

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Optimierung von Krankentransporten des Roten
Kreuzes mit Hilfe von Wartestrategien“

Verfasser

Andreas Follner

angestrebter akademischer Grad

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

Wien, 2012

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

A 157
Diplomstudium Internationale Betriebswirtschaft
Univ.-Prof. Dr. Karl Dörner

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Gegenstand und Ziel der Arbeit.....	1
1.2	Aufbau der Arbeit.....	1
2	Ausgangssituation und Problemidentifizierung.....	3
2.1	Ausgangssituation und Analyse der getroffenen Annahmen.....	3
2.2	Problemidentifizierung.....	4
3	Lösungsansatz.....	5
3.1	Das Echtzeit-Einfügeverfahren.....	5
3.2	Die „drive-first“ Wartestrategie.....	6
3.3	Die „wait first“ Wartestrategie.....	10
3.4	Die dynamische Routenteilung.....	14
3.5	Die „dynamic-waiting“ Wartestrategie.....	18
3.6	Die „advanced dynamic waiting“ Wartestrategie.....	23
4	Ergebnisauswertung und Interpretation.....	26
4.1	Beschreibung der Basisdaten.....	26
4.2	Auswertung der Ergebnisse der vier Wartestrategien.....	26
4.3	Interpretation und Schlussfolgerungen anhand der Ergebnisse.....	34
5	Literaturverzeichnis.....	35
A	Abstract.....	36
B	Lebenslauf.....	37

Abbildungsverzeichnis

Graphik 1:	Die "drive-first" Wartestrategie bei statischer Tourenplanung.....	7
Graphik 2:	Die "drive-first" Wartestrategie bei dynamischer Tourenplanung.....	8
Graphik 3:	Die "wait-first" Wartestrategie bei statischer Tourenplanung.....	11
Graphik 4:	Die "wait-first" Wartestrategie bei dynamischer Tourenplanung.....	12
Graphik 5:	Die „drive-first“ und die „wait-first“ Wartestrategie im Vergleich.....	19
Graphik 6:	Die „drive-first“ und die „dynamic-waiting“ Wartestrategie im Vergleich.....	20
Graphik 7:	Die „drive-first“ und die „advanced-dynamic-waiting“ Wartestrategie im Vergleich.....	23
Tabelle 1:	Methoden zur Berechnung der Fläche einer „service-zone“...	15
Tabelle 2:	Mögliche Veränderungen einer „service-zone“ nach dem Einfügen eines Auftrages (Teil 1).....	16
Tabelle 3:	Mögliche Veränderungen einer „service-zone“ nach dem Einfügen eines Auftrages (Teil 2).....	17
Tabelle 4:	Fahrzeuganzahl und Tourlängen bei optimaler „service-zone“ Größe.....	27
Tabelle 5:	Durchschnittliche Verbesserung der Wartestrategien bei optimaler „service-zone“ Größe.....	28
Tabelle 6:	Vergleich der „drive first“ und der „wait first“ Strategie.....	29
Tabelle 7:	Vergleich der „drive first“ und der „dynamic waiting“ Strategie bei willkürlich festgelegter „service zone“ Größe....	30
Tabelle 8:	Vergleich „drive first“ und „advanced dynamic waiting“ Strategie bei willkürlich festgelegter „service zone“ Größe....	31
Tabelle 9:	Visueller Vergleich von Aufträgen unterschiedlicher Tage.....	32

1 Einleitung

1.1 Gegenstand und Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, die in dem Artikel „Waiting Strategies for the Dynamic Pickup and Delivery Problem with Time Windows“ von Snežana Mitrović-Minić und Gilbert Laporte aus dem Jahr 2004 vorgestellten Wartestrategien auf ein Transportproblem mit Datenmaterial des Roten Kreuzes anzuwenden und die Ergebnisse auszuwerten und zu interpretieren.

Untersucht wird ob eine Verbesserung bezüglich der Tourlängen sowie der Anzahl der benötigten Fahrzeuge durch die Anwendung der Wartestrategien möglich ist.

Um die Tourdaten, die vom Roten Kreuz zur Verfügung gestellt wurden unter Anwendung der verschiedenen Wartestrategien zu verarbeiten, wurde in der Programmiersprache C++ ein Programm verfasst. Als Grundlage für die Algorithmen des Programms diente der im Artikel „Waiting Strategies for the Dynamic Pickup and Delivery Problem with Time Windows“ von Snežana Mitrović-Minić und Gilbert Laporte vorgestellte Pseudocode.

Die Ergebnisse der „drive first“ Strategie werden als Basis für den Vergleich der verschiedenen Wartestrategien herangezogen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen Aufschluss darüber geben, ob eine weitere Erforschung bzw. Verbesserung der dynamischen Tourenplanung mit Hilfe von Wartestrategien Erfolg versprechend ist.

1.2 Aufbau der Arbeit

Im vorigen Abschnitt wurden die Beweggründe zum Verfassen dieser Arbeit kurz zu erläutern. Hier soll nun ein Überblick über den Aufbau der Arbeit gegeben werden.

Im folgenden Kapitel wird die Ausgangssituation näher betrachtet und das zur praktischen Situation passende theoretische Tourenplanungsproblem identifiziert. Da das vom Roten Kreuz zur Verfügung gestellte Datenmaterial nicht ohne eine Anpassung in das Modell übernommen werden kann folgt nach dessen Analyse eine kurze Erläuterung der notwendigerweise getroffenen Annahmen und Fixgrößen.

Kapitel drei widmet sich dem für das Transportproblem verwendeten Lösungsansatz. Zuerst wird das Konzept von „routing“ und „scheduling“ erklärt und auf den Unterschied zwischen einem statischen und einem dynamischen Problem eingegangen. Der zweite Teil dieses Kapitels konzentriert sich auf die vier Wartestrategien. Zuerst werden deren Funktionsweise und der ihnen zu Grunde liegende Gedanke erläutert. Danach wird das Verhalten eines Fahrzeuges, auf welches eine Wartestrategie angewendet wird, mittels Graphen dargestellt.

Im vierten Kapitel werden die Ergebnisse ausgewertet und interpretiert. Außerdem werden einige Ansätze zur möglichen Erweiterung bzw. Verbesserung der dynamischen Tourenplanung unter Zuhilfenahme von Wartestrategien besprochen.

2 Ausgangssituation und Problemidentifizierung

2.1 Ausgangssituation und Analyse der getroffenen Annahmen

Das Rote Kreuz betreibt in Graz eine Flotte von Fahrzeugen zum Alten- und Krankentransport. Diese Fahrzeuge werden für den Transport einer einzelnen Person von einem Abholort zu einem Bestimmungsort angefordert.

Die vom Roten Kreuz zur Verfügung gestellten Daten bestehen aus den Aufzeichnungen von Tourdaten und den dazugehörigen Distanzdaten aus den Monaten Februar, Mai, August und November aus dem Jahr 2004. In jedem dieser Monate wurden 14 einzelne Tage ausgewählt und die Auftrags- und Distanzdaten in jeweils einer Textdatei gespeichert.

Die Auftragsdaten bestehen aus Beginn- und Endzeitpunkt des Zeitfensters, innerhalb dessen eine Person von Ihrem Abholort zu Ihrem Zielort gebracht werden kann, sowie der Position des Abhol- und Zielortes in Form von Koordinaten und der Position des Depots, ebenfalls in Form von Koordinaten.

Das zweite, zum jeweiligen Tag gehörende, Textfile enthält neben der Anzahl der Aufträge des Tages eine Distanzmatrix in der die Entfernungen zwischen sämtlichen Abhol- und Zielorten, sowie dem Depot eingetragen sind.

Bei den Transporten, um die es sich im gegebenen Fall handelt, gilt es bestimmte Regeln und Beschränkungen zu beachten. Es darf beispielsweise immer nur eine Person auf einmal transportiert werden und das für den Transport vorgesehene Zeitfenster muss eingehalten werden. Auch darf kein einziger Auftrag unbearbeitet bleiben. Diese Restriktionen bedingen, dass die Anzahl der zur Verfügung stehenden Fahrzeuge unbeschränkt ist. Um diese Annahme zu vermeiden könnten beispielsweise „weiche“ Zeitfensterbeschränkungen definiert werden, die unter bestimmten Voraussetzungen überschritten werden dürfen. In der Praxis entspricht die Annahme über ausreichende Kapazitäten bei vielen Paketdiensten oftmals der Realität, da fehlende Transportmöglichkeiten durch die kurzfristige Beschäftigung von Teilzeitkräften oder auch Konkurrenzunternehmen kompensiert werden.

Da das Datenmaterial keinerlei Angaben über Belade- und Entladezeiten enthält, wurden diese nicht berücksichtigt. Der Abholort muss immer vor dem

Bestimmungsort angefahren werden und es darf kein einziger Auftrag unbearbeitet bleiben.

Sobald ein Passagier von einem Fahrzeug aufgenommen wurde, darf dieses weder seine Fahrt zum Zielort unterbrechen, noch darf der Passagier in ein anderes Fahrzeug wechseln. Andere „user convenience“ Restriktionen, wie z.B. eine maximale Wartezeit ab Erteilung des Auftrags, gibt es nicht. Es gibt ein Depot, von dem aus alle Fahrzeuge ihre Tour beginnen und zu dem sie nach Beendigung der Tour auch wieder zurückkehren müssen.

Andere Annahmen und Fixgrößen, die getroffen werden müssen, ergeben sich nicht aus der Problemstellung, sondern werden willkürlich bestimmt. Hierzu gehört die maximale Tourenlänge von 8 Stunden, die mit dem Verlassen des Depots beginnt und mit der Rückkehr des Fahrzeugs endet. Eine weitere Annahme, die getroffen wurde, ist die Durchschnittsgeschwindigkeit eines Fahrzeuges, mit der es sich in der Stadt bewegt. Hier wurden 30 km/h angenommen, da aufgrund von ortsüblichen Verkehrsbedingungen die gesetzlich erlaubte Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h im Durchschnitt nicht erreicht werden kann.

