der Touren. Sowohl bei der MTP als auch der OTP wurden an den zehn Planungstagen (PT) zehn Touren (AT) erstellt. Auch bei der OTP muss an sechs von zehn Tagen ein Wiederbeladungsstopp während der Tour eingeplant werden. Es können insgesamt 87,8 km an Distanz gespart werden, was in relativen Zahlen eine Verbesserung von 21,7% bedeutet. Die aufsummierte Dauer aller Touren kann um 3 Stunden und 29 Minuten im Vergleich zur momentanen Situation im Unternehmen reduziert werden, wodurch insgesamt 11,62% (87,37 Euro) der Kosten gespart werden können.

Fazit

In *Fall 1.1* wurde eine Optimierung der aus *Kapitel 6.2* bekannten Touren mit Hilfe der Softwarefunktion „*automatische Tourenplanung*“ durchgeführt. Die Planungsvoraussetzungen blieben dabei wie schon bei der MTP möglichst nahe an den realen Gegebenheiten im Unternehmen. Die durch ein heuristisches Verfahren optimierten Touren wurden den vom Planungsbeauftragten erstellten Touren gegenübergestellt und die Ergebnisse direkt miteinander verglichen. Die Ergebnisse zeigen ganz deutlich, dass mit Hilfe der OTP, trotz identer Voraussetzungen und geringer Auftragslage, eine Reduktion der Gesamtkosten um knapp 12% erzielt werden konnte. Das Resultat überrascht in seiner Höhe, da angenommen werden konnte, dass der Fahrer auf Grund seiner Erfahrungswerte und der geringen Auftragslage sehr effiziente Touren auch ohne Softwareunterstützung erzielen würde. Noch deutlicher zeigt sich die Verbesserung an der Reduktion der Netto-Lenkzeit bzw. der Kilometerersparnis, die jeweils fast 22% betragen.

6.4.1.2 Fall 1.2

Tabelle 20. Fall 1.2: Kostenanalyse

Datum	Anzahl Fahrzeuge = optimal						
	F	A	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	D (in km)	K _F (in EUR)	K _G (in EUR)
12.04.10	1	16	3:18	1:50	38,4	64,86	64,86
13.04.10	1	20	2:59	1:23	28,4	56,11	56,11
14.04.10	1	17	2:34	1:03	21,7	47,18	73,83
	2	7	1:21	0:46	16,0	26,65	
15.04.10	1	18	3:00	1:22	28,2	56,28	56,28
16.04.10	1	16	2:35	0:55	19,3	46,47	65,94
	2	5	1:11	0:13	4,3	19,47	
19.04.10	1	16	2:51	1:15	26,0	53,15	67,50
	2	3	0:43	0:25	9,0	14,35	
20.04.10	1	23	3:42	1:43	35,3	69,62	69,62
21.04.10	1	17	3:15	1:45	36,2	63,23	79,89
	2	7	0:54	0:24	7,9	16,66	
22.04.10	1	19	3:02	1:20	27,7	56,58	56,58
23.04.10	1	17	3:36	0:55	18,9	61,56	61,56
Gesamt		201	35:01	15:19	317,3	652,17	652,17

Tabelle 20 zeigt, dass durch die OTP unter der Annahme, bis zu drei Fahrzeuge (F) gleichzeitig einsetzen zu können, mit Gesamtkosten von 652,17 Euro zu rechnen ist. Auffällig ist dabei, dass lediglich an vier Tagen (14.4., 16.4., 19.4. und 21.4.) von der Möglichkeit mehrere Fahrzeuge einzusetzen, Gebrauch gemacht wurde. Selbst dann wurden maximal zwei der drei Fahrzeuge verwendet. Vergleicht man *Tabelle 18* mit *Tabelle 20*, ist zu erkennen, an welchen Tagen ein zweites Fahrzeug in Betrieb genommen wurde. In vier von sechs Fällen wird dann ein zusätzliches Fahrzeug genutzt, wenn die Auftragslage die Kapazität eines einzelnen Fahrzeuges übersteigt. Durch das zweite Fahrzeug können die Pakete aufgeteilt werden, wodurch die erzwungenen Wiederbeladungsstopps wegfallen. Die aufsummierten Tour-Zeiten belaufen sich auf 35 Stunden und 1 Minute. Die reine Lenkzeit beträgt 15 Stunden und 19 Minuten während der 317,3 km zurückgelegt werden.

Tabelle 21 zeigt das Ergebnis im Vergleich mit *Fall 1.1*:

Tabelle 21. Fall 1.2: Vergleichsanalyse

	PT	AT	WB	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	D (in km)	K (in EUR)
Fall 1.1	10	10	6	35:52	15:10	316,8	664,72
Fall 1.2	10	10	0	35:01	15:19	317,3	652,17
Abweichung (absolut)	0	0	-6	-0:51	+0:09	+0,5	-12,55
Abweichung (relativ)				-2,37%	+0,98%	+0,16%	-1,89%

Vergleicht man die Ergebnisse mit jenen aus *Fall 1.1* sieht man, dass es durch die zusätzlichen Fahrzeuge zu einer gesamten Kostenersparnis von 1,89% (12,55 Euro) kommt. Dabei erkennt man, dass lediglich die gesamte Dauer aller Touren signifikant verkürzt werden kann (-2,37%), die Netto-Lenkzeiten und die zurückgelegten Distanzen bleiben hingegen nahezu unverändert (+0,98% bzw. 0,16%). Diese Tatsache beruht darauf, dass sich die Touren an sich kaum verändern, sondern durch die parallele Nutzung mehrerer Fahrzeuge lediglich die Wiederbeladungsstopps wegfallen.

Fazit

Durch Bereitstellung zweier zusätzlicher Fahrzeuge kann bei momentaner Auftragslage kaum eine Verbesserung der Touren erzielt werden. Auf Grund der geringen Auftragslage (Kapazität des Standard-Fahrzeugs reicht aus) ist der Einsatz mehrerer Fahrzeuge selten notwendig. Lediglich an vier der zehn Untersuchungstage schlägt die Software den Einsatz eines zusätzlichen Fahrzeuges vor. Doch auch in diesen Fällen ist die daraus resultierende Kostenersparnis sehr gering. Sowohl die reinen Lenkzeiten als auch die zurückgelegten Distanzen erhöhen sich sogar. Die Kostenersparnis resultiert aus der geringeren summierten Tour-Dauer. Diese ergibt sich hauptsächlich dadurch, dass durch den parallelen Einsatz mehrerer Fahrzeuge keine Wiederbeladungsstopps wie in *Fall 1.1* notwendig sind. Die Reduktion der Kosten um 1,89% ist zu gering, um den Einsatz weiterer Fahrzeuge betriebswirtschaftlich rechtfertigen zu können.

6.4.1.3 Fall 1.3

Tabelle 22. Fall 1.3: Kostenanalyse

Datum	Fahrzeugtyp = grlkw				
	A	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	D (in km)	K (in EUR)
12.04.10	16	3:14	1:46	36,6	63,14
13.04.10	20	2:57	1:21	27,0	55,05
14.04.10	24	3:49	1:43	36,0	71,65
15.04.10	18	2:55	1:17	26,9	54,51
16.04.10	21	3:43	1:05	22,4	64,71
19.04.10	19	3:26	1:32	32,4	64,46
20.04.10	23	3:29	1:45	36,7	66,93
21.04.10	24	4:03	2:03	42,1	77,59
22.04.10	19	3:06	1:24	29,2	58,18
23.04.10	17	3:15	0:49	17,3	55,67
Gesamt	201	33:57	14:45	306,6	631,89

Fall 1.3 erweitert die Kapazität des einzigen Fahrzeuges auf 80 Pakete pro Tour. Dadurch ergeben sich Gesamtkosten von 631,89 Euro bei einer gesamten Dauer aller Touren von 33 Stunden und 57 Minuten. Die Netto-Lenkzeit beträgt 14 Stunden und 45 Minuten, es werden 306,6 km zurückgelegt.

Auslastungsanalyse

Tabelle 23. Fall 1.3: Auslastungsanalyse

Datum	Fahrzeugtyp = grlkw				
	P	P/KAP	WB	Max. A. Tour 1a (in %)	Max. A. Tour 1b (in%)
12.04.10	33	0,413	0	41,3	0
13.04.10	37	0,463	0	46,3	0
14.04.10	52	0,650	0	65,0	0
15.04.10	38	0,475	0	47,5	0
16.04.10	71	0,888	0	88,8	0
19.04.10	46	0,575	0	57,5	0

20.04.10	41	0,513	0	51,3	0
21.04.10	53	0,663	0	66,3	0
22.04.10	40	0,500	0	50,0	0
23.04.10	62	0,775	0	77,5	0
Gesamt	473		0		

Betrachtet man die Auslastung des eingesetzten Fahrzeuges, erkennt man, dass die Anzahl an Paketen an keinem Tag die Kapazität des Fahrzeuges erreicht. Die maximale Auslastung wird am 16.4. mit 88,8% erreicht. Dadurch können alle Touren ohne Wiederbeladungsstopps geplant werden.

Vergleichsanalyse

Tabelle 24. Fall 1.3: Vergleichsanalyse

	PT	AT	WB	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	D (in km)	K (in EUR)
Fall 1.1	10	10	6	35:52	15:10	316,8	664,72
Fall 1.3	10	10	0	33:57	14:45	306,6	631,89
Abweichung (absolut)	0	0	-6	-1:55	-0:25	-10,2	-32,83
Abweichung (relativ)				-5,34%	-2,75%	-3,22%	-4,94%

Die Verdopplung der Fahrzeugkapazität führt zu einer Kostenersparnis von fast 5% (32,83 Euro) im Vergleich zu *Fall 1.1*. Sowohl bei der Gesamtzeit aller Touren (-5,34%), der Netto-Lenkzeit (-2,75%), als auch bei den zurückgelegten Kilometern (-3,22%) können Verbesserungen des Ergebnisses erzielt werden. Die Hauptbegründung liegt darin, dass keine Heimatbesuche zur Wiederbeladung des Fahrzeugs notwendig sind, da die Anzahl der Pakete an keinem der Untersuchungstage die Fahrzeugkapazität übersteigt.

Fazit

Die Untersuchungen unter der Annahme, ein Fahrzeug mit doppelter Kapazität als bisher einzusetzen, waren für das Unternehmen von großem Interesse. Das Ergebnis der Untersuchungen zeigt eine signifikante Kostenersparnis von knapp 5% im Vergleich zu den geplanten Touren mit dem Standard-Fahrzeug. Die Optimierung der Touren resultiert hauptsächlich aus dem Wegfall von Wiederbeladungsstopps, da bei momentaner

Auftragslage alle Aufträge pro Tag in eine Tour aufgenommen werden können. Vergleicht man darüber hinaus das Ergebnis mit jenem aus *Fall 1.2*, dann erkennt man, dass es kostensparender ist, ein großes Fahrzeug anstatt zwei kleiner Fahrzeuge zu benutzen. Die Schlussfolgerung aus diesem Fallbeispiel kann daher nur sein, dass durch die Anschaffung eines größeren Fahrzeuges bei momentanen Gegebenheiten wesentliche Kostenersparnisse erzielt werden können.

6.4.1.4 Fall 1.4

Tabelle 25. Fall 1.4: Kostenanalyse

Datum	Ohne Heimatbesuche, Fahrzeugtyp = lkw				
	A	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	D (in km)	K (in EUR)
12.04.10	14	2:42	1:44	36,0	54,90
13.04.10	18	2:23	1:17	26,7	46,43
14.04.10	22	3:34	1:43	34,9	67,46
15.04.10	16	2:25	1:17	26,4	46,81
16.04.10	19	3:27	1:04	22,2	60,63
19.04.10	17	3:14	1:35	33,2	61,78
20.04.10	21	2:55	1:41	34,9	57,71
21.04.10	22	3:50	2:05	43,8	75,02
22.04.10	17	2:32	1:20	27,7	49,08
23.04.10	15	3:05	0:54	18,9	53,81
Gesamt	181	30:07	14:40	304,7	573,63

Die Annahme in *Fall 1.4*, dass die beiden Depots (*Depot 1*, *Depot 2*) nicht täglich im Zuge der regulären Touren angefahren werden müssen, führt zu Gesamtkosten von 573,63 Euro. Die Gesamtzeit aller Touren beträgt 30 Stunden und 7 Minuten bei einer Netto-Lenkzeit von 14 Stunden und 40 Minuten. Die zurückgelegte Distanz beträgt 304,7 km.

Zusätzlich sei erwähnt, dass die Software Kosten in Höhe von 6,6 Euro berechnet, sollte eine einzelne Direktlieferung zwischen den beiden Depots (hin und retour) geplant werden. Unter der Annahme einer täglichen Lieferung lediglich zwischen den beiden Depots beliefen sich die Kosten daher auf 66 Euro über den Beobachtungszeitraum.

Vergleichsanalyse

Tabelle 26. Fall 1.4: Vergleichsanalyse

	PT	AT	WB	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	D (in km)	K (in EUR)
Fall 1.1	10	10	6	35:52	15:10	316,8	664,72
Fall 1.4	10	10	0	30:07	14:40	304,7	573,63
Abweichung (absolut)	0	0	-6	-5:45	-0:30	-12,1	-91,09
Abweichung (relativ)				-16,03%	-3,30%	-3,82%	-13,70%

Im Vergleich mit den Ergebnissen der Touren *mit* täglichen Heimatbesuchen kommt es zu einer Kostenersparnis von 13,7% (91,09 Euro), einer Kilometerersparnis von 12,1 km (3,82%) und einer kürzeren Gesamtzeit um 5 Stunden und 45 Minuten (9,95%).

Fazit

Die Annahme in *Fall 1.1*, dass sowohl *Depot 1* als auch *Depot 2* täglich zwischen 09:30 Uhr und 12:30 Uhr angefahren werden müssen, hat deutliche Auswirkungen auf die Tourenplanung. Anhand der Ergebnisse dieses Beispiels erkennt man, dass wesentlich effizientere Touren ohne die zwischenzeitlichen Depotbesuche möglich wären. Da jedoch aus praktischer Sicht die internen Lieferungen zwischen den Depots unerlässlich sind, können diese nicht vollkommen vernachlässigt werden. Die Empfehlung wäre daher, erst nach Beendigung der täglichen Tour ohne Depotbesuche eine zusätzliche Tour zu planen, die ausschließlich eine Direktlieferung zwischen den beiden Depots beinhaltet. Die Gesamtkosten der beiden Touren sind zusammen günstiger als die bisherigen Gesamtkosten bei einer Tour inklusive Depotbesuche.

6.4.1.5 Fall 1.5**Kostenanalyse****Tabelle 27. Fall 1.5: Kostenanalyse**

Datum	VA	UA	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	D (in km)	K (in EUR)
12.04.10	16	0	4:38	1:48	37,6	84,54
13.04.10	20	0	4:57	1:27	29,6	86,09
14.04.10	24	0	6:16	1:51	38,3	109,32
15.04.10	18	0	4:30	1:20	28,1	78,74
16.04.10	19	2	4:26	1:01	21,1	74,94
19.04.10	19	0	5:13	1:38	33,6	91,69
20.04.10	23	0	6:18	2:03	42,5	111,50
21.04.10	24	0	6:32	2:17	48,3	117,32
22.04.10	19	0	4:40	1:20	27,7	81,08
23.04.10	17	0	4:12	0:57	20,3	71,12
Gesamt	199	2	51:42	15:42	327,1	906,34

Die Änderung der Servicezeiten beeinflusst nicht nur die gesamte Servicedauer während der Touren, sondern hat auch Einfluss auf die Auftragsreihenfolgen der Touren. Man erkennt dies anhand der sich unterscheidenden Netto-Lenkzeiten, die bei gleicher Reihung ident zu *Fall 1.1* geblieben wären. Durch die erhöhten Servicezeiten müssen jedoch einige Kunden vorgereicht werden, um noch in den entsprechenden Zeitfenstern befriedigt zu werden. Die neuen Gesamtkosten der Touren belaufen sich nun 906,34 Euro. Zu beachten ist, dass am 16.4.2010 zwei Aufträge *nicht* verplant werden können (UA). Der eingeplante Zeitaufwand für die intensivierete Kundenbetreuung zwingt die OTP, zwei Aufträge unverplant zu lassen.

Vergleichsanalyse

Tabelle 28. Fall 1.5: Vergleichsanalyse

	PT	AT	WB	VA	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	D (in km)	K (in EUR)
Fall 1.1	10	10	6	201	35:52	15:10	316,8	664,72
Fall 1.5	10	10	6	198	51:42	15:42	327,1	906,34
Abweichung (absolut)	0	0	0	-3	+15:50	+0:32	+10,3	+241,62
Abweichung (relativ)					+30,63%	+3,40%	+3,15%	+26,66%

Die Verdopplung der Servicezeiten auf konstante 10 Minuten pro Auftrag erhöht die Summe aller Tour-Zeiten um 15 Stunden und 50 Minuten über den Untersuchungszeitraum von 10 Tagen. Die vom Fahrzeug zurückzulegende Gesamtdistanz erhöht sich nur gering um gesamt 10,3 km. Entsprechend der erhöhten Distanzen ändern sich auch die Netto-Lenkzeiten kaum, gesamt um 32 Minuten. Die stark erhöhte gesamte Tour-Dauer für $s=10$ (30,63%) ergibt sich demnach fast ausschließlich auf Grund der erhöhten Servicezeiten und nicht auf Grund der geänderten Auftragsreihenfolge. Es muss durch die getätigten Annahmen mit erhöhten Kosten um 26,66% (241,62 Euro) rechnen.

Fazit

Die Untersuchungen des *Falls 1.5* waren für das serviceorientierte Unternehmen sehr wichtig. So wollte man wissen, wie sehr sich die Kosten ändern, wenn die Servicezeiten bei den Kunden als konstant angenommen werden und im Vergleich zur momentanen Handhabung verdoppelt werden. Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass sich die Gesamtkosten nicht nur auf Grund der zusätzlichen fixen Kosten für die erhöhte Zeit bei den Kunden ändern, sondern auch weil die Fahrtrouten durch die erhöhten Servicezeiten negativ beeinflusst werden. Die Gesamtkosten erhöhen demnach mehr als nur um die reinen Zusatzkosten durch die erhöhte Serviceleistung beim Kunden. Zusätzlich lässt sich aus der Untersuchung schließen, dass eine derartig starke Erhöhung der Servicezeiten das Risiko mit sich bringt, dass nicht alle Aufträge pro Tag befriedigt werden können. Diese Tatsachen lassen die Rechtfertigung einer solchen Servicezeiterhöhung wohl eher nicht zu.

6.4.1.6 Fall 1.6**Kostenanalyse****Tabelle 29. Fall 1.6: Kostenanalyse**

Datum	Mit Zeitfenster-Relaxion (r=30 min)				
	A	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	D (in km)	K (in EUR)
12.04.10	16	3:14	1:46	36,6	63,14
13.04.10	20	2:54	1:18	26,7	54,18
14.04.10	24	4:10	1:49	37,4	77,46
15.04.10	18	2:59	1:21	27,5	55,75
16.04.10	21	4:01	1:08	23,2	69,53
19.04.10	19	3:45	1:36	33,7	69,73
20.04.10	23	3:42	1:43	35,1	69,54
21.04.10	24	4:22	2:07	44,1	83,14
22.04.10	19	3:02	1:20	27,7	56,58
23.04.10	17	3:36	0:55	19,0	61,60
Gesamt	201	35:45	15:03	311,0	660,65

Durch die Tolerierung von Verspätungen in Höhe von maximal 30 Minuten können die Touren weiter optimiert werden. Die Gesamtkosten belaufen sich nun auf 660,65 Euro. Für alle Touren zusammen muss mit einer Zeit von 35 Stunden und 45 Minuten gerechnet werden. Die reine Lenkzeit beträgt 15 Stunden und 3 Minuten wobei eine Distanz von 311 km zurückgelegt wird. Alle 201 Aufträge können verplant werden.

Vergleichsanalyse

Tabelle 30. Fall 1.6: Vergleichsanalyse

	PT	AT	WB	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	D (in km)	K (in EUR)
Fall 1.1	10	10	6	35:52	15:10	316,8	664,72
Fall 1.6	10	10	6	35:45	15:03	311,0	660,65
Abweichung (absolut)	0	0	0	-0:07	-0:07	-5,8	-4,07
Abweichung (relativ)				-0,33%	-0,77%	-1,83%	-0,61%

Die Ergebnisse der Vergleichsanalyse zeigen, dass kaum Verbesserungen durch die Zeitfenster-Relaxion erzielt werden können. Es kann lediglich eine Verkürzung der gesamten zurückgelegten Distanz um 5,8 km (1,83%) und eine Kostenersparnis von 4,07 Euro (0,61%) erreicht werden. Die Verbesserung ist marginal und kann daher weitgehend vernachlässigt werden.

Fazit

Die Planungsfunktion der Software, eine Verletzung der Zeitrestriktionen in Höhe von 30 Minuten zu tolerieren, lässt eine weitere Optimierung des Ergebnisses erwarten. Tatsächlich zeigen die Ergebnisse bei der momentan niedrigen (und daher nicht angespannten) Auftragslage, dass von dieser Option kaum Gebrauch gemacht werden muss. Die Touren ändern sich in diesem Beispiel nur marginal, wie auch das Ergebnis von 0,61% an Kostenersparnis zeigt. In praktischer Hinsicht lässt sich aus dem Ergebnis schließen, dass die erzielte Kostenersparnis nicht hinreichend groß ist, um eine Lieferverspätung rechtfertigen zu können.

6.4.2 Szenario 2 – Mehrtagesplanung

6.4.2.1 Fall 2.1

Tabelle 31. Fall 2.1: Kosten- und Vergleichsanalyse

Datum		A	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	WB	D (in km)	K (in EUR)
12.4.10	Fall 1.1	16	3:18	1:50	0	38,1	64,74
	Fall 2.1	43	5:54	1:24	2	27,1	99,34
	Abw. (abs.)	27	2:36	-0:26	2	-11	34,60
	Abw. (rel.)		78,8%	-23,6%		-28,9%	53,4%
13.4.10	Fall 1.1	20	2:55	1:19	0	26,7	54,43
	Fall 2.1	16	3:09	1:29	0	31,3	59,77
	Abw. (abs.)	-4	0:14	0:10	0	4,6	5,34
	Abw. (rel.)		8,0%	12,7%		17,2%	9,8%
14.4.10	Fall 1.1	24	4:10	1:49	1	38,2	77,78
	Fall 2.1	32	5:24	2:09	1	44,3	98,72
	Abw. (abs.)	8	1:14	0:20	0	6,1	20,94
	Abw. (rel.)		29,6%	18,3%		16,0%	26,9%
15.4.10	Fall 1.1	18	2:58	1:20	0	28,1	55,74
	Fall 2.1	13	2:17	0:52	0	17,6	41,29
	Abw. (abs.)	-5	-0:41	-0:28	0	-10,5	-14,45
	Abw. (rel.)		-23,0%	-35,0%		-37,4%	-25,9%
16.4.10	Fall 1.1	21	4:00	1:07	1	23,9	69,56
	Fall 2.1	16	2:32	0:52	0	17,5	45,00
	Abw. (abs.)	-5	-1:28	-0:15	-1	-6,4	-24,56
	Abw. (rel.)		-36,7%	-22,4%		-26,8%	-35,3%
19.4.10	Fall 1.1	19	3:46	1:37	1	33,6	69,94
	Fall 2.1	26	4:02	1:17	1	26,5	71,10
	Abw. (abs.)	7	0:16	-0:20	0	-7,1	1,16
	Abw. (rel.)		7,1%	-20,6%		-21,1%	1,7%
20.4.10	Fall 1.1	23	3:43	1:44	1	36,2	70,23
	Fall 2.1	14	2:08	0:38	0	13,2	37,28

Datum		A	TD (hh:mm)	L (hh:mm)	WB	D (in km)	K (in EUR)
	Abw. (abs.)	-9	-1:35	-1:06	-1	-23	-32,95
	Abw. (rel.)		-42,6%	-63,5%		-63,5%	-46,9%
21.4.10	Fall 1.1	24	4:24	2:09	1	45,1	84,04
	Fall 2.1	15	2:31	0:56	0	19,5	45,55
	Abw. (abs.)	-9	-1:53	-1:13	-1	-25,6	-38,49
	Abw. (rel.)		-42,8%	-56,6%		-56,8%	-45,8%
22.4.10	Fall 1.1	19	3:02	1:20	0	27,7	56,58
	Fall 2.1	13	2:07	0:42	0	14,1	37,39
	Abw. (abs.)	-6	-0:55	-0:38	0	-13,6	-19,19
	Abw. (rel.)		-30,2%	-47,5%		-49,1%	-33,9%
23.4.10	Fall 1.1	17	3:36	0:55	1	19,2	61,68
	Fall 2.1	16	2:33	0:53	0	18,8	45,77
	Abw. (abs.)	-1	-1:03	-0:02	-1	-0,4	-15,91
	Abw. (rel.)		-29,2%	-3,6%		-2,1%	-25,8%
Gesamt	Fall 1.1	201	35:52	15:10	6	316,8	664,72
	Fall 2.1	204	32:37	11:12	4	229,9	581,21
	Abw. (abs.)	3	-3:15	-3:58	-2	-86,9	-83,51
	Abw. (rel.)		-9,1%	-26,2%		-27,4%	-12,6%

Aus der Tabelle geht hervor, dass durch die Mehr-Tages-Planung ein wesentlich besseres Ergebnis als durch die Tagesplanung erzielt werden konnte. Die Gesamtkosten aller Touren belaufen sich auf 581,21 Euro und sind damit um 12,6% (83,51 EUR) geringer als in *Fall 1.1*. Die für sämtliche Touren benötigte Zeit beläuft sich auf 32 Stunden und 37 Minuten. Die aus der Planung hervorgehende Gesamtdistanz die durch das Fahrzeug zurückgelegt wird beträgt 229,9 km, wobei dafür eine Netto-Fahrzeit von 11 Stunden und 12 Minuten benötigt wird. Im Vergleich zu *Fall 1.1* konnte hier die Gesamtzeit um 3 Stunden und 15 Minuten (9,1%) verringert und die Strecke um 86,9 km (27,4%) verkürzt werden. Die Touren wurden generell so geplant, dass möglichst viele Aufträge am Beginn der ersten Woche befriedigt werden. Mit Abstand am meisten Aufträge wurden am 12.4.10 (43 Aufträge), gefolgt vom 14.4.10 (34 Aufträge), verplant. Dadurch sind die Tour-Kosten in der ersten Woche folglich höher als in *Fall 1.1*, wohingegen in der zweiten Woche sehr

geringe Kosten anfallen. An den ersten drei Planungstagen erhöhten sich die Kosten bei der Mehr-Tages-Planung teilweise deutlich auf Grund der Vielzahl an Aufträgen, erst ab 15.4.10 konnten die Mehrkosten wieder wett gemacht werden. Die größte relative Verbesserung der Kosten konnte am 20.4. mit -46,9% erreicht werden. Auf Grund der fixen Frequenzen bei der Mehr-Tages-Planung änderte sich auch die Anzahl an Aufträgen leicht, so wurden insgesamt 3 Aufträge mehr verplant.