2.2 Problemidentifizierung

Die im vorigen Abschnitt genannten Nebenbedingungen charakterisieren ein „pickup and delivery“ Problem mit Zeitfenstern (PDPTW).

3 Lösungsansatz

3.1 Das Echtzeit-Einfügeverfahren¹

In diesem Kapitel wird das Echtzeit-Einfügeverfahren, das zur Lösung des dynamischen Tourenplanungsproblems verwendet wurde, sowie die vier in dem Artikel von Snežana Mitrović-Minić und Gilbert Laporte aus dem Jahr 2004 vorgestellten Wartestrategien erläutert. Die Tourenplanung wurde in zwei Teilaufgaben zerlegt. Der erste Teil des Verfahrens dient der Bearbeitung neuer Aufträge und dem Festlegen der Reihenfolge der Aufträge innerhalb einer Tour. Dieser Teil wird als „routing“ bezeichnet. Da es sich um ein dynamisches Problem handelt und keinerlei Informationen über die Aufträge im Voraus bekannt sind, wird die Einfüge-Prozedur immer dann durchgeführt, wenn ein neuer Auftrag verfügbar wird. Der Zeitpunkt, zu dem ein Auftrag verfügbar wird, wird durch den Beginn seines Zeitfensters bestimmt. Denkbar wären z.B. auch Szenarien bei denen ein gewisser Anteil der Aufträge statisch, also von vornherein bekannt, ist und deshalb schon von Beginn an eingeplant werden kann. Eine weitere Möglichkeit wäre das Zusammenfassen von mehreren eingehenden Aufträgen, indem man alle k Minuten die zu diesem Zeitpunkt verfügbaren Aufträge in die Planung einbezieht. In diesem Fall könnte man andere Kriterien zur Reihung der planbaren Aufträge, wie z.B. deren Dringlichkeit, also die Zeit bis zum Ende ihres Zeitfensters, oder die Entfernung zu bestehenden Touren, verwenden. Um die günstigste Position innerhalb bestehender Touren für den zu planenden Auftrag zu ermitteln, wird ein „cheapest insertion“² Verfahren verwendet, wie es in dem Artikel von Rosenkrantz, Daniel J. / Richard E. Stearns / Philip M. Lewis II (1977) vorgestellt wurde. Da ein Fahrzeug nach der Aufnahme eines Fahrgastes sofort zum Bestimmungsort aufbrechen muss und erst nach dessen Ablieferung wieder eine Wartezeit eingeplant werden kann, können die beiden Knotenpunkte, bzw. die Wegzeit zum Abholort und vom Bestimmungsort, sowie die dazwischen liegende Wegzeit als ein Serviceintervall betrachtet werden. Dies erleichtert die Suche nach der bestmöglichen Position um den Auftrag einzufügen. Zu beachten ist allerdings, dass sich nach Beendigung des

¹ Vgl. Mitrović-Minić Snežana / Gilbert Laporte, (2004, p. 638)

² Vgl. Rosenkrantz, Daniel J. / Richard E. Stearns / Philip M. Lewis II (1977, p. 563-581)

Serviceintervalls der Standort des Fahrzeuges verändert hat. Falls keine passende Möglichkeit gefunden wurde den neuen Auftrag in eine bestehende Tour einzufügen, muss ein neues Fahrzeug aus dem Depot gestartet werden. Im Zweiten Teil des Verfahrens wird der Zeitpunkt berechnet, zu welchem ein Fahrzeug einen Knotenpunkt verlässt und zum Nächsten fährt. Vom berechneten Aufbruchzeitpunkt ist abhängig ob ein Fahrzeug sofort nach Beendigung seines Services bei einem Knotenpunkt diesen verlässt, oder ob es, trotz offener Aufträge in seiner Tour, an seiner gegenwärtigen Position wartet. Die Aufbruchs- und Ankunftszeiten werden mittels einer der vier Wartestrategien bestimmt. Dieser zweite Teil des Verfahrens wird als „sheduling“ bezeichnet.

3.2 Die „drive-first“ Wartestrategie³

Obwohl die „drive-first“ Strategie nicht zu den höher entwickelten Wartestrategien zählt, wird sie in der Praxis am häufigsten angewendet. Vor allem im Bereich des Brief- und Pakettransportes, sowie beim Transport von kleinen, nicht verderblichen Gütern, werden Fahrzeuge nach der „drive-first“ Strategie gesteuert (vgl. Benyahia, I. / Potvin J.-Y. (1998); Gendreau M. / Guertin F. / Potvin J.-Y / S´eguin R. (1998)). Die „drive-first“ Wartestrategie stellt im Hinblick auf das Verhalten eines Fahrzeuges eine der beiden extremsten Ausprägungen dar.

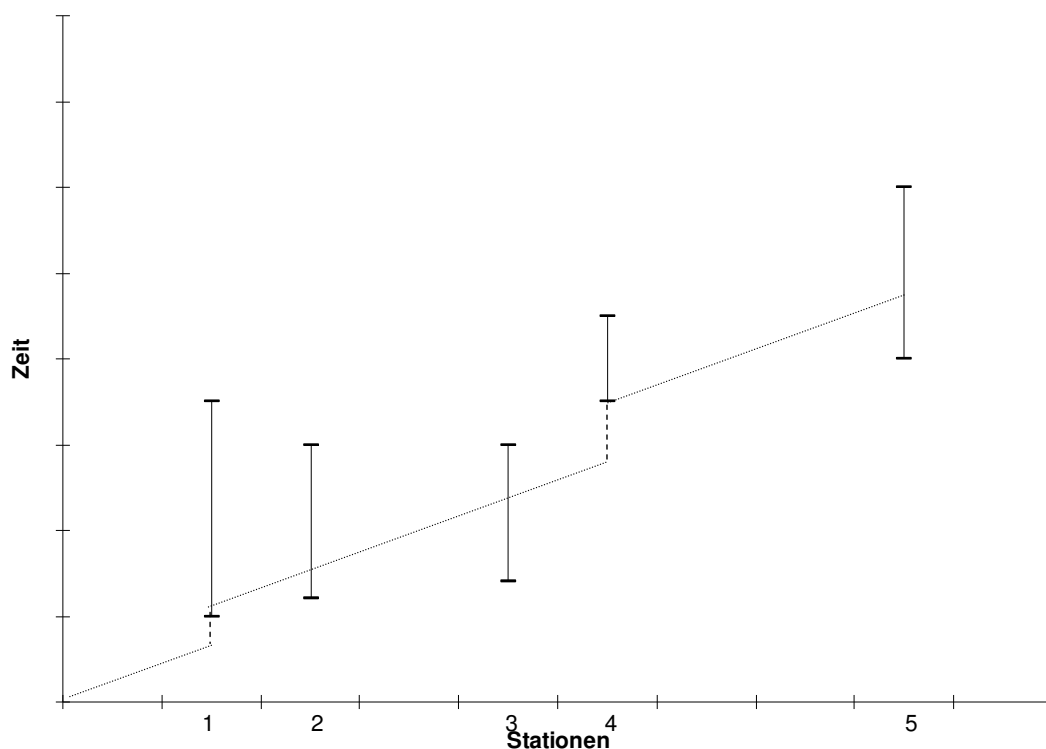
Unter Anwendung der “drive first” Strategie verlassen die Fahrzeuge ihre gegenwärtige Position so bald wie möglich, um sich auf den Weg zur nächsten geplanten Station auf ihrer Route zu machen. Somit entspricht die tatsächliche Ankunftszeit bei einer Station auch der frühesten Ankunftszeit. Bei Anwendung der „dirve-first“ Strategie wird die einem Fahrzeug zur Verfügung stehende Pufferzeit ans Ende der Tour geschoben. Dies hat den Vorteil, dass Aufträge die zu einem späteren Zeitpunkt verfügbar werden, mit einer relativ hohen Wahrscheinlichkeit einer bestehenden Tour zugewiesen werden können. Allerdings geht dies zu Lasten der durchschnittlichen Tourlänge. Der Grund

³ Vgl. Mitrović-Minić Snežana / Gilbert Laporte, (2004, p. 641)

dafür liegt darin, dass ein Fahrzeug auch zu einem weit entfernt liegenden Auftragsort so bald wie möglich aufbricht und es ab diesem Zeitpunkt bis zur Beendigung des Auftrags nicht mehr umgeleitet werden kann. Somit wird ein Auftrag, der etwas später verfügbar wird, sich aber deutlich näher an der gegenwärtigen Position befindet, als zweites gereiht und es entsteht eine ungünstig lange Tour.

Auch unter Anwendung der „drive-first“ Strategie kann es zu Wartezeiten kommen. Die folgenden zwei Graphiken sollen das Verhalten eines Fahrzeuges unter Anwendung der „drive-first“ Strategie, sowohl im Fall einer statischen, als auch einer dynamischen Tourenplanung veranschaulichen.