Fazit

Wie zu erwarten war, kommt es bei der Mehr-Tages-Planung zu einem deutlich optimierten Ergebnis im Vergleich zur Tagesplanung. Auch ist der Planungsaufwand wesentlich geringer, da die Planung nur einmal anstatt täglich durchgeführt wurde. Das gute Ergebnis resultiert daraus, dass die Touren der Mehrtagesplanung aus einem viel größeren Set an Aufträgen als bei der Tagesplanung zusammengestellt werden konnten. Somit war es möglich, geografisch benachbarte Kunden besser in Touren zusammenzufassen. Das in der Theorie sehr gut aussehende Ergebnis täuscht jedoch etwas über die tatsächlichen Gegebenheiten hinweg. Größter Kritikpunkt ist, dass das Modell in der momentanen Situation nicht wirklich praxistauglich ist. Der Grund dafür sind die vielen Annahmen, die getroffen werden mussten, denn in der Realität sind die Auftragseingänge sehr unregelmäßig, wodurch Aussagen über die Besuchsfrequenzen nur schwer möglich sind. Außerdem erwarten die Kunden eine Lieferung innerhalb der ersten 48 Stunden nach Auftragseingang, was hier vernachlässigt wurde. Es wäre jedoch durchaus denkbar, in einem ersten Schritt nur gewisse Stammkunden über mehrere Wochen zu verplanen und mit einer Frequenz zu versehen, und aufbauend darauf die restlichen Aufträge tagesbasiert zu verplanen. Um repräsentative Aussagen über die Frequenzen treffen zu können, müsste zur Feststellung dieser auch ein weitaus größerer Zeitraum als jener in dieser Arbeit herangezogen werden.

6.4.3 Szenario 3 – Ein-Tages-Planung mit variabler Auftragslage

Tabelle 32 zeigt alle Ergebnisse der Fälle 3.1 bis 3.9 im Überblick. Dabei wurden jeweils die Ergebnisse aus der manuellen Tourenplanung (MTP) und optimierten Tourenplanung (OTP) direkt miteinander verglichen. Im einzelnen wurde untersucht, welche Fahrzeuge (F) zum Einsatz kommen, wie viele Aufträge verplant (VA) und nicht verplant (UA) werden, wie lange die gesamte Tour-Dauer (TD) sowie die Netto-Lenkzeiten (L) sind, wie viele Wiederbeladungsstopps (WB) während einer Tour durchgeführt werden müssen, wie viele Kilometer an Distanz (D) zurückgelegt werden und wie hoch die Gesamtkosten (K_G) sind. Die Gesamtkosten setzen sich dabei einerseits aus den Tour-Kosten (K_T) und andererseits aus den Penalty-Kosten (K_P) zusammen.

6.4.3.1 Vergleichsanalyse

Tabelle 32. Szenario 3: Gesamtübersicht der Ergebnisse

Fall		F	VA	UA	*TD	*L	WB	***D	**K _T	**K _P	**K _G
3.1	Man	1	31	0	5:44	2:44	1	56,8	108,72	0	108,72
	Opt	1	31	0	5:17	2:17	1	48,4	98,61	0	98,61
	Abw (abs.)		0	0	-0:27	-0:27	0	-8,4	-10,11	0	-10,11
	Abw (rel.)				-7,85%	-16,46%		-14,79%	-9,30%		-9,30%
3.2	Man	1	16		2:37	1:07	0	22,8	48,37		48,37
	Man	2	15		2:48	1:33	0	32,9	55,16		55,16
	Man	Ges.	31	0	5:25	2:40	0	55,7	103,53	0	103,53
	Opt	1	15		2:13	0:48	0	16,5	39,85		39,85
	Opt	2	16		2:44	1:24	0	30,1	53,04		53,04
	Opt	Ges.	31	0	4:57	2:12	0	46,6	92,89	0	92,89
	Abw (abs.)		0	0	-0:28	-0:28	0	-9,1	-10,64	0	-10,64
	Abw (rel.)				-8,62%	-17,50%		-16,34%	-10,28%		-10,28%
3.3	Man	1	13		2:09	0:54		18,8	39,77		39,77
	Man	2	18		3:09	1:39		35,1	61,29		61,29
	Man	Ges.	31	0	5:18	2:33	0	53,9	101,06	0	101,06
	Opt	1	16		2:35	1:05	0	22,1	47,59		47,59

*TD, L in hh:mm
 **K_T, K_P, K_G in EUR
 ***D in km

		*TD, L in hh:mm **K _T , K _P , K _G in EUR ***D in km									
Fall		F	VA	UA	*TD	*L	WB	***D	**K _T	**K _P	**K _G
3.8	Man	1	48		6:30	1:50	2	36,3	112,02		112,02
	Man	2	43		8:37	4:02	3	85,1	163,29		163,29
	Man	Ges.	91	0	15:07	5:52	5	121,4	275,31	0	275,31
	Opt	1	48	0	7:34	2:54	2	59,5	137,30		137,30
	Opt	2	43	0	6:09	2:04	2	40,8	108,57		108,57
	Opt	Ges.	91	0	13:43	4:58	4	100,3	245,87	0	245,87
	Abw (abs.)		0	0	-1:24	-0:54	-1	-21,1	-29,44	0	-29,44
	Abw (rel.)				-9,26%	-15,34%		-17,38%	-10,69%		-10,69%
3.9	Man	1	55		7:44	2:24	3	48,2	135,28		135,28
	Man	2	36		7:42	3:47	2	79,9	147,46		147,46
	Man	Ges.	91	0	15:26	6:11	5	128,1	282,74	0	282,74
	Opt	1	49		7:53	2:53	2	59,2	141,93		141,93
	Opt	2	42		6:14	2:14	3	47,2	112,38		112,38
	Opt	Ges.	91	0	14:07	5:07	5	106,4	254,31	0	254,31
	Abw (abs.)		0	0	-1:19	-1:04	0	-21,7	-28,43	0	-28,43
	Abw (rel.)				-8,53%	-17,25%		-16,94%	-10,06%		-10,06%
Durchschnitt (abs.)			0,56	-0,56	-0:35	-0:33	0	-11,67	-13,42	-5,56	-18,97
Durchschnitt (rel.)					-5,96%	-13,50%		-13,41%	-7,47%		-10,26%

Tabelle 33. Szenario 3: Planungszeit/Rechenzeit

Fall	Planungszeit MTP (in min)	Rechenzeit OTP (in min)	Differenz (in min)	Differenz Kosten (in EUR)
3.1	ca. 20	2	-18	-4,50
3.2	ca. 20	3	-17	-4,25
3.3	ca. 20	3	-17	-4,25
3.4	ca. 30	7	-23	-5,75
3.5	ca. 35	8	-27	-6,75

3.6	ca. 40	11	-29	-7,25
3.7	ca. 50	19	-31	-7,75
3.8	ca. 50	17	-33	-8,25
3.9	ca. 50	23	-27	-6,75

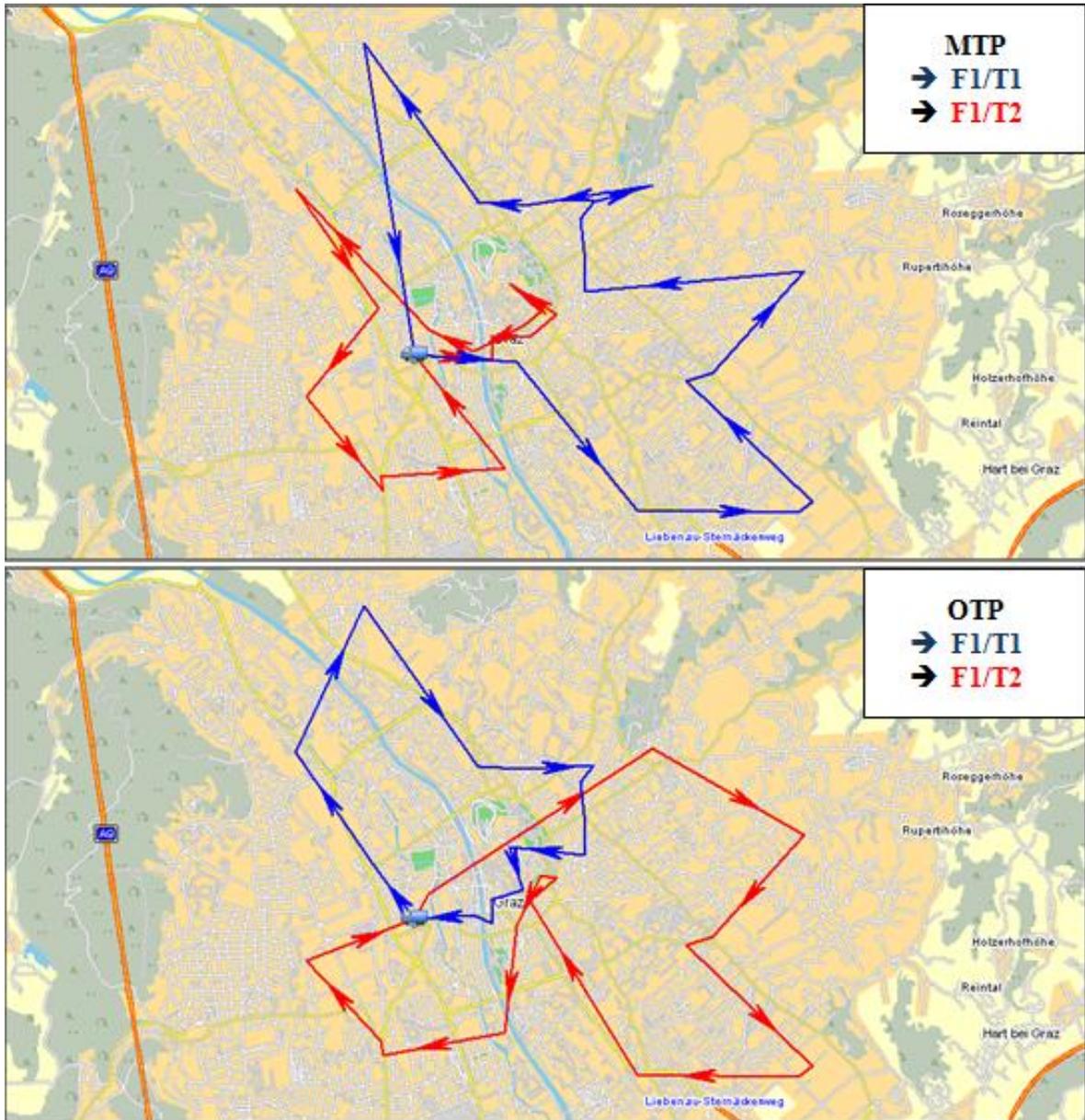
Die Planungszeiten für die MTP sind abhängig von den individuellen Fähigkeiten des Planungsbeauftragten und seinem Knowhow der Kunden. Daher sind die Ergebnisse eher als Richtwert zu verstehen und haben nur bedingt allgemeine Aussagekraft. Definitiv lässt sich jedoch feststellen, dass bei steigender Auftragszahl die Planung zunehmend komplex wird und eine „Gefühlsplanung“ nach Erfahrungswerten kaum bewältigbar ist. Die Beispiele 3.7 bis 3.9 konnten sogar nur durch eine Vorselektion (Gebietsaufteilung) durch den Planungsbeauftragten sinnvoll gelöst werden.

Alle Berechnungen der OTP wurden auf einem *Intel Pentium M* mit 1,73 Ghz und 512 MB RAM durchgeführt. Als Betriebssystem diente Microsoft XP mit dem Service Pack 2. Die Zeiten spiegeln lediglich die reine Rechenzeit wieder. Außer Acht gelassen wurde bei diesen Werten die Zeit zum Einlesen in die Software etc.

6.4.3.2 Detailanalyse

Fall 3.1

Abbildung 14. Fall 3.1

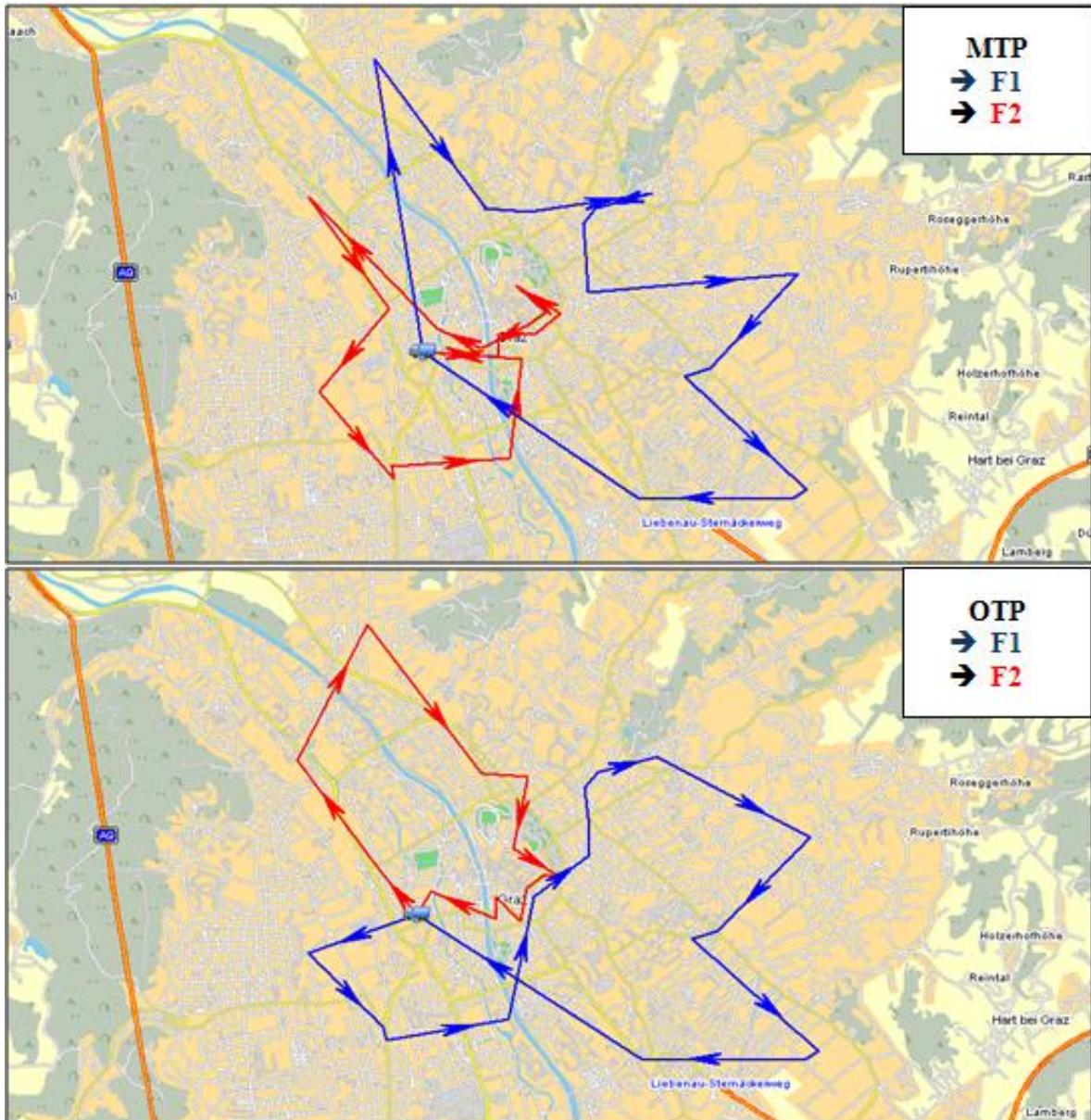


Fall 3.1 ist jener mit der geringsten Planungskomplexität und ist angelehnt an die momentan vorherrschende Situation im Unternehmen. Der Fall ähnelt daher sehr dem bereits aus den Vorkapiteln bekannten *Fall 1.1*. Zu verplanen waren 31 Aufträge (inklusive Heimatbesuch). Auf Grund dieser Tatsache war es kein Problem für den Planungsbeauftragten, eine für ihn optimale Tour zu erstellen. *Abbildung 14* (oben) zeigt die durch MTP erstellte Tour. Alle Aufträge konnten verplant werden, wobei ein

Wiederbeladungstopp abgehalten werden muss. Der Planungsbeauftragte beginnt seine Tour in der Innenstadt, um jene Kunden zuerst zu befriedigen, die nur bis 9:30 Uhr belieferbar sind. Danach entschied er sich, die Tour im Westen der Stadt fortzuführen. Es erfolgt ein WB-Stopp und daraufhin die Fortsetzung der Tour im Osten. Die Software errechnet für die manuell geplante Tour eine Tour-Dauer von 5 Stunden und 44 Minuten und Gesamtkosten von 108,72 Euro. Die graphische Auswertung der optimierten Tour lässt keine Aufschlüsse über eine geographische Gebietsaufteilung wie durch den Planungsbeauftragten zu. Die Tour konnte mit Hilfe der Optimierung wesentlich verbessert werden. Es kommt zu einer relativen Kostenersparnis von 9,3% (€10,11) wobei 27 Minuten an Fahrzeit und 8,4 km an Distanz gespart werden können. Wie auch bei der MTP muss ein WB-Stopp einkalkuliert werden.

Fall 3.2

Abbildung 15. Fall 3.2

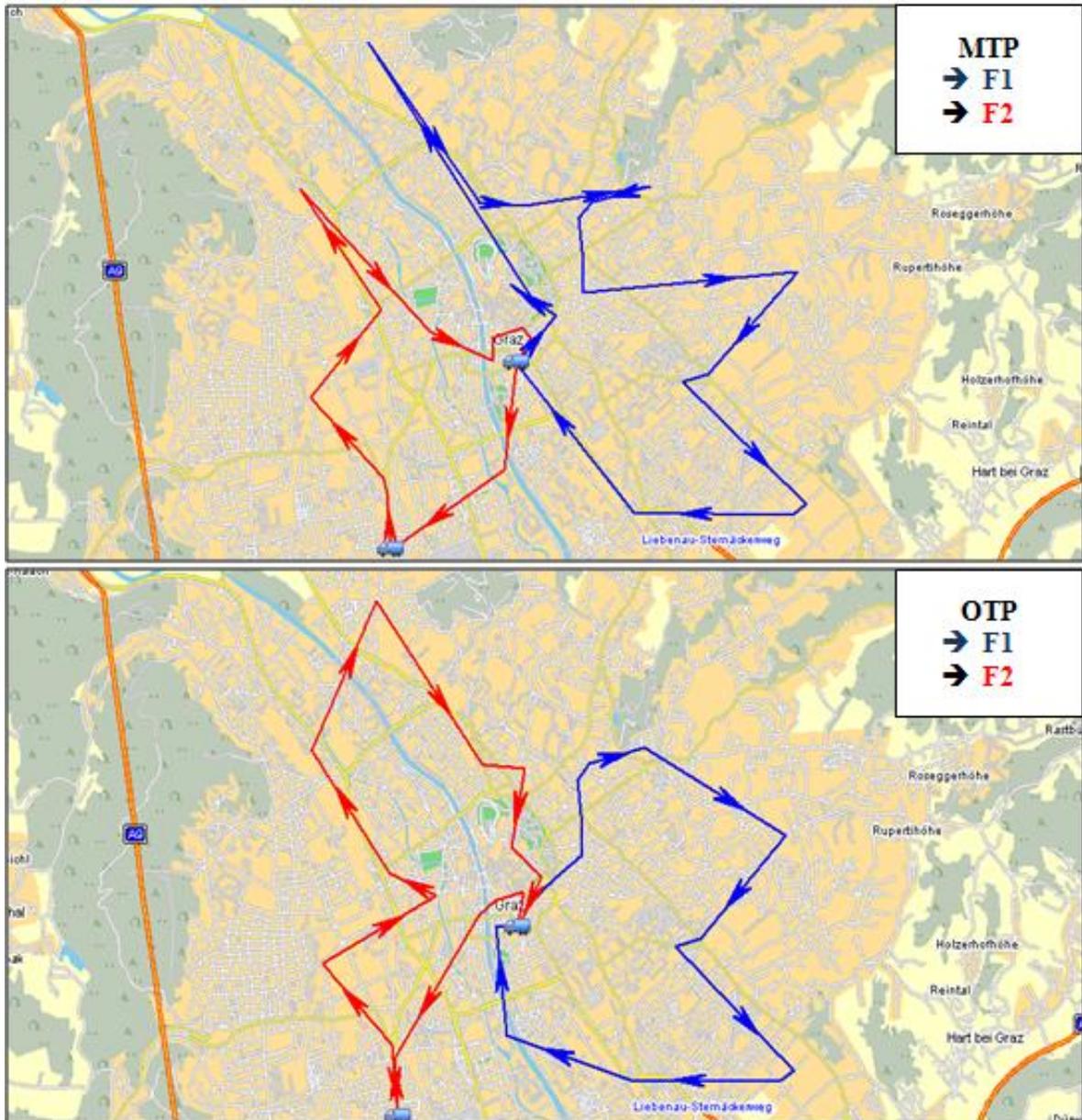


Der Planungsbeauftragte ändert erwartungsgemäß nichts an der aus *Fall 3.1* bekannten Tour und hält an der Gebietsaufteilung fest. Die einzige Änderung ist, nicht wie in *Fall 3.1* zwei Touren nacheinander zu planen, sondern gleichzeitig mit beiden Fahrzeugen zu starten. Dadurch ist kein WB-Stopp notwendig, was die Tour-Kosten auf 103,53 Euro reduziert. Auch nach der automatischen Optimierung war die gleiche Tour wie in *Fall 3.1* zu erwarten. Die OTP liefert jedoch eine neue Auftragsreihenfolge. Das zahlenmäßige Ergebnis unterscheidet sich dabei nur sehr gering im Vergleich zum vorherigen Beispiel. Daraus ist zu schließen, dass der in der Software verwendete Algorithmus durchaus

unterschiedliche Ergebnisse trotz gleicher Ausgangslage bei wiederholter Anwendung liefert. Das Ergebnis der MTP weicht im Vergleich mit der OTP um 10,28% (€10,64) ab, wobei die optimierten Touren in Summe um 28 Minuten bzw. 9,1 km kürzer sind als die manuell geplanten. Die Abweichung ist ähnlich wie in *Fall 3.1* unerwartet hoch für die geringe Auftragslage und zeigt, dass bereits bei niedriger Komplexität großes Verbesserungspotenzial durch die Optimierung besteht.

Fall 3.3

Abbildung 16. Fall 3.3

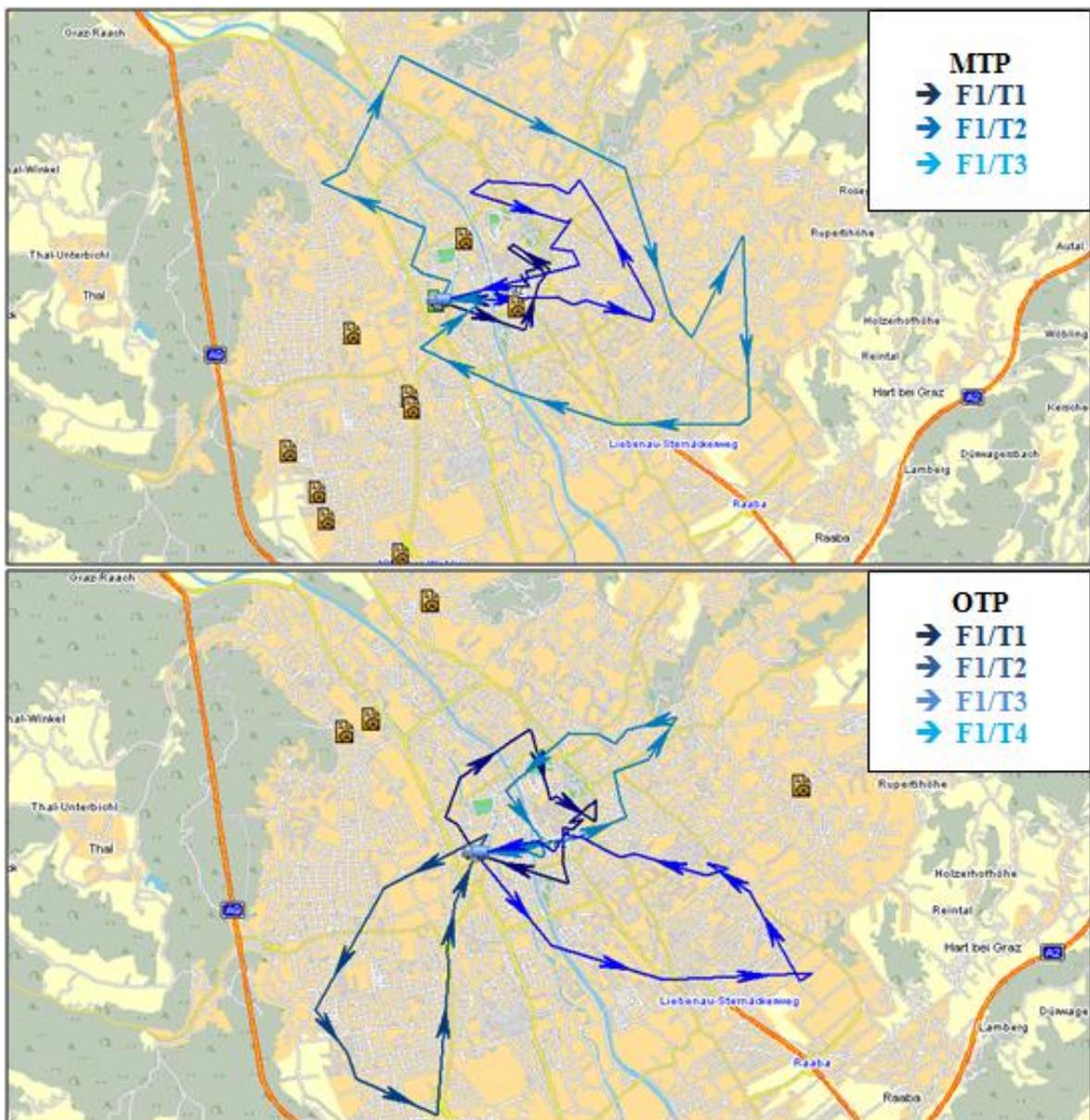


In *Fall 3.3* ist der Unterschied der Gesamtkosten zwischen MTP und OTP mit 8,16% noch immer signifikant hoch, jedoch trotz gesteigener Komplexität der Planungssituation geringer als in *Fall 3.1* und *Fall 3.2*. Nach Befragung des Planungsbeauftragten stellte sich heraus, dass der Grund dafür darin liegt, dass durch die geografische Trennung der beiden Depots (*D1* im Osten der Stadt, *D2* im Westen) die Aufträge den Touren leichter zuzuteilen sind. Anhand der graphischen Auswertung (siehe *Abbildung 16*) lässt sich wie schon in den vorherigen Beispielen gut die Ost-West-Aufteilung der MTP erkennen. Die innerstädtischen Aufträge werden jedoch auf beide Fahrzeuge aufgeteilt. Weiter fällt auf,

dass sowohl bei der MTP als auch bei der OTP F2 die Lieferung zwischen den beiden Depots durchführt. Die Kostenanalyse bestätigt die Vermutung, dass durch ein zweites Depot die Touren verbessert werden können. Bei der MTP werden mit Kosten von 101,06 Euro gerechnet, bei der OTP sind es um 8,25 Euro weniger. Dabei kann die Touren-Zeit um 21 Minuten bzw. die zurückgelegte Distanz um 7,5 km verkürzt werden.