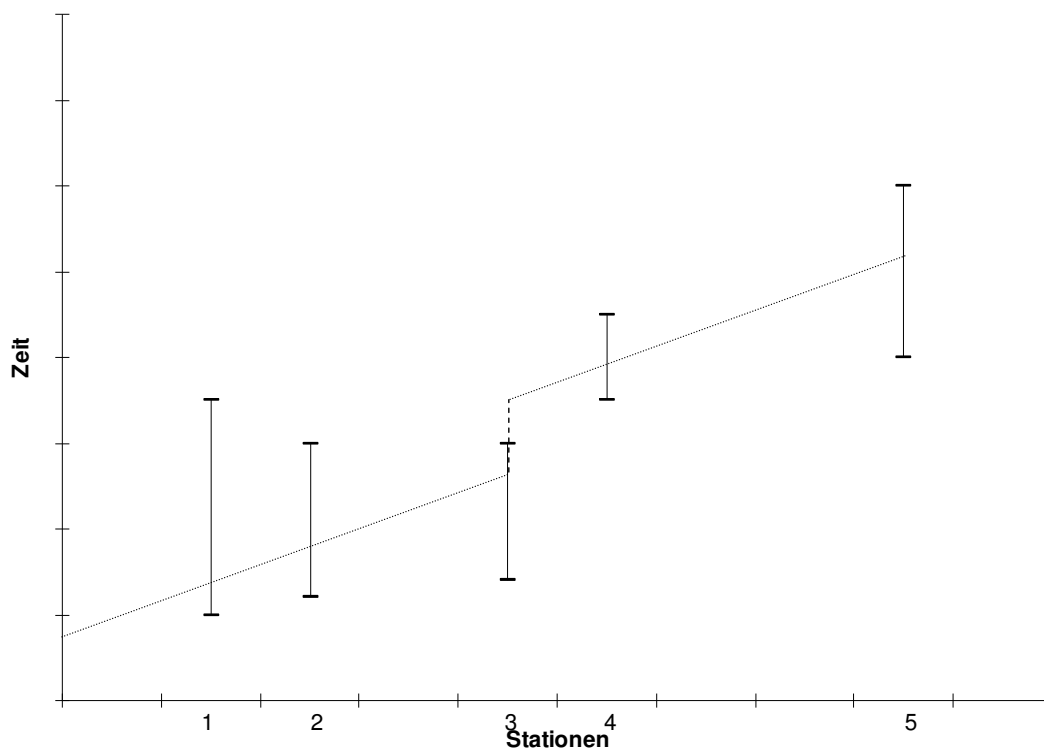
statische Tourenplanung



Graphik 1: Die “drive-first” Wartestrategie bei statischer Tourenplanung: Die von einem Fahrzeug anzufahrenden Stationen befinden sich auf der horizontalen Achse und der Verlauf der Zeit ist auf der vertikalen Achse dargestellt. Die fünf vertikalen Intervalle stellen die Service-Zeitfenster der Stationen dar. Die strichlierte Linie zeigt das Verhalten des Fahrzeuges. Bei statischer Tourenplanung, das heißt wenn alle Aufträge im Voraus bekannt

sind, können Wartephases auftreten wenn ein Fahrzeug eine Station vor Beginn des Service- Zeitfensters erreicht. Die Wartezeit entspricht folglich dem Maximum aus null, also keiner Wartezeit, falls die tatsächliche Ankunftszeit größer ist als der Beginn des Service-Zeitfensters und der Differenz zwischen Beginn des Service-Zeitfensters und der tatsächlichen Ankunftszeit. Erreicht ein Fahrzeug eine Station deren Service-Zeitfenster schon begonnen hat, so wird sie servisiert (hier keine Zeitkosten) und das Fahrzeug macht sich sobald als möglich auf den Weg zur nächsten Station.

dynamische Tourenplanung



Graphik 2: Die “drive-first” Wartestrategie bei dynamischer Tourenplanung: Bei dynamischer Tourenplanung, wenn also die Aufträge gleichzeitig mit dem Beginn ihres Service-Zeitfensters verfügbar werden, können Wartephases nur dann auftreten, wenn ein Fahrzeug eine Station servisiert hat und noch kein weiterer Auftrag der Tour zugewiesen wurde. In diesem Fall verharret das Fahrzeug an der gegenwärtigen Position solange, bis ein neuer Auftrag verfügbar und der Tour zugewiesen wird. Die Zeit, die ein Fahrzeug dadurch bei

einer Station verharret, ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Beginn des Zeitfensters des nächsten Auftrags und dem frühest möglichen Aufbruchzeitpunkt bei der aktuellen Station.

Der folgende Pseudocode soll veranschaulichen wie die „drive-first“ Strategie in das Tourenplanungsprogramm implementiert wurde.

beginn

für alle Fahrzeuge

*löschen der bearbeiteten Aufträge aus der Tour (**als bearbeitet gilt ein Auftrag dann, wenn die „earliest departure time“ überschritten wurde**)*

aktualisieren der earliest-, der latest- und der waiting-time

ende

für alle Fahrzeuge

für alle n Stationen der Tour

Erzeugen einer test-solution

Einfügen des neuen Auftrags nach Station n

if (test-solution eine gültige Lösung) then

if (test-solution die bis jetzt beste Lösung) then

best-solution = test-solution

end if

end if

ende

ende

if (eine Lösung wurde gefunden)

ersetze die Tour des am besten geeigneten Fahrzeugs mit der best-solution

else

starte ein neues Fahrzeug und füge den neuen Auftrag in dessen Tour ein

end if

ende

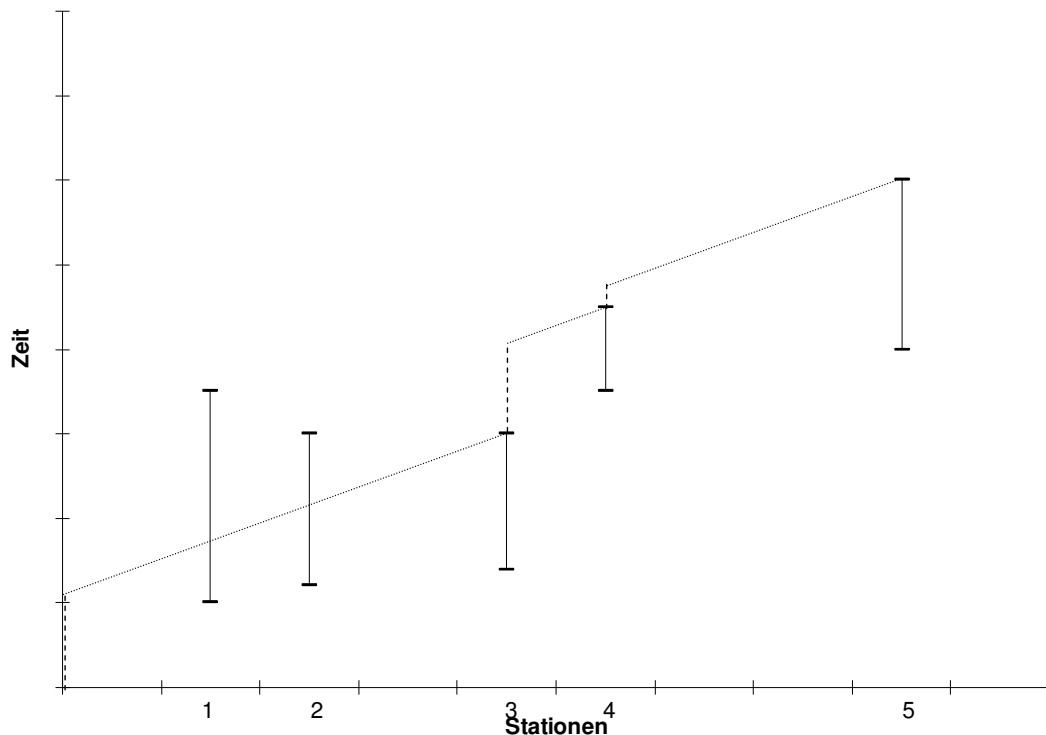
3.3 Die „wait first“ Wartestrategie⁴

Die „wait-first“ Strategie stellt die zweite extreme Form der Wartestrategien dar. Im Gegensatz zur „drive-first“ Strategie verlässt ein Fahrzeug jedoch nicht sofort nachdem ihm ein Auftrag zugeteilt wurde seinen aktuellen Standort. Es verharrt in seiner gegenwärtigen Position solange es ihm möglich ist ohne die Zeitfenster der in seiner Tour noch folgenden Aufträge zu verletzen. Der Zeitpunkt, zu dem ein Fahrzeug eine Station verlässt, berechnet sich aus der spätest möglichen Ankunftszeit der nächsten Station minus der Wegzeit zu dieser Station. Wird eine neue Station in die Tour eingefügt, müssen die Wartezeiten bzw. die spätest möglichen Ankunftszeiten aller Stationen, welche der neu eingefügten Station vorangehen neu berechnet werden. Dies macht die Implementierung der „wait-first“ Strategie deutlich komplexer als jene der „drive-first“ Strategie. Bei den nachfolgenden Stationen verändert sich weder die geplante Ankunftszeit, noch die nach Bearbeitung der Station eingeplante Wartezeit. Bei Anwendung der „wait-first“ Strategie konzentriert sich die Wartezeit typischerweise am Anfang einer Tour. Dies hat den Vorteil, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit weitere Aufträge während dieser Wartezeit in die Tour eingefügt werden können. In weiterer Folge besteht ein hohes Optimierungspotential im Hinblick auf die Tourlänge. Der Nachteil der „wait-first“ Strategie besteht darin, dass wenn die Wartezeit am Anfang der Tour aufgebraucht ist, üblicherweise zu wenig Planungsspielraum für spätere Zeitpunkte bleibt. Dies hat zur Folge, dass unter Anwendung der „wait-first“ Strategie durchschnittlich mehr Fahrzeuge benötigt werden um alle Aufträge zu bearbeiten.

Bei Anwendung der „wait-first“ Strategie sind Wartephasen sowohl bei statischer, als auch bei dynamischer Tourenplanung, nur nach Bearbeitung eines Auftrags möglich. Wartephasen an einer Station vor Beginn des jeweiligen Zeitfensters sind ausgeschlossen.

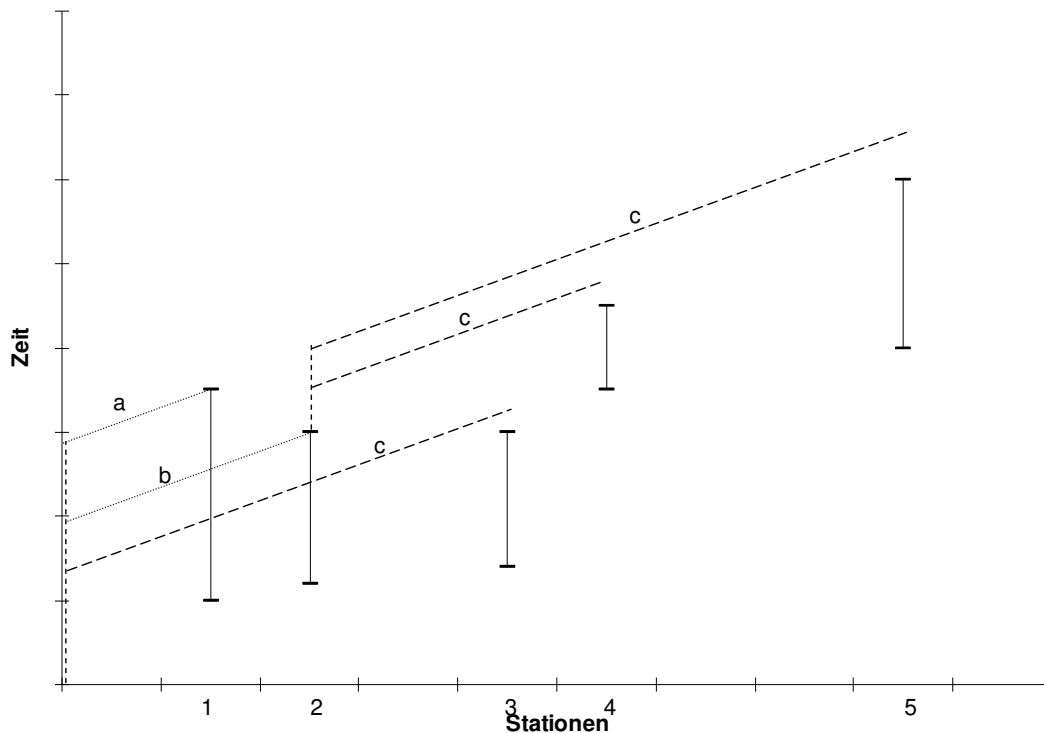
⁴ Vgl. Mitrović-Minić Snežana / Gilbert Laporte, (2004, p. 641)

statische Tourenplanung



Graphik 3: Die „wait-first“ Wartestrategie bei statischer Tourenplanung: Die Graphik zeigt das Verhalten eines Fahrzeuges bei statischer Tourenplanung und Anwendung der „wait-first“ Strategie. Da alle Aufträge, hier dargestellt durch die Zeitfenster auf der horizontalen Achse, schon zu Beginn der Tourenplanung zur Verfügung stehen, wird der spätest mögliche Aufbruchzeitpunkt von der aktuellen Position so gewählt, dass alle Aufträge servisiert werden können. In diesem Fall steht nach der Servisierung von Station 1 und 2 keine Pufferzeit für das nachträgliche Einfügen eines Auftrags in die Tour zur Verfügung, da sonst das Fahrzeug nicht mehr rechtzeitig bei Station 3 eintreffen würde. Die Wartezeit nach Station 3 ergibt sich zum einen aus der Zeit, die zwischen dem Ende des Zeitfensters von Station 3 und dem Zeitpunkt, zu dem Auftrag 4 verfügbar wird liegt und der Differenz zwischen dem spätest möglichen Aufbruchzeitpunkt von Station 3 und dem Beginn des Service-Zeitfensters von Station 4. Die Wartezeit nach Station 4 berechnet sich ausschließlich aus der Differenz zwischen dem spätest möglichen Aufbruchzeitpunkt und dem frühest möglichen Aufbruchzeitpunkt, welcher dem Ende des Zeitfensters von Auftrag 4 entspricht.

dynamische Tourenplanung



Graphik 4: Die “wait-first” Wartestrategie bei dynamischer Tourenplanung: Graphik 4 veranschaulicht das Verhalten eines Fahrzeuges bei dynamischer Tourenplanung und Anwendung der „wait-first“ Strategie. Der Zeitpunkt, ab dem ein Auftrag planbar und auch bearbeitbar wird, ist durch das untere Ende der Zeitfenster dargestellt. Bis zur Verfügbarkeit des ersten Auftrags wartet das Fahrzeug im Depot. Sobald der erste Auftrag in die Tour eingeplant wird, wird der spätest mögliche Aufbruchzeitpunkt berechnet. Dieser berechnet sich aus dem spätest möglichen Ankunftszeitpunkt der Station 1, minus der Wegzeit vom Depot zu Station 1. Linie a zeigt das Verhalten des Fahrzeugs zum Zeitpunkt des Auftauchens des ersten Auftrages. Der zweite Auftrag wird planbar während das Fahrzeug noch im Depot wartet. Linie b zeigt das aktualisierte, geplante Verhalten des Fahrzeugs. Deutlich erkennbar ist, dass sich durch das Einfügen des zweiten Auftrags in die Tour der spätest mögliche Aufbruchzeitpunkt von der aktuellen Position, dem Depot, nach vorne verschoben hat. Die Aufträge 3, 4 und 5 sind deshalb nicht in die gezeigte Tour integrierbar, da ihr Standort selbst dann nicht rechtzeitig erreicht werden kann, wenn das Fahrzeug die aktuelle Position sofort verlassen würde. Dies wurde mit den Linien c veranschaulicht.

Der folgende Pseudocode zeigt an welcher Stelle und wodurch sich das Programm bei der Implementierung der „wait-first“ Strategie verändert hat. Die Berechnung der aktuellen Position des Fahrzeugs ist bei der „wait-first“ Strategie bedeutend aufwendiger als bei der „drive-first“ Strategie.

beginn

für alle Fahrzeuge

*löschen der bearbeiteten Aufträge aus der Tour (**als bearbeitet gilt ein Auftrag dann, wenn die latest departure time überschritten wurde**)*

aktualisieren der earliest- der latest- und der waiting-time

ende

▪
▪
▪

(unverändert, siehe Pseudocode „drive-first“ Strategie)

3.4 Die dynamische Routenteilung⁵

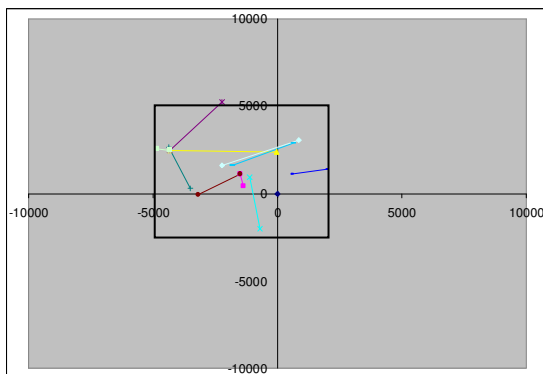
Eine „service-zone“ umschreibt ein Gebiet, in dem sich unbearbeitete Aufträge befinden, wobei die maximale Größe im Vorhinein festgelegt wird. Die tatsächliche Ausdehnung und Form einer „service-zone“ ändert sich im Laufe der Tourenplanung und wird dynamisch der aktuellen Situation angepasst. Es gibt mehrere Gründe warum sich eine „service-zone“ ändert. In der Studie von Snežana Mitrović-Minić und Gilbert Laporte (2004) werden folgende Gründe für eine Veränderung der „service-zones“ angeführt:

- Eine Station wurde bearbeitet
- Eine Station wird in eine bestehende Tour eingefügt
- Eine Station wird entfernt
- Aufgrund der verstreichenden Zeit

Die Berechnung der „service-zones“ kann auf verschiedene Arten erfolgen. In der folgenden Tabelle sind beispielhaft drei verschiedene Methoden dargestellt, die zeigen sollen wie die Fläche einer „Service-Zone“ berechnet werden kann. Im verwendeten Tourenplanungsprogramm wird die Fläche anhand des kleinstmöglichen achsenparallelen Rechtecks berechnet.

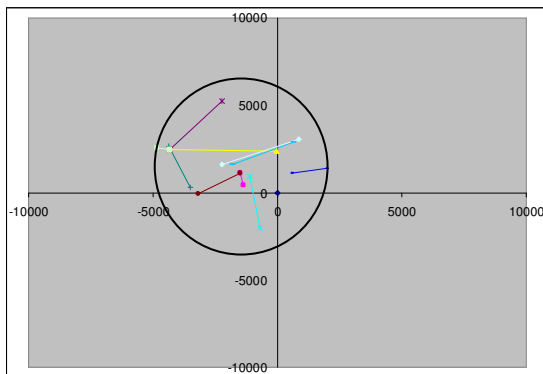
⁵ Vgl. Mitrović-Minić Snežana / Gilbert Laporte, (2004, p. 642)

kleinstes achsenparalleles Rechteck



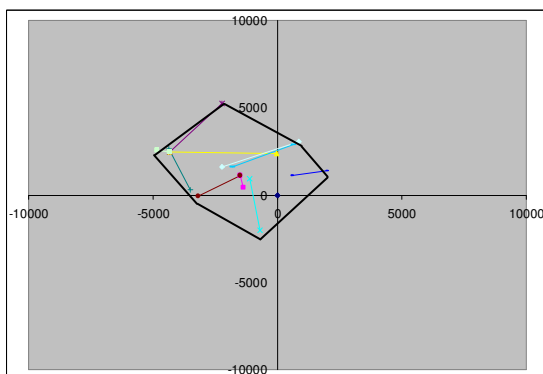
Das kleinste achsenparallele Rechteck berechnet sich aus dem Produkt der Differenzen der maximalen und minimalen X- bzw. Y-Koordinaten einer Punktemenge.