Fall 3.4

Abbildung 17. Fall 3.4

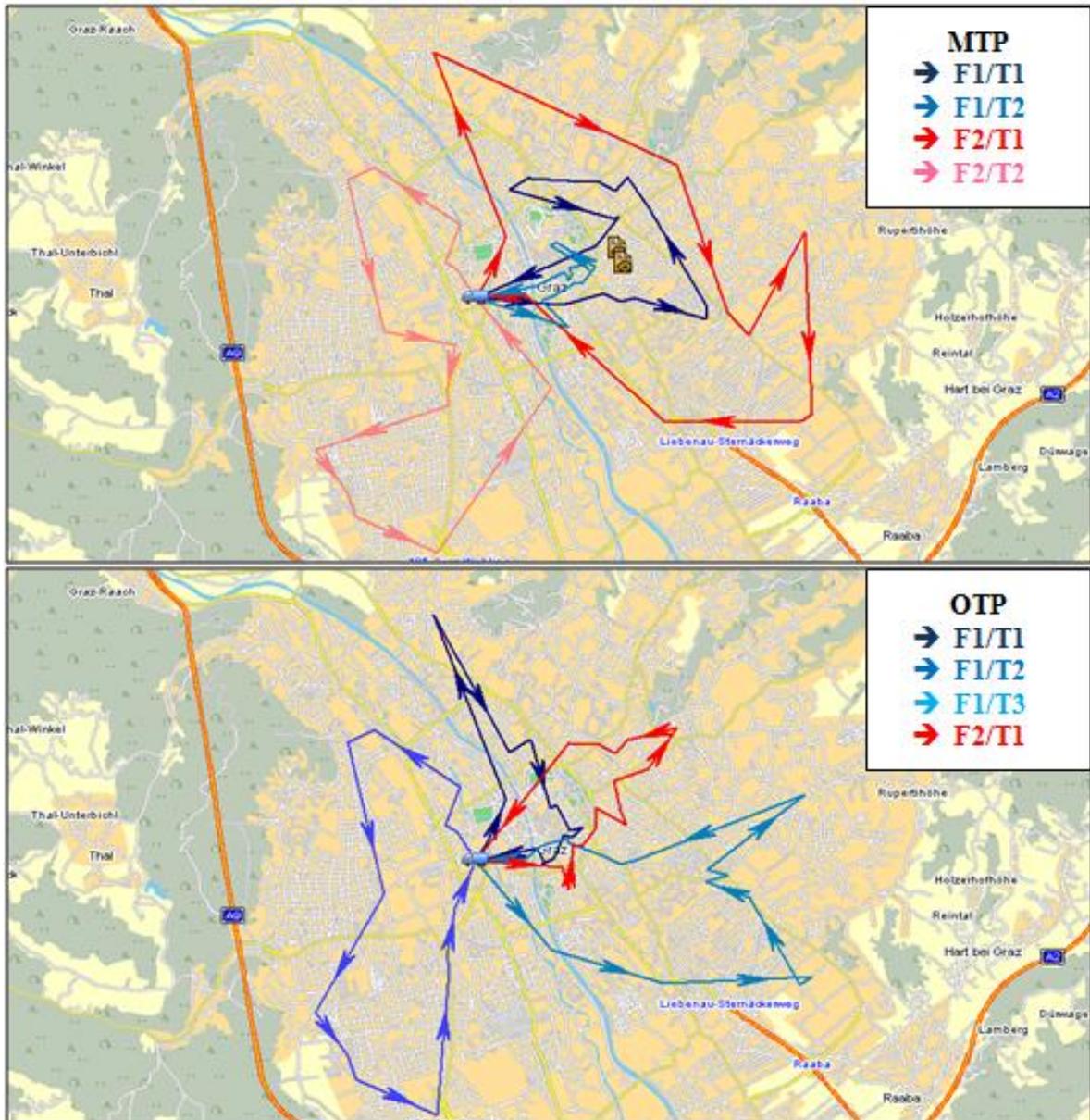


In *Fall 3.4* standen erstmals 60 Aufträge plus Zwischenlieferung zur Planung an. Damit handelt es sich um mehr als doppelt so viele Aufträge als momentan im Unternehmen

üblich. Bei der MTP zeigte sich der Planungsbeauftragte erstmals überfordert. Die Verdopplung der Auftragslage setzte ihn vor die Schwierigkeit, nicht mehr alle Aufträge verplanen zu können. Es musste daher eine Vorauswahl getroffen werden, welche Aufträge priorisiert werden. Die Entscheidung fiel auf die innerstädtischen Kunden, da diese einerseits nahe beieinander liegen und andererseits teils striktere Zeitrestriktionen aufweisen. Wie aus der Graphik hervorgeht, wird die Tour nach Wiederbeladung im Osten fortgesetzt. Der Fahrer entscheidet sich für eine ähnliche Teil-Tour wie vor der Wiederbeladung nur mit einem etwas weiteren Radius. Danach muss das Fahrzeug ein weiteres Mal wiederbeladen werden um schließlich in der letzten Teil-Tour die weiter entfernten Aufträge im Osten vom Depot aus gesehen zu befriedigen. Insgesamt können 53 der 61 Aufträge verplant werden, ohne die Zeitrestriktionen zu verletzen. Die gesamte Tour dauert 8 Stunden und 27 Minuten. Durch die acht nicht verplanten Aufträge fallen *Penaltykosten* von 80 Euro an, was ein Gesamtergebnis von 234,51 Euro bedeutet. Die nicht verplanten Aufträge befinden sich fast ausschließlich im Westen der Stadt. Durch die automatische Optimierung gelingt es, das Ergebnis wesentlich zu verbessern. Es können nun 57 der 61 Aufträge verplant werden. Dafür muss jedoch ein zusätzlicher WB eingerechnet werden. Trotz dieser Tatsache gelingt es, die Gesamtkosten um 19,15% (44,93 Euro) zu senken. Die Kostenersparnis geht auf die deutlich reduzierte Netto-Lenkzeit (-16,83%) und Distanz (-18,59%) zurück. Die vier erzeugten Teil-Touren sind, wie in *Abbildung 17* gut zu erkennen ist, in eine Südost-, Südwest-, und zwei innerstädtische Touren unterteilt. Drei der nicht verplanten Aufträge befinden sich im Norden, einer im Osten der Stadt. Die Wahl ist durchaus nachvollziehbar, da diese Aufträge weit vom Depot entfernt sind und wenige „Nachbarn“ haben.

Fall 3.5

Abbildung 18. Fall 3.5

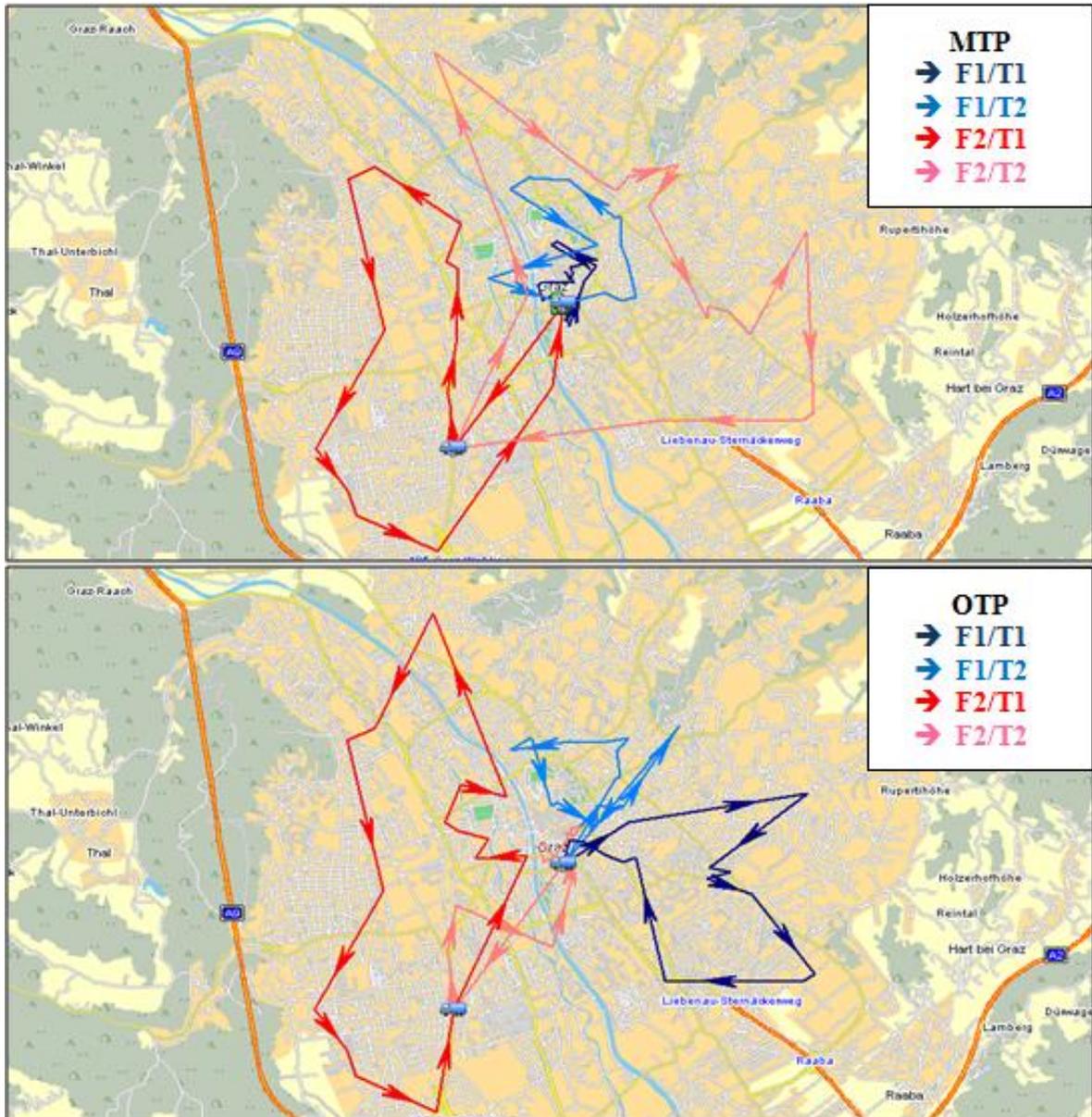


Durch ein zusätzliches Fahrzeug konnte in *Fall 3.5* das Problem der nicht verplanten Aufträge nahezu gelöst werden. Bei der MTP gelang es dem Planungsbeauftragten lediglich wegen zwei Aufträgen nicht, eine 100%ige Auftragsbefriedigung zu erzielen. Der zusätzliche Planungsaufwand durch das zweite Fahrzeug schlug sich sowohl auf die Planungszeit, als auch auf die Qualität der MTP nieder. Die Gesamtkosten liegen um 16,73% (32,81 Euro) über jenen der OTP. Die Distanz konnte durch die automatische Optimierung um 17,03% (13,9 km), die Netto-Lenkzeit um 16,32% (39 Minuten) verkürzt werden.

Wie aus *Abbildung 18* hervorgeht, unterscheiden sich die Touren der MTP und der OTP auch dahingehend, dass zwar insgesamt bei beiden Planungsmethoden zwei WB-Stopps abgehalten werden müssen, jedoch bei Ersterer beide Fahrzeuge gleichzeitig starten, jeweils einen WB-Stopp machen und daraufhin eine zweite Tour starten, während bei der OTP F1 zwei WB-Stopps macht und F2 keinen. Die beiden unverplanten Aufträge der MTP befinden sich im Stadtkern, was darauf zurückzuführen ist, dass nur F1 für den innerstädtischen Raum verwendet wird und die Kapazität auf Grund der Auftragsfülle nicht ausreicht.