Minimal umspannender Kreis



Als Basis zur Berechnung dient die Punktemenge der konvexen Hülle. Bei Anwendung des Verfahrens von Skyum (1991)⁶, werden so lange die Umkreise von jeweils drei dieser Punkte verglichen, bis der kleinste umspannende Kreis gefunden ist.

Konvexe Hülle



Die konvexe Hülle schließt alle Punkte und deren Verbindungsstrecken einer Menge an Punkten ein und besteht aus der kleinsten konvexen Teilmenge. Die Berechnung kann beispielsweise mit Hilfe des Graham-Scan-Algorithmus (1972)⁷ erfolgen.

Tabelle 1: Methoden zur Berechnung der Fläche einer „service-zone“. In dem zur Tourenplanung verwendeten Programm, wurde zur Berechnung der „service-zones“ das kleinste achsenparallele Rechteck verwendet. Die Gründe dafür sind, dass die Berechnung des kleinsten achsparallelen Rechtecks im Vergleich zu den anderen Verfahren wesentlich transparenter ist und dass es fraglich ist, ob die Verwendung komplexerer Berechnungsmethoden zu besseren Ergebnissen führen würde, zumal die maximale Größe der „service-zones“ willkürlich festgelegt wird.

⁶ Vgl. Skyum Sven (1991, p. 121-125)

⁷ Vgl. Graham Ronald L. (1972, p. 132-133)

Besonders beim Einfügen einer neuen Station in eine bestehende Tour wird das dynamische Verhalten der „service-zones“ sichtbar. Wird eine neue Station hinzugefügt, kann das verschiedene Auswirkungen auf die „service-zones“ dieser Tour haben. Die Graphiken in Tabelle 2 und Tabelle 3 sollen beispielhaft veranschaulichen welche Veränderungen das Einfügen einer neuen Station auf bestehende „service-zones“ haben kann.

	In der Ausgangssituation ist eine Tour mit zwei unbearbeiteten Aufträgen (jeweils ein pickup- und ein delivery-Punkt) innerhalb einer „service-zone“ dargestellt.
	Der neu eingefügte Auftrag liegt innerhalb der bestehenden „service-zone“ und wird daher, ohne ihre Größe zu verändern, integriert.
	Sowohl der pickup-, als auch der delivery-Punkt des neuen Auftrages liegen außerhalb der bestehenden „service-zone“. Der neue Auftrag kann eingefügt und die „service-zone“ erweitert werden, da die maximale Größe nicht überschritten wird.

Tabelle 2: Mögliche Veränderungen einer „service-zone“ nach dem Einfügen eines Auftrages (Teil 1): In Tabelle 2 sind schrittweise die Veränderungen dargestellt, die das Einfügen neuer Aufträge auf die „service-zones“ einer Tour haben kann. Anfänglich besteht die Tour nur aus 2 Stationen. Bis zum vierten Auftrag finden alle Stationen in einer „service-zone“ Platz.

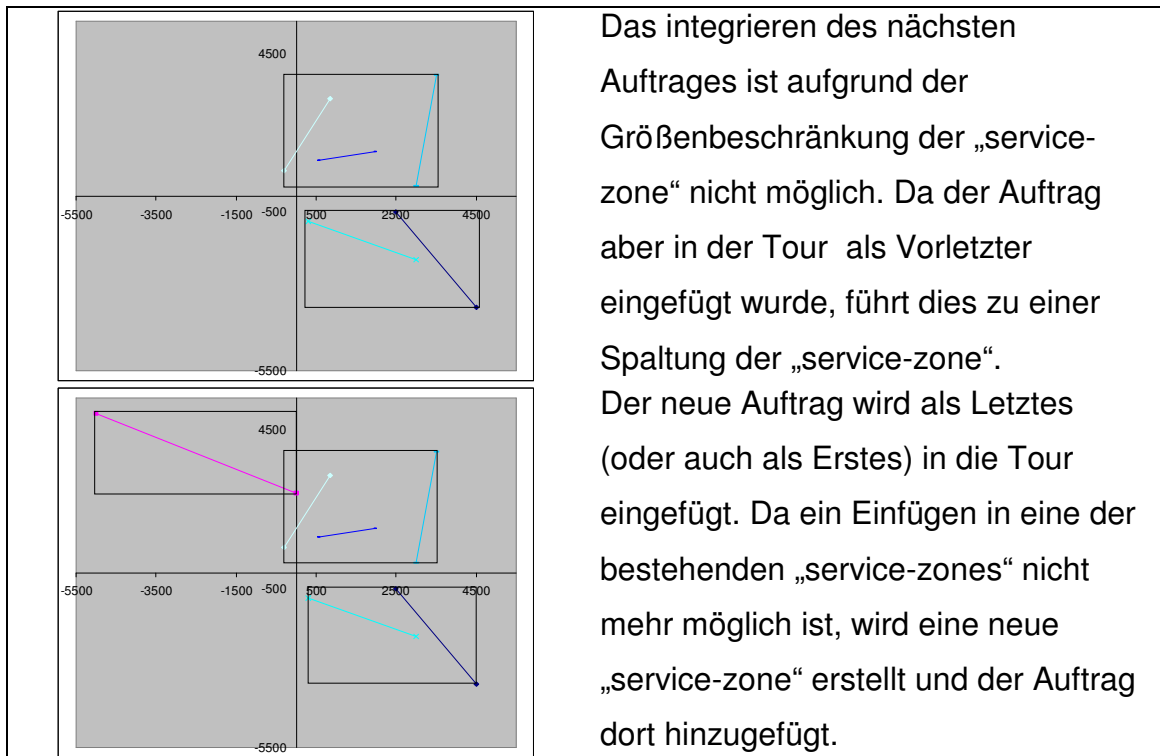


Tabelle 3: Mögliche Veränderungen einer „service-zone“ nach dem Einfügen eines Auftrages (Teil 2): Tabelle 3 ist die Fortsetzung von Tabelle 2 und zeigt wie sich die „service-zones“ der dargestellten Tour bei Hinzufügen weiterer Aufträge verändern. Im ersten Bild von Tabelle 3 sieht man, dass die „service-zone“ aufgrund des Einfügens von Auftrag 5 geteilt werden musste. Die zweite, neu entstandene „service-zone“ enthält Auftrag 4 und 5, da diese räumlich nahe beieinander liegen. Im letzten Bild von Tabelle 3 ist zu sehen, dass um den soeben in die Tour eingefügten Auftrag eine eigene „service-zone“ gebildet wurde. Dies geschieht dann, wenn zum einen das Einbinden in eine bestehende „service-zone“ aufgrund der maximalen „service-zone“ Größe nicht möglich ist, und die neue Station am Anfang oder Ende der Tour steht.

3.5 Die „dynamic-waiting“ Wartestrategie⁸

“The dynamic waiting strategy is a combination of DF and WF.” (Mitrović-Minić Snežana / Gilbert Laporte, 2004, p. 645)

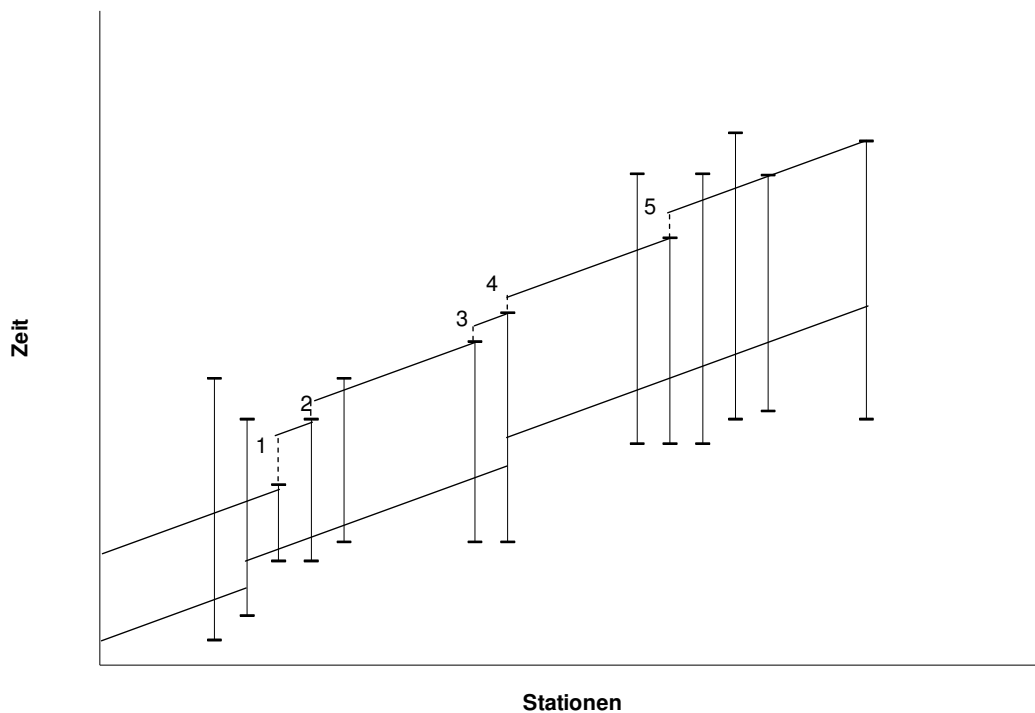
Die „dynamic waiting“ Wartestrategie stellt eine Mischform der beiden vorangegangenen extremen Ansätze, der „drive first“ und der „wait first“ Strategie, dar. Durch das Unterteilen der gesamten Tour in „service-zones“ wird versucht, die zur Verfügung stehende Wartezeit auf die gesamte Tour aufzuteilen, anstatt sie am Anfang oder am Ende der Tour zu konzentrieren. Innerhalb der „service-zones“ wird nach der „drive-first“ Strategie gefahren, wohingegen zwischen den „service-zones“ die „wait-first“ Strategie zur Anwendung kommt. Dabei sollen jene Stationen zusammengefasst werden, die nahe beieinander liegen, da hier die Anwendung der „drive first“ Strategie den größten Nutzen verspricht. Somit sammelt sich die innerhalb einer „service-zone“ verteilte Wartezeit am Ende der „service-zone“.

Da diese aufsummierten Wartezeiten mehr Spielraum für das Einfügen von in der Nähe befindlichen Stationen schaffen, ist die Wahrscheinlichkeit größer als bei der „wait first“ Strategie, dass ein weiterer Auftrag in eine bestehende Tour aufgenommen werden kann.

Anhand von Graphik 5 und Graphik 6, soll das veränderte Fahrzeugverhalten bei Anwendung der „dynamic-waiting“ Strategie, im Vergleich zur „drive-first“ und zur „wait-first“ Strategie veranschaulicht werden. In allen abgebildeten Szenarien wurde eine dynamische Tourenplanung angenommen, das heißt alle Auftragsdaten können erst mit Beginn ihres Zeitfensters eingeplant werden.

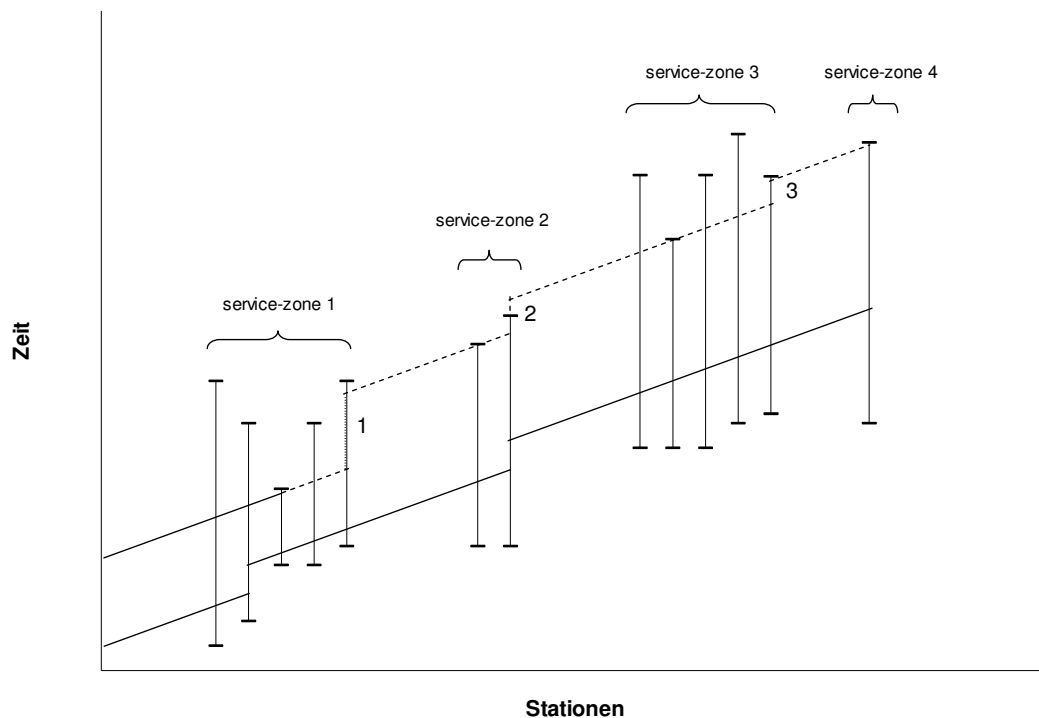
⁸ Vgl. Mitrović-Minić Snežana / Gilbert Laporte, (2004, p. 645)

„drive-first“ im Vergleich mit „wait-first“



Graphik 5: Die „drive-first“ und die „wait-first“ Wartestrategie im Vergleich: Dargestellt ist ein Tourbeispiel eines Fahrzeuges, bestehend aus insgesamt 13 Stationen, wovon keine im Voraus bekannt war. Die untere schräge Linie stellt das Verhalten des Fahrzeuges bei Anwendung der „drive-first“ Strategie dar, während die obere schräge Linie die „wait-first“ Strategie symbolisiert. Eindeutig zu erkennen ist, dass die zur Verfügung stehende Wartezeit im Fall der „drive-first“ Strategie ganz am Ende der Tour gesammelt ist, und im Falle der „wait-first“ Strategie ein Großteil schon am Anfang der Tour verbraucht wird.

„drive-first“ im Vergleich mit „dynamic-waiting“



Graphik 6: Die „drive-first“ und die „dynamic-waiting“ Wartestrategie im Vergleich: Im gleichen Tourbeispiel wie in Graphik 5 wird nun die „dynamic-waiting“ Strategie (obere schräge Linie) und zum Vergleich die „drive-first“ dargestellt. Durch die dynamische Routenteilung ist die Tour in 4 „service-zones“ mit unterschiedlichen Stationsanzahlen unterteilt worden. Gut zu erkennen ist, dass innerhalb einer „service-zone“ die „drive-first“ Strategie zur Anwendung kommt. Obwohl das Fahrzeug mehrfach während der Tour die Gelegenheit hätte bei einer Station zu warten, macht es sich zum frühest möglichen Zeitpunkt auf den Weg zur nächsten Station, solange diese sich noch innerhalb der aktuellen „service-zone“ befindet. Dadurch werden die Wartezeiten der einzelnen Stationen einer „service-zone“ ans Ende der jeweiligen „service-zones“ verschoben. Obwohl dadurch die Wartezeiten länger werden, bleibt die Gesamtwartezeit der Tour gleich. Ebenfalls zu erkennen ist, dass der größte Teil der verfügbaren Wartezeit, ähnlich wie bei der „wait-first“ Strategie am Anfang der Tour verbraucht wird. Eine bessere Verteilung der Wartezeit über die gesamte Tour wird mit Hilfe der „advanced-dynamic-waiting“ Strategie erzielt. Vergleiche hierzu Graphik 7.

Folgender Pseudocode soll veranschaulichen auf welche Weise und an welcher Stelle das Programm abgeändert werden musste, um eine Berechnung der „service-zones“ zu ermöglichen. Zunächst müssen, wie auch bei den anderen beiden Algorithmen, die zum aktuellen Zeitpunkt bereits bearbeiteten Stationen gelöscht werden. Nachdem eine „service-zone“ begonnen wurde, können keine weiteren Stationen in diese eingefügt werden. Folglich wird sie so wie eine einzige große Station behandelt und komplett gelöscht. Die letzte Station bleibt erhalten, da diese zum aktuellen Standort geworden ist, an dem das Fahrzeug wartet. Das Einfügen des neuen Auftrags, bzw. das Eruiieren der bestmöglichen Stelle bleibt unverändert. Sobald der neue Auftrag eingefügt wurde, müssen die „service-zones“ der veränderten Tour angepasst werden. Wurde der Auftrag zwischen zwei Stationen derselben „service-zone“ eingefügt, muss geprüft werden inwieweit sich dadurch die Größe der „service-zone“ verändert und ob sie damit die maximale Größe überschreitet. In diesem Fall wird die „service-zone“ geteilt und die neue Station wird in jene der beiden Teil-Zonen eingefügt, die sich dadurch am wenigsten vergrößert. Wurde der neue Auftrag am Anfang, am Ende oder zwischen zwei „service-zones“ eingefügt, ist zu prüfen ob eine Erweiterung der nächstgelegenen „service-zone“ möglich ist. Falls diese dadurch die maximal zulässige Größe überschreitet, ist es erforderlich für die neue Station eine eigene „service-zone“ erstellen.

beginn

für alle Fahrzeuge

*löschen der bearbeiteten Aufträge aus der Tour (**hat das Fahrzeug zum aktuellen Zeitpunkt eine „service-zone“ begonnen bzw. befindet es sich auf dem weg dorthin, gelten alle Stationen dieser „service-zone“ als bearbeitet. Bis auf die Letzte, werden alle Stationen der „service-zone“ gelöscht.)**
aktualisieren der earliest- der latest- und der waiting-time*