Fall 3.6

Abbildung 19. Fall 3.6

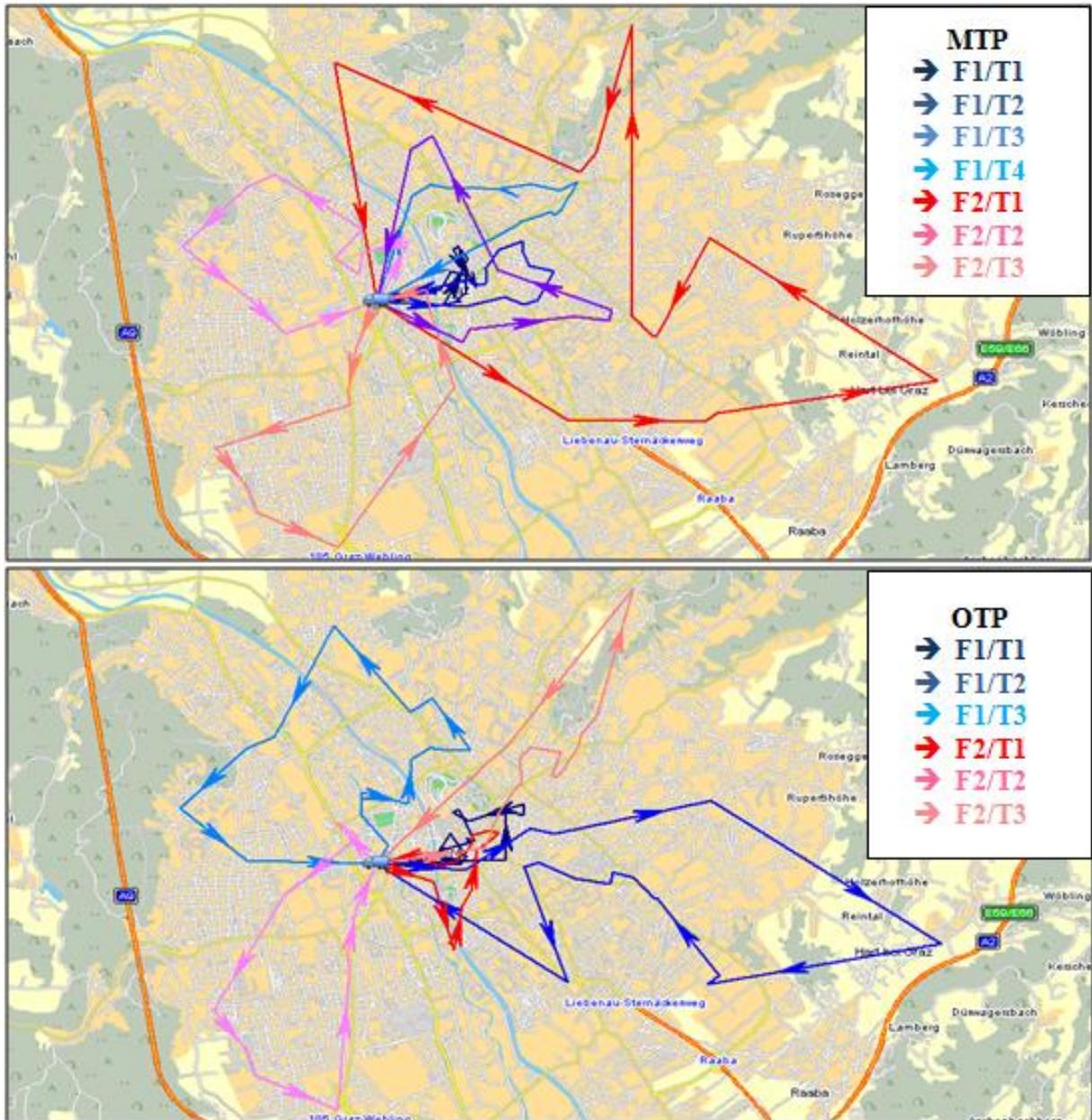


In *Fall 3.6* kam es bei der OTP durch das zusätzliche Depot unerwarteter Weise kaum zu Verbesserungen im Vergleich zu *Fall 3.5*. Bei der MTP blieb der Planungsbeauftragte seiner Einteilung treu und teilte die Aufträge nach innerstädtischen und weiter entfernten Aufträgen auf. *F1* fertigt im Zuge seiner Tour mit einem WB-Stopp alle Aufträge ab. *F2* hingegen startet mit einer Tour im Westen um nach dem WB-Stopp weiträumigere Aufträge im Osten abzufertigen. Die Lieferung zwischen den beiden Depots erledigt *F1* im Zuge der ersten Teil-Tour. Bei der OTP werden ebenfalls alle Aufträge befriedigt und beide Fahrzeuge haben jeweils einen WB-Stopp. Im Gesamtergebnis schneidet die OTP

Planung erstellten Touren teilweise nicht nachvollziehbare Aufträge verplant. So deutet die ungewöhnliche Schleife im links-unteren Bereich der Graphik auf ein suboptimales Ergebnis der OTP hin. Während viele Aufträge im Osten der Stadt (rechts in der Abbildung) bzw. im Stadtinneren (Zentrum der Abbildung) unverplant bleiben, entscheidet sich der Algorithmus für diese Vorgehensweise. Zur Überprüfung dieser Vermutung wurde eine manuelle Korrektur der Tour durchgeführt, wobei dafür durch „Ausprobieren“ einige Aufträge getauscht werden. Es stellte sich heraus, dass so ein weitaus besseres Ergebnis als das durch das heuristische Verfahren der OPT präsentierte Ergebnis erzielt werden konnte. Dies zeigt, dass der verwendete Algorithmus der Software in einigen Fällen keine optimalen Lösungen liefert. Während durch die OTP lediglich 60 Aufträge erfolgreich verplant werden können, gelingt es dem Planungsbeauftragten, einen Auftrag mehr zu verplanen. Trotz dieser Tatsache konnte er in seiner Planung sowohl die Lenkzeit um 19 Minuten, als auch die Distanz um 7,7 km verringern. Dies schlägt sich in den Gesamtkosten auf Grund der *Penaltykosten* noch deutlicher nieder, indem die MTP ein um 3,15% (€14,08) besseres Ergebnis erzielt als die OTP. Der Planungsbeauftragte konzentriert sich auf Grund der vielen Aufträge lediglich auf jene in der Innenstadt. Er erstellt eine Tour mit 3 WB-Stopps, die nur Aufträge mit den Postleitzahlen (PLZ) 8010 und 8020 beinhaltet. Generell betrachtet liefert *Fall 3.7* sowohl bei der MTP als auch OTP das mit Abstand schlechteste Gesamtergebnis in Bezug auf die Kosten. Der Grund dafür ist, dass sich die vielen unverplanten Aufträge in Form von *Penaltykosten* negativ auf das Gesamtergebnis auswirken. Sowohl bei der MTP als auch OTP wurden lediglich 2/3 aller Aufträge befriedigt. Die Kapazität des einzigen Fahrzeugs war bei weitem überstrapaziert und die vielen WB-Stopps ließen kein besseres Ergebnis in der vorgegebenen Zeit zu.

Fall 3.8

Abbildung 21. Fall 3.8

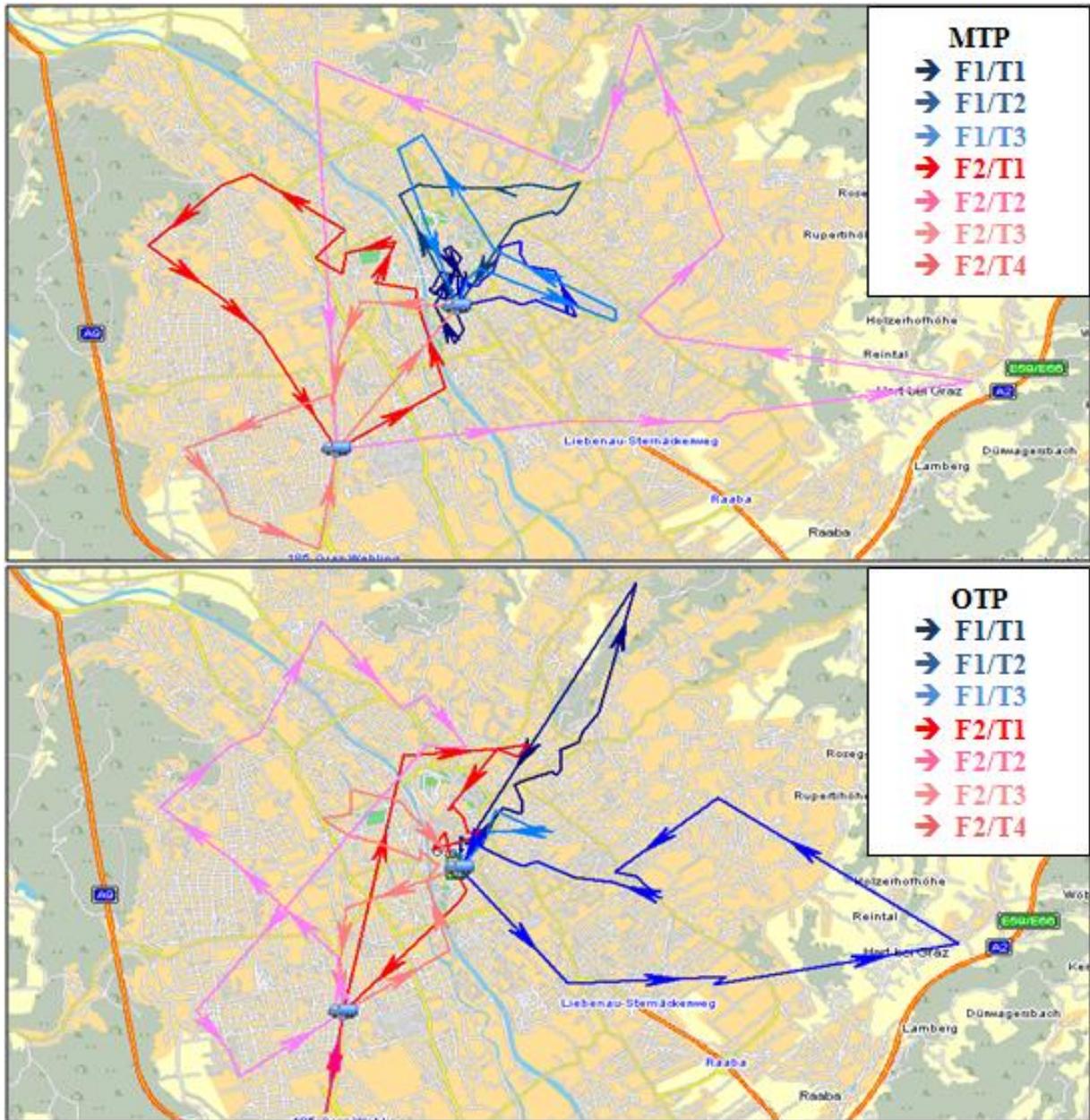


Durch Inbetriebnahme des zweiten Fahrzeuges können nun auch in *Fall 3.8* alle Aufträge innerhalb des vorgegebenen Zeitrahmens befriedigt werden. Die OTP kommt dabei mit einem WB-Stopp weniger als der Planungsbeauftragte aus. Im Detail benötigt *F1* bei der MTP zwei und *F2* drei WB-Stops, während bei der OTP beide Fahrzeuge mit jeweils zwei WB-Stops auskommen. Der Planungsbeauftragte entscheidet sich in diesem Fall wiederum für eine Vorselektion der Aufträge in Form einer Gebietsaufteilung. Er sortiert dabei vor der eigentlichen Tourenplanung alle Aufträge nach ihrer PLZ. *F1* bekommt nur

innerstädtische Aufträge mit der PLZ 8010 zugeteilt. F2 hingegen beginnt mit einer Ost-Tour (nur Aufträge mit den PLZ: 8030-8049 und 8060-8080). Erst nach vollständiger Befriedigung dieser Aufträge kann eine West-Tour (nur Aufträge mit den PLZ 8020 und 8050-8059) gestartet werden. Nur durch diese Vorsortierung gelingt es dem Planungsbeauftragten alle Aufträge in die Tourenplanung aufzunehmen. Für die OTP wird auf eine Gebietsaufteilung verzichtet. Trotzdem kann durch die Optimierung ein um 10,69% (€29,44) besseres Gesamtergebnis erzielt werden. Die gesamte zurückgelegte Distanz kann dabei um 21,1 km (17,38%) verringert werden. Die Netto-Fahrzeit verkürzt sich ebenfalls deutlich um knapp eine Stunde (15,34%).

Fall 3.9

Abbildung 22. Fall 3.9



Im letzten Untersuchungsfall 3.9 orientierte sich der Planungsbeauftragte stark an *Fall 3.8* und ging vor der eigentlichen Planung abermals von einer Gebietsaufteilung aus. Er nutzt den Vorteil der geographischen Lage der Depots und plante die Stadt-Touren von *Depot 2* und die West-Touren von *Depot 3* aus. Da das Fahrzeug aus *Depot 2* durch die Stadttouren bereits voll ausgelastet ist, entschied er sich dafür, auch die Ost-Tour vom weiter entfernten *Depot 3* aus zu starten. So ließen sich alle Aufträge verplanen. Insgesamt müssen nach Planung des Planungsbeauftragten die Fahrzeuge fünf Mal zur WB in eines

der beiden Heimatdepots zurückkehren. Dies gilt auch für die OTP, wobei *F1* zwei und *F2* drei WB-Stopps abhält. Bei der OTP ist keine exakte geographische Aufteilung anhand der Graphik auszumachen. Wieder gelingt es durch die OTP die Kosten um über 10% (28,43 Euro) zu reduzieren. Sowohl bei der zurückgelegten Distanz als auch bei der eingesparten Zeit kommt es sogar zu den bisher größten Verbesserungen von 21,7 km (16,94%) Distanzreduktion und 1 Stunde und 4 Minuten (17,25%) Zeitersparnis.

Fazit

In *Szenario 3* wurde die bisher im Unternehmen übliche Tourenplanung einer Belastungsprobe unterzogen. So musste der Planungsbeauftragte des Unternehmens neun unterschiedliche Fallbeispiele, die sich in der Anzahl an zu verplanenden Aufträgen, der Anzahl an eingesetzten Fahrzeugen sowie der Anzahl an zur Verfügung stehenden Depots unterscheiden, zunächst manuell verplanen. Dabei stieg die Planungskomplexität der Beispiele von Fall zu Fall. Der Planungsbeauftragte ging, wie derzeit im Unternehmen gehandhabt, nach eigenem Ermessen und ohne technische Hilfsmittel vor. Die einzelnen Planungsvorschläge wurden daraufhin in die Software implementiert und mittels manueller Tourenplanung ausgewertet. Dadurch konnten die vom Planungsbeauftragten erstellten Touren messbar und vergleichbar gemacht werden. Alle Fallbeispiele wurden im Anschluss mit Hilfe der Software optimiert und wiederum ausgewertet. Die Ergebnisse der optimierten Tourenplanung wurden daraufhin direkt mit jenen der manuellen Tourenplanung verglichen.