ende

für alle Fahrzeuge

für alle n Stationen der Tour

```

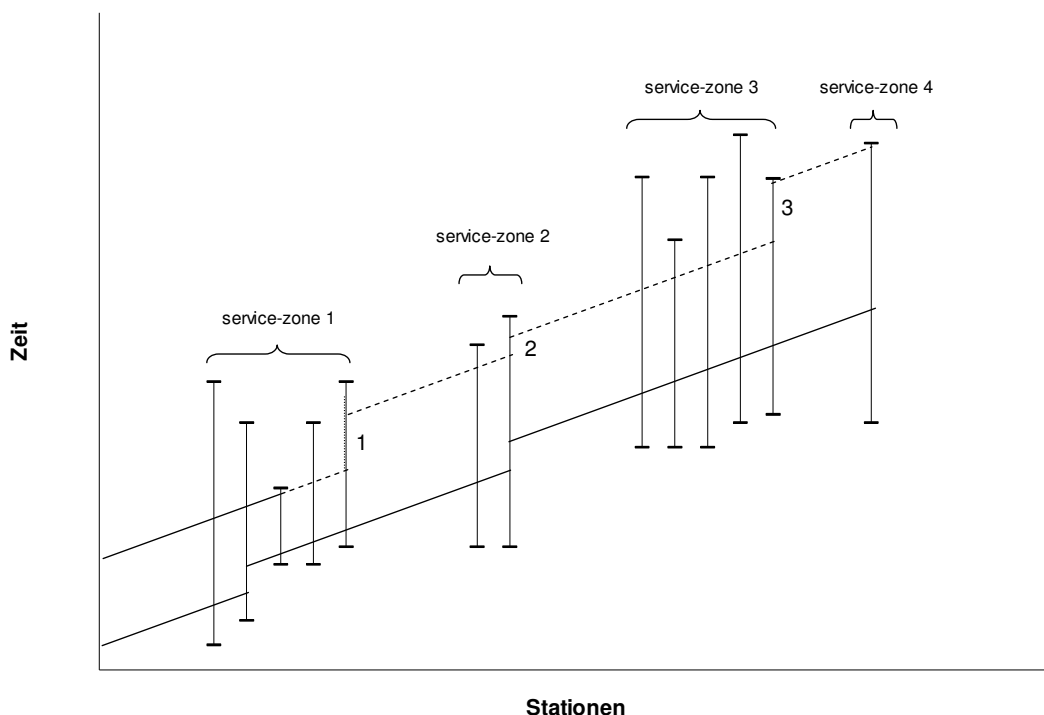
    Erzeugen einer test-solution
    Einfügen des neuen Auftrags nach Station n
    if (test-solution eine gültige Lösung) then
        if (test-solution die bis jetzt beste Lösung) then
            best-solution = test-solution
        end if
    end if
ende
ende
if (eine Lösung wurde gefunden)
    ersetze die Tour des am besten geeigneten Fahrzeugs mit der
    best-solution
    Neuberechnung der „service-zones“ (Falls die neue Station die
    einzige noch unbearbeitete Station in der Tour ist, wird eine
    neue „service-zone“ erstellt und die Station eingefügt. Falls
    sie am Anfang, oder am Ende, oder zwischen zwei „service-
    zones“ eingefügt wurde und ein Erweitern der benachbarten
    „service-zone“ nicht möglich ist, muss ebenfalls eine neue
    „service-zone“ erstellt werden. Falls die neue Station in eine
    bestehende „service-zone“ eingefügt wurde, muss geprüft
    werden ob diese durch die Erweiterung die maximale Größe
    überschreitet. Falls ja wird die „service-zone“ geteilt und die
    neue Station wird demjenigen Teilstück zugewiesen, dass
    sich dadurch am wenigsten vergrößert.)
else
    starte ein neues Fahrzeug und füge den neuen Auftrag in dessen
    Tour ein
    Erstellen einer neuen „service-zone“ und Einfügen der neuen
    Station
end if
ende

```

3.6 Die „advanced dynamic waiting“ Wartestrategie⁹

Im vorherigen Abschnitt wurde die „dynamic waiting“ Strategie behandelt und es wurden deren Vorteile gegenüber der „drive-first“ und der „wait-first“ Strategie, anhand von Graphiken veranschaulicht. Betrachtet man Graphik 6 genauer fällt auf, dass die Wartezeiten der einzelnen Stationen zwar zu größeren Intervallen am Ende der „service-zones“ zusammengefasst werden, dass aber der Hauptteil der Gesamtwartezeit trotzdem schon am Anfang der Tour verbraucht wird. Ähnlich wie bei der „wait-first“ Strategie resultiert daraus, dass zu einem späteren Zeitpunkt der Tour ein Fahrzeug nur noch wenig Spielraum hat um neue Aufträge in seine Tour aufzunehmen. Diesem Mangel wird versucht bei der „advanced dynamic waiting“ Strategie vorzubeugen, indem die Gesamtwartezeit auf die in der Tour befindlichen „service-zones“ aufgeteilt wird.

„drive-first“ im Vergleich mit „advanced dynamic waiting“



Graphik 7: Die „drive-first“ und die „advanced-dynamic-waiting“ Wartestrategie im Vergleich: Hier ist das Verhalten eines Fahrzeuges dargestellt, dass die „advanced danamic waiting“ Strategie verwendet. Vergleicht man Graphik 6 und Graphik 7 miteinander, kann man erkennen, dass im Fall der „advanced

⁹ Vgl. Mitrović-Minić Snežana / Gilbert Laporte, (2004, p. 647)

dynamic waiting“ Strategie jene „service-zones“ mit mehr Stationen auch einen größeren Anteil an der Gesamtwartezeit haben. Zu welchen Anteilen die Gesamtwartezeit auf die „service-zones“ aufgeteilt wird, kann von verschiedenen Dingen abhängig gemacht werden. Das Programm, das für die Tourenplanung anhand der Daten, die vom Roten Kreuz zur Verfügung gestellt wurden, verwendet wurde, teilt die Gesamtwartezeit anhand der Anzahl der Stationen in einer Tour auf. Die Gesamtwartezeit wird durch die Anzahl der in der Tour vorhandenen Stationen dividiert, und mit der Anzahl der in einer „service-zone“ befindlichen Stationen multipliziert. Somit erhalten größere „service-zones“ mehr Wartezeit und kleinere weniger. Der Gedanke, der hinter dieser Aufteilungsmethode steht, ist der, dass in eine „service-zone“ jene Aufträge eingefügt werden, die sich in der Nähe befinden. Wenn nun in einem Gebiet viele nahe beieinander liegende Aufträge auftauchen und verplant werden, lässt dies den Schluss zu, dass in der Zukunft noch mehr Aufträge in diesem Gebiet verfügbar werden. Deshalb wird versucht Fahrzeugen, die sich in diesem Gebiet befinden mehr Kapazität in Form von planbarer Zeit zuzuteilen.

Der folgende Pseudocode zeigt um welchen Teil das Programm erweitert wurde. Der größte Teil des Programms ist identisch mit jenem der „dynamic waiting“ Strategie. Das Aktualisieren der Aufbruchs- und Ankunftszeiten der einzelnen Stationen sobald ein neuer Auftrag verfügbar wird, und das Finden der bestmöglichen Tour und des bestmöglichen Platzes innerhalb dieser Tour, bleiben unverändert. Auch die durch das Einfügen verursachten Art der Veränderung der „service-zones“ läuft gleich ab wie bei der „dynamic waiting“ Strategie. Nachdem die Veränderung der „service-zones“ berechnet wurde, werden die Wartezeiten auf die „service-zones“ umverteilt. Dadurch ändert sich allerdings weder die räumliche Ausdehnung der „service-zones“ noch die Anzahl ihrer Stationen. Lediglich der Zeitpunkt, zu dem ein Fahrzeug eine „service-zone“ verlässt, wird korrigiert.

(unverändert, siehe Pseudocode „dynamic waiting“ Strategie)

-
-
-

if (eine Lösung wurde gefunden)

ersetze die Tour des am besten geeigneten Fahrzeugs mit der best-solution

*Neuberechnung der „service-zones“ (**Falls die neue Station die einzige noch unbearbeitete Station in der Tour ist, wird eine neue „service-zone“ erstellt und die Station eingefügt. Falls sie am Anfang, oder am Ende, oder zwischen zwei „service-zones“ eingefügt wurde und ein Erweitern der benachbarten „service-zone“ nicht möglich ist, muss ebenfalls eine neue „service-zone“ erstellt werden. Falls die neue Station in eine bestehende „service-zone“ eingefügt wurde, muss geprüft werden ob diese durch die Erweiterung die maximale Größe überschreitet. Falls ja wird die „service-zone“ geteilt und die neue Station wird demjenigen Teilstück zugewiesen, dass sich dadurch am wenigsten vergrößert.**)*

else

starte ein neues Fahrzeug und füge den neuen Auftrag in dessen Tour ein

Erstellen einer neuen „service-zone“ und Einfügen der neuen Station

end if

für alle Fahrzeuge

ermittle die Gesamtwartezeit der Tour

ermittle die Anzahl der Stationen der Tour

berechne die theoretische Wartezeit pro Station

ermittle die Anzahl der Stationen pro „service-zone“ und weise der letzten Station jeder „service-zone“ die anteilige Wartezeit zu

ende

ende

4 Ergebnissauswertung und Interpretation

4.1 Beschreibung der Basisdaten

Zur Berechnung der Touren wurden vom Roten Kreuz Aufzeichnungen über Alten- und Krankentransporte aus dem Jahr 2004 zur Verfügung gestellt. Auftragsdaten aus jeweils 14 einzelnen Tagen aus den Monaten Februar, Mai, August und November wurden für die Tourenplanung herangezogen. Die in die Tourenplanung eingeflossenen Informationen bestehen aus den Eckdaten jedes zu planenden Transportes. Die Positionen von Abholungs und Bestimmungsort sind in Form von Koordinaten und die Beginn- und Endzeit der Zeitfenster in Form von Datums- und Uhrzeiten vorhanden. Außerdem wurde noch die Position des zentral gelegenen Depots berücksichtigt, von dem aus alle Transportfahrzeuge starten und zu welchem sie am Ende ihrer Tour auch wieder zurückkehren. Die Anzahl an Aufträgen variiert von Tag zu Tag. Die kleinste Anzahl an Aufträgen pro Tag ist den Aufzeichnungen nach 92 und die Größte 158. Der Zeitpunkt, zu dem ein Auftrag verfügbar wird, also die Beginnzeit seines Zeitfensters, kann grundsätzlich zwischen 0:00 Uhr und 24:00 Uhr liegen. Allerdings wird die überwiegende Mehrheit der Aufträge zwischen 6:00 Uhr und 20:00 Uhr planbar. Die Zeit, die ein Fahrzeug von einem Punkt zum anderen braucht, berechnet sich aus einer Distanzmatrix, die für jeden Tag der Aufzeichnungen vorliegt.