Es stellte sich heraus, dass durch die OTP (mit Ausnahme von *Fall 3.7*) durchwegs deutlich bessere Ergebnisse als bei der MTP erzielt werden konnten. Im Durchschnitt konnten die Kosten um 10,26% reduziert werden. Dabei konnten im Schnitt 11,67 km (7,47%) pro Tag an zurückgelegter Distanz eingespart werden und die Netto-Lenkzeit verringerte sich um 37 Minuten pro Tag verringert werden. Wie zu erwarten war, zeigten sich beim Planungsbeauftragten große Schwierigkeiten bei steigender Komplexität der Fälle. Bei einer dreifach erhöhten Auftragslage konnte die Aufgabe nur noch durch Vorselektieren (Aufteilung der Aufträge nach Postleitzahlen) bewältigt werden. Vor allem die Entscheidung, welche Aufträge bei kapazitätsübersteigender Auftragslage priorisiert und welche nicht in die Touren aufgenommen werden, scheint nur noch nach Gefühl des Planers zu erfolgen. Jedoch zeigte gerade in dieser Situation auch die Software unerwartete Schwächen. So konnte in *Fall 3.7* trotz Optimierung bei weitem kein optimales Ergebnis

erzielt werden. Stehen weit mehr Aufträge zur Planung bereit, als durch ein Fahrzeug ausführbar sind, trifft der in der Software verwendete Algorithmus offensichtlich zum Teil suboptimale Entscheidungen. Das Ergebnis könnte zwar durch Änderung der Startlösung und wiederholter Optimierung verbessert werden, auf Grund der hohen Rechenzeit (ca. 20 Minuten pro Berechnung) ist dieses Vorgehen jedoch nicht wirklich praxistauglich. In den übrigen Fällen zeigte sich dieses Problem jedoch nicht, im Gegenteil, es konnten in 8 von 9 Fällen sowohl die gesamte Tour-Dauer, die Netto-Fahrzeit, als auch die zurückgelegte Distanz verringert werden. In 2 Fällen wurden zusätzlich auch mehr Aufträge als durch den Planungsbeauftragten verplant. Überraschend waren vor allem die Ergebnisse der ersten drei Untersuchungsfälle. Trotz „normaler“ Auftragslage konnte durch die Optimierung eine Kostenminimierung von bis zu 10% erreicht werden. Zusammenfassend lässt sich demnach festhalten, dass der Einsatz der automatischen Tourenplanung und der dabei verwendeten heuristischen Verfahren, selbst bei geringer Planungskomplexität klare Verbesserungen mit sich bringt.

7 Schlusswort

Ausgehend von den Optimierungs- und Umstrukturierungsabsichten eines Grazer Kleinunternehmens im Bereich seiner Tourenplanung, wurden mehrere Fallbeispiele erstellt und untersucht. Da die aktuelle Tourenplanung im Unternehmen vollkommen unsystematisch und nach „Bauchgefühl“ des Planungsbeauftragten erfolgt, wurde der Einsatz einer professionellen Tourenplanungssoftware empfohlen. Mit Hilfe dieser wurde zunächst die aktuelle Situation im Unternehmen analysiert und messbar gemacht. Im ersten Schritt wurde dabei eine zwei Wochen dauernde empirische Untersuchung der Paketauslieferungen des Unternehmens vorgenommen und die erhaltenen Daten ausgewertet. Auf Grund der erhaltenen Daten war es nun möglich, die Einstellungen der Software so zu wählen, dass möglichst realitätsnahe Rahmenbedingungen für die weiteren Untersuchungen herrschten. Die vom Fahrer zusammengestellten Touren während der empirischen Untersuchung, wurden daraufhin manuell in die Software implementiert, um so Referenzwerte bezüglich zurückgelegter Distanzen, benötigter Zeiten und anfallender Kosten der Touren zu bekommen.

Nachdem die Software an die realen Verhältnisse im Unternehmen angepasst war, konnten drei Szenarien zu Tourenplanung vorgestellt werden. In *Szenario 1* wurden sechs verschiedene Untersuchungsfälle ausgewertet, analysiert und auf mögliche Kostenvorteile untersucht. Um die Fallbeispiele vergleichbar zu machen und auf ihre Praxistauglichkeit zu prüfen, wurden dieselben Auftragsdaten wie bei der manuellen Tourenplanung herangezogen. Im ersten Fall konnten die aus der manuellen Planung bekannten Touren, unter gleichen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen, durch die in der Software integrierten heuristische Verfahren deutlich verbessert werden. Konkret konnten die Tourkosten durch die Optimierung der Auftragsreihenfolgen um bis zu 12% reduziert werden. Die weiteren Fälle dieses Szenarios basierten auf Vorschlägen des Unternehmens zur Verbesserung der Transportlogistik. So wurden unterschiedliche Ausgangssituationen der Planung (Änderung des Fuhrparks, Änderung der Servicezeiten, Änderung der Restriktionen, etc.) geschaffen und diese auf ihr Potenzial hin getestet. Es zeigte sich beispielsweise, dass bei gegebener Auftragslage keine signifikante Kostenreduktion durch den Einsatz eines weiteren Fahrzeuges erzielt wurde. Jedoch konnte aus den Berechnungen des *Falls 1.3* gezeigt werden, dass durch die Anschaffung eines größeren Fahrzeuges

(doppelte Kapazität), eine Kostenminimierung von knapp 5% möglich wäre. Die Untersuchungen aus *Fall 1.4* ergaben, dass die gesamten Tour-Kosten um 13,7% optimiert werden können, indem die momentan üblichen täglichen Depotbesuche aus der Tourenplanung entfernt werden. Der nächste Untersuchungsfall resultierte aus dem Wunsch des Unternehmens, seine Kundenbetreuung zu intensivieren. Es wurde getestet, welche Auswirkung eine Erhöhung der Kundenservicezeiten auf die Tourenplanung hat. Es stellte sich heraus, dass durch die Verdopplung der Servicezeiten mit einer Kostenerhöhung von 26,6% zu rechnen ist, wobei diese Erhöhung nicht ausschließlich auf den erhöhten Zeitaufwand für die Kundenbetreuung zurückzuführen ist. Viel mehr verschlechterte sich durch diese Maßnahme auch das Ergebnis der übrigen Tour, so kam es zu einer niedrigeren Auftragsbefriedigungsrate, einer erhöhten Netto-Fahrzeit und einer Vergrößerung der zurückzulegenden Distanz. Im letzten Untersuchungsfall von *Szenario 1* wurden die bestehenden Touren aus *Fall 1.1* durch eine Auflockerung der Zeitfenster (Tolerierung von 30-minütiger Verspätung) weiter optimiert. Es stellte sich jedoch heraus, dass sich die Touren bei der aktuellen (geringen) Auftragslage kaum änderten und nur marginale Kosteneinsparungen erzielt werden können.

Mit *Szenario 2* wurde ein vollkommen anderer Ansatz der Tourenplanung getestet. Anstatt wie bisher eine tägliche Planung durchzuführen, wurde eine Einmalplanung über einen Zeitraum von zwei Wochen durchgeführt. Für den Datensatz wurden wiederum die aus *Szenario 1* bekannten Aufträge gewählt. Um eine Planung über einen längeren Zeitraum möglich zu machen, wurde jedem einzelnen aus einem gegebenen Set an Kunden, eine individuelle Besuchsfrequenz zugeordnet. Die Frequenz bestimmte die Häufigkeit der Lieferungen zu einem Kunden innerhalb des Untersuchungszeitraumes. Danach wurden alle Aufträge mittels automatischer Tourenplanung verplant. Auf Grund der nun weitaus größeren Kombinationsmöglichkeiten bei der Tourenzusammenstellung, konnte erwartungsgemäß ein kostenoptimiertes Gesamtergebnis im Vergleich zur Tagesplanung erzielt werden. Die Kosten lagen dabei um 12,6% unter jenen bei der Tagesplanung. Der Kritikpunkt an dieser Planungsmethode ist die begrenzte Anwendungsmöglichkeit in der Praxis, da die meisten Kundenaufträge sehr unregelmäßig eingehen. Dadurch sind Frequenzzuordnungen kaum möglich. Ein Lösungsansatz wäre eine Kombination aus Mehr-Tages-Planung und Ein-Tages-Planung, wobei nur die Aufträge der Stammkunden fest über einen längeren Zeitraum verplant werden und die Einzelaufträge tagesbasiert nachträglich in die bestehenden Touren integriert werden.

In *Szenario 3* wurde die momentan im Unternehmen angewandte Planungsmethode einem Belastungstest unterworfen. Dafür wurden dem Planungsbeauftragten des Unternehmens neun Fälle mit zunehmender Planungskomplexität zur Planung überlassen. Dieselben Fälle wurden daraufhin auch mit Hilfe der Software verplant und dadurch einer Optimierung unterzogen. Die Ergebnisse der beiden Methoden wurden daraufhin miteinander verglichen. Es stellte sich heraus, dass bereits im Fall mit der geringsten Komplexität (einem *Single-Depot-TSP* mit 30 Aufträgen) durch die Optimierung über 9% Kostenersparnis bei den Touren erzielt werden konnte. Die Annahme, dass die Kostenersparnis bei steigender Komplexität der Fälle bis hin zu einem *Multi-Depot-VRP* mit 90 Aufträgen stetig steigen würde, bestätigte sich jedoch nicht so deutlich wie vermutet. Vielmehr blieb die Kostenersparnis relativ konstant um die 10% (maximal 19% in *Fall 3.4*). Mit *Fall 3.7* zeigten sich überraschender Weise deutliche Schwächen der Software. So konnte trotz Anwendung der heuristischen Verfahren bei weitem kein optimales Ergebnis erzielt werden. In diesem Fallbeispiel, indem weitaus mehr Aufträge zur Planung freigegeben waren als durch die Fahrzeugkapazität ausführbar, trifft der in der Software verwendete Algorithmus teils suboptimale Entscheidungen. Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse jedoch eindeutig die Überlegenheit der automatischen Tourenplanung gegenüber der manuellen Tourenplanung wodurch der Einsatz der Software gerechtfertigt wird.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Einsatz softwareunterstützter Tourenplanung für das Unternehmen klare Vorteile mit sich bringt. Allein durch die Reihenfolgeoptimierung von bestehenden Touren konnten diese um bis zu 10% optimiert werden. Zusätzlich konnten mit Hilfe der Software auch strukturelle Änderungen der Transportlogistik ohne finanziellen Aufwand auf ihr Verbesserungspotenzial hin getestet werden. So konnten u.a. Kosteneinsparungen durch den Einsatz eines größeren Fahrzeugs festgestellt werden oder der finanzielle Mehraufwand bei Erhöhung der Kundenservicezeiten quantifiziert werden. Durch die Änderung der Planungsmethode auf Mehr-Tages-Planung ließen sich die Touren sogar noch weiter optimieren. Dafür müssten die in der Arbeit gewählten Annahmen jedoch noch mehr mit der Praxis in Einklang gebracht werden. Der Ansatz kann aber als Denkanstoß verwendet werden und Grundlage für weitere Überlegungen sein.

8 Literaturverzeichnis

Applegate, D. L., Bixby, R. E., Chvatal, V., & Cook, W. J. (2006). *The Traveling Salesman Problem*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Brandstätter, J. (2008). *Der Jul'sche Metaheuristik-Mix zur Lösung eines Capacitated Vehicle Routing Problems*. Diplomarbeit, Wirtschaftsuniversität Wien, Management Science, Wien.

Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operational Research*, S. 568-581, Vol. 12, 1964.

Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operational Research* (Vol. 12), S. 568-581.

Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (October 1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science* (Vol. 6, No. 1), S. 80-91.

Dantzig, G. B., Fulkerson, R., & Johnson, S. M. (1954). Solution of a large-scale traveling salesman problem. *Operations Research* (2), S. 393-410.

Domschke, W. (1990). *Logistik: Rundreisen und Touren* (3. Ausg.). München: Oldenbourg Verlag GmbH.

Domschke, W., & Drexl, A. (2006). *Einführung in Operations Research* (7. Ausg.). Berlin et al.: Springer.

Gillett, B. E., & Miller, L. R. (1974). A Heuristic Algorithm for the Vehicle-Dispatch Problem. *Operations Research* (Vol. 22), S. 340-349.

Groër, C., Golden, B., & Wasil, E. (2009). The Consistent Vehicle Routing Problem. *Manufacturing & Service Operations Management* (Vol. 11, No. 4), S. 630-643.

GTS Systems and Consulting GmbH. (2010). Abgerufen am 9. April 2010 von Homepage GTS Systems and Consulting GmbH: www.gts-systems.de

Gudehus, T. (2007). *Logistik 1* (3. Ausg.). Berlin et al.: Springer.

Günther, H.-O., & Tempelmeier, H. (2000). *Produktion und Logistik* (4. Ausg.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Hahsler, M., & Hornik, K. (2006). *TSP - Infrastructure for the Traveling Salesperson Problem*. Wirtschaftsuniversität Wien, Department of Statistics and Mathematics. Wien: Report 45.

Heinrich, G. (2007). *Operations Research*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.

Hemmelmayr, V. C., Doerner, K. F., & Hartl, R. F. (16. Juni 2009). A variable neighborhood search heuristic for periodic routing problems. *European Journal of Operational Research* (Vol. 195, Issue 3), S. 791-802.

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2005). *Introduction to Operations Research* (8. Ausg.). New York: McGraw-Hill.

Hinrichsen, J. (1975). *Branch- and Bound-Verfahren zur Lösung des Rundreiseproblems*. Hamburg: Vandenhoeck & Ruprecht in Göttingen.

Jünemann, R. (1989). *Materialfluß und Logistik*. Berlin: Springer.

Kabath, M. (1997). *Das Konzept der periodischen Tourenplanung* (1. Ausg.). Aachen: Shaker Verlag.

Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Kan, A. R., & Shmoys, D. B. (1985). *The Traveling Salesman Problem*. Chichester [u.a.]: John Wiley & Sons.

Lin, S., & Kernighan, B. W. (1973). An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling-Salesman Problem. *Operations Research* (Vol. 21), S. 498-516.

Martin, H. (2006). *Transport- und Lagerlogistik* (6. Aufl.). Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag.

MobileX AG. (2010). Abgerufen am 21. Juni 2010 von Homepage MobileX AG: <http://www.mobilexag.de>

PLT - Planung für Logistik & Transport GmbH. (2010). Abgerufen am 14. Juni 2010 von Homepage PLT GmbH: <http://www.trackpilot.de>

Renault Österreich GmbH. (2010). Abgerufen am 29. März 2010 von Homepage Renault Österreich GmbH: www.renault.at

Schulte, C. (1999). *Logistik - Wege zur Optimierung des Material- und Informationsflusses* (3. Aufl.). München: Franz Vahlen.

Schulten, U., & Blümel, K. (1984). Die Bedeutung der betriebswirtschaftlichen Logistik für die Unternehmensführung. *ZfB - Ergänzungsheft*, S. 1-16.

Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia, PA: SIAM monographs on discrete mathematics and applications.

Zäpfel, G., & Braune, R. (2005). *Moderne Heuristiken der Produktionsplanung*. München: Franz Vahlen GmbH.

Zimmermann, W., & Stache, U. (2001). *Operations Research - Quantitative Methoden zur Entscheidungsvorbereitung* (10. Aufl.). München: Oldenbourg.

9 Anhang

A: LOCATIONS

Tabelle 34. Locations

Location	Straße	Haus-Nr.	PLZ	Ort	Land	Lieferart	Depot
L001	Harterstraße	1	8053	Graz	AT	0	
L002	Am Eisernen Tor	3	8010	Graz	AT	1	
L003	Andreas Hofer Platz	15	8010	Graz	AT	0	
L004	Andreas Hofer Platz	17	8010	Graz	AT	0	
L005	Andritzer Reichsstraße	15	8045	Graz	AT	0	
L006	Annenstraße	57	8020	Graz	AT	0	
L007	Auenbruggerplatz	24	8036	Graz	AT	0	
L008	Auenbruggerplatz	29	8036	Graz	AT	0	
L009	Bahnhofgürtel	77	8020	Graz	AT	0	
L010	Baumkircherstraße	2	8020	Graz	AT	0	
L011	Brückenkopfgasse	2	8020	Graz	AT	0	
L012	Bürgergasse	10	8010	Graz	AT	1	
L013	Bürgergasse	6	8010	Graz	AT	1	
L014	Burgring	22	8010	Graz	AT	0	
L015	Elisabethnergasse	14	8020	Graz	AT	0	
L016	Elisabethstraße	32	8010	Graz	AT	0	
L017	Fellingergasse	7	8020	Graz	AT	0	
L018	Franckstraße	19	8010	Graz	AT	0	
L019	Freiheitsplatz	2	8010	Graz	AT	1	
L020	Friedrichgasse	6	8010	Graz	AT	0	
L021	Glacisstraße	47	8010	Graz	AT	0	
L022	Glasfabrikstr.	14	8051	Graz	AT	0	
L023	Gleisdorfergasse	4	8010	Graz	AT	0	

Location	Straße	Haus-Nr.	PLZ	Ort	Land	Lieferart	Depot
L024	Grabenstraße	75	8010	Graz	AT	0	
L025	Grabenstraße	23	8010	Graz	AT	0	
L026	Grazbachgasse	39	8010	Graz	AT	0	
L027	Grieskai	62	8020	Graz	AT	0	
L028	Hans Brandstetter Gasse	6	8010	Graz	AT	0	
L029	Hans-Mauracher-Str.	6	8044	Graz	AT	0	
L030	Hans-Sachs-Gasse	3	8010	Graz	AT	1	
L031	Hartenaugasse	34	8010	Graz	AT	0	
L032	Heinrichstraße	45	8010	Graz	AT	0	
L033	Heinrichstraße	50	8010	Graz	AT	0	
L034	Herdergasse	11	8010	Graz	AT	0	
L035	Herrengasse	40	8010	Graz	AT	1	
L036	Hilmteichstraße	7	8010	Graz	AT	0	
L037	Hofgasse	3	8010	Graz	AT	1	
L038	Jakominiplatz	16	8010	Graz	AT	1	
L039	Jakominiplatz	24	8010	Graz	AT	1	
L040	Josef Pongratz Platz	1	8010	Graz	AT	0	
L041	Kaiserfeldgasse	1	8010	Graz	AT	0	
L042	Kaiserfeldgasse	29	8010	Graz	AT	0	
L043	Kaiser-Josef-Platz	2	8010	Graz	AT	0	
L044	Kalchberggasse	10	8010	Graz	AT	0	
L045	Karl-Morre-Straße	32	8020	Graz	AT	0	
L046	Kärntner Straße	101	8053	Graz	AT	0	
L047	Kärntner Straße	287	8020	Graz	AT	0	
L048	Kleiststrasse	48	8020	Graz	AT	0	
L049	Körblergasse	111	8010	Graz	AT	0	
L050	Körblergasse	126	8010	Graz	AT	0	
L051	Körblergasse	23	8010	Graz	AT	0	

Location	Straße	Haus-Nr.	PLZ	Ort	Land	Lieferart	Depot
L052	Krottendorfer Str.	60	8052	Graz	AT	0	
L053	Lagergasse	158	8020	Graz	AT	0	
L054	Landhausgasse	10	8010	Graz	AT	1	
L055	Lange Gasse	39	8010	Graz	AT	0	
L056	Laneggasse	2	8010	Graz	AT	0	
L057	Leechgasse	37	8010	Graz	AT	0	
L058	Leonhardstraße	109	8010	Graz	AT	0	
L059	Leonhardstraße	15	8010	Graz	AT	0	
L060	Leonhardstraße	30	8010	Graz	AT	0	
L061	Leonhardstraße	8	8010	Graz	AT	0	
L062	Leonhardstraße	82	8010	Graz	AT	0	
L063	Lessingstraße	25	8010	Graz	AT	0	
L064	Liebiggasse	22	8010	Graz	AT	0	
L065	Marburger Kai	47	8010	Graz	AT	0	
L066	Marienplatz	1	8020	Graz	AT	0	
L067	Merangasse	12	8010	Graz	AT	0	
L068	Moserhofgasse	3	8010	Graz	AT	0	
L069	Münzgrabenstraße	36	8010	Graz	AT	0	
L070	Naglergasse	17	8010	Graz	AT	0	
L071	Naglergasse	60	8010	Graz	AT	0	
L072	Nikolaiplatz	4	8020	Graz	AT	0	
L073	Nothelferweg	20	8020	Graz	AT	0	
L074	Opernring	12	8010	Graz	AT	0	
L075	Opernring	16	8010	Graz	AT	0	
L076	Opernring	24	8010	Graz	AT	0	
L077	Pachern Hauptstr.	90	8075	Hart bei Graz	AT	0	
L078	Pestalozzistraße	62	8010	Graz	AT	0	
L079	Petersbergenstraße	7	8042	Graz	AT	0	

ANHANG

Location	Straße	Haus-Nr.	PLZ	Ort	Land	Lieferart	Depot
L080	Petersgasse	128	8010	Graz	AT	0	
L081	Plabutscher Straße	42	8051	Graz	AT	0	
L082	Plüddemanngasse	104	8042	Graz	AT	0	
L083	Radetzkystraße	7	8010	Graz	AT	0	
L084	Rechbauerstraße	31	8010	Graz	AT	0	
L085	Reininghausstraße	15	8020	Graz	AT	0	
L086	Reitschulgasse	5	8010	Graz	AT	0	
L087	Schanzelgasse	42	8010	Graz	AT	0	
L088	Schießstattgasse	4	8010	Graz	AT	0	
L089	Schießstattgasse	65	8010	Graz	AT	0	
L090	Schmiedgasse	31	8010	Graz	AT	1	
L091	Schmiedlstraße	1	8042	Graz	AT	0	
L092	Schmiedlstraße	10	8042	Graz	AT	0	
L093	Schönaugasse	54	8010	Graz	AT	0	
L094	Schönaugasse	8	8010	Graz	AT	0	
L095	Schubertstr.	10	8010	Graz	AT	0	
L096	St.Peter Hauptstraße	61	8042	Graz	AT	0	
L097	Stadionplatz	2	8041	Graz	AT	0	
L098	Steyrergasse	30	8010	Graz	AT	0	
L099	Straßganger Straße	289	8053	Graz	AT	0	
L100	Straßganger Straße	315	8054	Graz	AT	0	
L101	Universitätsplatz	3	8010	Graz	AT	0	
L102	Universitätsplatz	4	8010	Graz	AT	0	
L103	Waltendorfer Hauptstraße	121	8042	Graz	AT	0	
L104	Wielandgasse	35	8010	Graz	AT	0	
L105	Wielandgasse	4	8010	Graz	AT	0	
L106	Wielandgasse	9	8010	Graz	AT	0	
L107	Ungergasse	24a	8020	Graz	AT		D

ANHANG

Location	Straße	Haus-Nr.	PLZ	Ort	Land	Lieferart	Depot
L108	Wielandgasse	15	8010	Graz	AT		D
L109	Kärntnerstraße	147	8054	Graz	AT		D

B: ABRISS

ABRISS

Die Aufgabenstellung dieser Arbeit beruht auf den Optimierungs- und Umstrukturierungsplänen der Transportlogistik eines Grazer Kleinunternehmens. Die zunehmende Komplexität und rasanten Entwicklungen der letzten Jahre im Bereich der Transportlogistik und Tourenplanung führen gerade bei kleinen Unternehmen zu immer größer werdenden Herausforderungen. Um diese bewältigen zu können, bedarf es sorgfältiger Planung und konsequenter Umsetzung. Momentan basiert die Planung der Zustell Touren auf dem unstrukturierten und teilweise auf „Bauchgefühl“ beruhenden Vorgehen eines einzelnen Planungsbeauftragten. Diese rein auf Vertrauen und Erfahrungswerten beruhende Planungsmethode führt mitunter zu suboptimalen Ergebnissen und Kontrollverlust der Geschäftsführung. Aus diesem Grund sollte die Einführung einer professionellen Tourenplanungssoftware getestet werden, um mit deren Hilfe eine Optimierung der Tourenplanung zu erzielen. Dafür wurden in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen mehrere Fallbeispiele erstellt, ausgewertet und analysiert. Zur Lösung bzw. Optimierung der Fallbeispiele kamen die in der Software integrierten heuristischen Verfahren zur Anwendung. Der Hauptteil der Arbeit beschäftigt sich mit der praktischen Anwendung der Software und den zu untersuchenden Fallbeispielen. Die Untersuchungen beinhalten eine Reihenfolgeoptimierung unter einer realen Auftragslage sowie eine Reihenfolgeoptimierung bei veränderter Problemstellung. Weiter wird eine alternative Planungsmethode, eine Mehr-Tages-Planung, getestet. Diese erweitert den Planungshorizont von momentan einem Tag auf zwei Wochen, wodurch weiteres Optimierungspotenzial gegeben ist. Schließlich konnte die Überlegenheit der automatischen Tourenplanung gegenüber der manuellen Tourenplanung eines einzelnen Planungsbeauftragten durch Vergleich der Ergebnisse verdeutlicht werden. Dazu wurden neun fiktive, in ihrer Komplexität ansteigende Fallbeispiele erzeugt und mit Hilfe beider Planungsmethoden gelöst. Die Ergebnisse aller Fallbeispiele wurden dem Unternehmen präsentiert und dienen als Ansatz für die Umsetzung zukünftiger Optimierungs- und Umstrukturierungsvorhaben.

C: CURRICULUM VITAE



Europass Lebenslauf



Angaben zur Person

Nachname(n) / Vorname(n)	Wurzer Bernhard
Adresse(n)	Wimbergergasse, 42, 1070, Wien, Österreich
Telefon	+43 664 5138555
E-Mail	bernhard@wurzer-graz.com
Staatsangehörigkeit	Österreich
Geschlecht	männlich
Familienstand	ledig

Berufserfahrung

Daten	2007 - dato
Beruf oder Funktion	Kommanditist, Assistent Management
Wichtigste Tätigkeiten und Zuständigkeiten	Consulting Projektmanagement Verkauf Netzwerkadministration Allgemeine Bürotätigkeit
Name und Adresse des Arbeitgebers	Büro + Papier Harald Wurzer GmbH & Co KG, Wielandgasse 15, 8010 Graz
Tätigkeitsbereich oder Branche	Büro und Papier Einzel- und Großhandel
Daten	2005 – 2007
Beruf oder Funktion	Teilzeit-Servicekraft
Wichtigste Tätigkeiten und Zuständigkeiten	Catering Service, Kundenbetreuung
Name und Adresse des Arbeitgebers	Restaurant Motto, Bernhard Schlacher GmbH, Schönbrunnerstraße 30, 1050 Wien
Tätigkeitsbereich oder Branche	Gastronomie

Daten	2005 - 2006
Beruf oder Funktion	Teilzeit-Angestellter
Wichtigste Tätigkeiten und Zuständigkeiten	Promoter
Name und Adresse des Arbeitgebers	Sellinrx Agentur für Verkaufsförderung GmbH & CoKG, Goldeggasse 29, 1040 Wien
Tätigkeitsbereich oder Branche	Promotion, PR
Schul- und Berufsbildung	
Daten	2004 - dato
Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	Bakkalaureus der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften (Bakk.rer.soc.oec.)
Erwartete Qualifikation	Magister der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften (Mag.rer.soc.oec.)
Hauptfächer	BWL, Logistik, Innovations- und Technologiemanagement
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Betriebswirtschaftszentrum der Universität Wien
Auslandsaufenthalte	Februar 2009 – Juli 2009
Aufenthaltsort	Lissabon, Portugal
Gastuniversität	Universidade NOVA de Lisboa
Daten	September 2003 – Mai 2004
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Bundesheer, Gablenz-Kaserne Graz
Daten	1995 – 2003
Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	AHS-Matura
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	BG/BRG Pestalozzi, 8010, Graz
Persönliche Fähigkeiten und Kompetenzen	
Muttersprache(n)	Deutsch
Sonstige Sprache(n)	Englisch (fließend in Wort und Schrift), Italienisch (Maturaniveau), Portugiesisch (Basiskenntnisse)
Soziale Fähigkeiten und Kompetenzen	Teamfähig, kontaktfreudig, motivierend, verantwortungsbewusst, Führungsqualitäten, großes soziales Netzwerk
Technische Fähigkeiten und Kompetenzen	Sehr gute allgemeine Computerkenntnisse, spezifische Programmierkenntnisse (HTML, JAVA Script, ...), SPSS, Microsoft Office, administrative Verantwortung im IT Bereich bei Büro + Papier Harald Wurzer GmbH & Co. KG, SAP Kurs
Sonstige Fähigkeiten und Kompetenzen	Geübt in Abhaltung von Präsentationen, lernwillig, breites Interessensfeld, belastbar