4.2 Auswertung der Ergebnisse der vier Wartestrategien

Auf Basis der Auftragsdaten wurde eine tägliche Tourenplanung mit jeweils einer der vier Wartestrategien simuliert. Um das über den Tag verteilte Eintreffen der Auftragsdaten nachzubilden wurden die Aufträge nach den Beginnzeiten ihrer Zeitfenster sortiert und der Reihe nach den Fahrzeugen zugewiesen. In einem ersten Schritt wurde die durchschnittliche Tourlänge und Fahrzeuganzahl der vier Strategien berechnet und die Ergebnisse der „wait-first“, der „dynamic waiting“ und der „advanced dynamic waiting“ Strategie wurden denen der „drive first“ Strategie zum Vergleich gegenübergestellt. Dabei wurde eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 30 km/h angenommen. Um für

die später folgenden Tourenberechnungen einen Sinnvollen Größenbereich der „service-zone“ zu identifizieren, wurde in einem Ersten Schritt die optimale „service-zone“ Größe jedes einzelnen Tages berechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Dabei variieren die Größen der „service-zones“ die für die „dynamic waiting“ und „advanced dynamic waiting“ Strategie relevant sind zwischen 0 und der maximalen Ausdehnung der Fläche, die durch die am weitest voneinander entfernt liegenden Punkte der Aufträge eines Tages beschrieben wird. Der Grund dafür war dadurch feststellen zu können welche Wartestrategien das größte Potential hat, die Anzahl der benötigten Fahrzeuge und die Gesamttourlänge zu minimieren. In Tabelle 5 sind die Fahrzeuganzahl und die Tourlänge der einzelnen Tage aufgelistet, die bei Verwendung der optimalen „service-zone“ Größe erzielt werden konnten. Auffällig ist, dass an einigen Tagen eine „service-zone“ Größe von 0 die besten Ergebnisse liefert. Dies würde einer Anwendung der „drive first“ Strategie entsprechen.

Durchschnittsgeschwindigkeit 30 km/h, optimale "service zone" Größe									
„drive first“		„wait first“		„dynamic waiting“			„advanced dynamic waiting“		
Tour-länge	Fahr-zeug-anzahl	Tour-länge	Fahr-zeug-anzahl	Tour-länge	Fahr-zeug-anzahl	service zone Größe in Mio.	Tour-länge	Fahr-zeug-anzahl	service zone Größe in Mio.
3038,12	28,88	3041,19	29,43	3033,70	29,04	7,32	3018,64	28,11	13,70
		+0,10 %	+1,92 %	-0,15 %	+0,56 %		-0,64 %	-2,66 %	

Tabelle 4: Durchschnittliche Verbesserung der Wartestrategien bei optimaler „service-zone“ Größe: In der Tabelle sind von den vier Wartestrategien jeweils die durchschnittliche Tourlänge und Fahrzeuganzahl, sowie die Veränderung gegenüber der „drive first“ Strategie in Prozentangaben abzulesen.

Anhand von Tabelle 4 lässt sich erkennen, dass die „advanced dynamic waiting“ Strategie das größte Potential zur Verbesserung hat.

Durchschnittsgeschwindigkeit 30 km/h, optimale "service zone" Größe										
	„drive first“		„wait first“		„dynamic waiting“			„advanced dynamic waiting“		
Tage	Tour-länge	Fahr-zeug-anzahl	Tour-länge	Fahr-zeug-anzahl	Tour-länge	Fahr-zeug-anzahl	service zone Größe in Mio.	Tour-länge	Fahr-zeug-anzahl	service zone Größe in Mio.
Feb02	3083,62	23	3144,04	24	3077,06	24	10	3046,96	23	22
Feb03	3006,74	27	3074,90	28	3029,94	28	5	3038,10	27	1
Feb04	3073,32	31	3141,18	32	3040,22	29	0	3040,22	29	0
Feb05	2973,52	25	2935,94	27	2919,74	26	0	2918,90	25	18
Feb06	3271,64	30	3267,08	29	3304,14	30	0	3280,08	29	17
Feb09	2362,76	24	2360,82	23	2354,00	25	5	2362,24	23	11
Feb10	2966,24	28	2918,52	26	2967,28	28	3	2962,66	28	16
Feb11	3025,40	31	3059,12	34	3013,38	32	2	3004,30	31	9
Feb12	2647,46	25	2596,82	25	2581,12	25	0	2563,64	25	11
Feb13	2844,66	30	2864,08	34	2841,36	31	0	2783,34	29	21
Feb16	2753,94	26	2744,80	29	2761,44	27	0	2748,88	26	19
Feb17	3479,94	35	3485,64	34	3465,16	34	17	3436,50	33	13
Feb18	3057,20	27	3023,14	28	3034,70	28	0	3022,44	27	3
Feb19	2717,90	27	2661,84	24	2671,98	25	21	2672,24	25	3
mai03	3129,04	26	3101,36	28	3108,94	27	14	3125,46	25	8
mai04	3447,64	34	3431,96	35	3433,00	35	15	3426,00	34	9
mai05	2370,56	23	2353,48	23	2348,00	22	0	2380,00	23	0
mai06	2735,62	24	2698,70	24	2723,60	24	0	2723,60	24	0
mai07	2719,04	25	2728,18	24	2718,84	24	0	2665,34	23	4
mai10	2990,76	26	2971,00	28	2991,16	26	0	2977,70	26	8
mai11	3886,08	37	3884,40	38	3870,80	39	23	3841,96	38	14
mai12	3871,02	39	3871,22	39	3881,44	39	10	3868,08	38	2
mai13	2976,34	29	2994,00	29	2971,36	29	25	2964,30	29	25
mai14	3519,68	30	3514,24	30	3480,46	29	44	3516,56	29	133
mai17	3160,50	29	3122,90	32	3158,24	30	10	3123,26	28	17
mai18	3689,58	30	3742,20	33	3713,80	32	7	3721,84	32	1
mai19	3193,02	29	3250,30	30	3222,62	30	0	3142,20	27	14
mai21	2598,20	30	2613,76	30	2605,92	29	0	2605,92	29	0
Aug02	2934,62	30	2903,02	31	2904,48	31	0	2904,46	30	2
Aug03	2668,62	32	2665,56	34	2638,06	33	2	2691,28	32	41
Aug04	3275,76	28	3293,46	30	3284,14	29	17	3249,14	28	11
Aug05	2137,50	23	2125,18	22	2136,20	23	0	2163,64	21	4
Aug06	2835,88	27	2848,74	27	2816,60	27	25	2824,86	26	10
Aug09	2793,36	30	2802,54	28	2761,84	27	1	2768,94	27	7
aug10	2686,18	27	2656,54	27	2644,30	26	3	2659,66	26	10
aug11	2434,92	28	2436,32	28	2421,42	27	9	2414,38	26	26
aug12	2005,66	15	2039,42	16	2019,18	16	0	1976,94	15	18
aug13	2584,06	23	2563,64	24	2574,96	24	18	2573,92	22	1
aug16	2440,36	22	2456,08	22	2454,76	22	0	2447,96	21	7
aug17	3494,22	37	3533,54	36	3525,94	36	4	3538,76	36	0
aug18	3798,06	40	3769,66	37	3774,78	38	5	3780,44	39	3
aug19	3099,74	29	3126,52	30	3112,24	31	9	3060,26	27	20
nov02	3776,68	41	3773,72	42	3791,36	41	9	3713,84	40	13
nov03	3967,82	38	3986,54	38	3948,24	37	0	3957,08	36	12
nov04	3206,24	30	3203,12	30	3159,74	28	0	3145,78	28	17
nov05	3200,00	30	3290,94	34	3243,44	31	3	3147,70	30	37
nov08	2648,98	25	2670,56	27	2671,82	27	0	2584,22	24	13
nov09	3147,52	25	3173,90	25	3135,58	27	8	3132,66	25	13
nov10	2944,30	26	2899,76	25	2956,34	25	0	2908,72	24	13
nov11	3696,10	33	3705,80	34	3708,44	34	47	3712,62	32	47
nov12	3188,12	32	3187,40	31	3188,28	32	17	3188,92	32	11
nov15	2555,68	24	2511,56	24	2570,30	24	2	2553,88	24	0
nov16	3855,98	34	3863,30	36	3897,16	35	16	3833,40	33	19
nov17	3098,72	30	3142,42	31	3092,14	28	0	3062,32	28	4
nov18	2863,36	28	2839,20	28	2909,26	29	0	2846,14	27	9
nov19	3245,04	30	3282,42	31	3256,74	31	4	3239,16	30	0

Tabelle 5: Fahrzeuganzahl und Tourlängen bei optimaler „service-zone“ Größe

In einem nächsten Schritt wird die unrealistische Annahme, dass die im Voraus festzulegende maximale Größe der „service zones“, immer der best möglichen entspricht, revidiert. Die in den Tabellen 6 bis 8 ausgegebenen Mittelwerte, errechnen sich aus den Ergebnissen der einzelnen Tagesauswertungen bei fixierter maximaler „service zone“ Größe. Allerdings wurde die Suche nach der am besten geeigneten maximalen „service zone“ Größe auf einen bestimmten Teil der möglichen Ausdehnungen beschränkt, da sich die „dynamic waiting“ und die „advanced dynamic waiting“ Strategie durch die Unterteilung der Gesamtfläche in Segmente sowohl von der „drive first“, als auch von der „wait-first“ Strategie unterscheiden sollte.

Durchschnittsgeschwindigkeit 30 km/h, willkürlich festgelegte "service zone" Größe						
	drive first		wait first			
	Mittelwert Tourlänge	Mittelwert Fahrzeug- anzahl	Mittelwert Tourlänge	Verbes- serung / Verschlech- terung	Mittelwert Fahrzeug- anzahl	Verbes- serung / Verschlech- terung
	3038,12	28,88	3041,19	+0,10 %	29,43	+1,92 %

Tabelle 6: Vergleich der „drive first“ und der „wait first“ Strategie: Da die willkürlich festgelegte, maximale Größe der „service zones“ keinen Einfluss auf die „drive first“ und die „wait-first“ Strategie hat, ist es nicht überraschend, dass die Ergebnisse in Tabelle 6 mit denen aus Tabelle 4, hinsichtlich der Verbesserung bzw. Verschlechterung der mittleren Fahrzeuganzahl und der mittleren Tourenlänge, identisch sind.

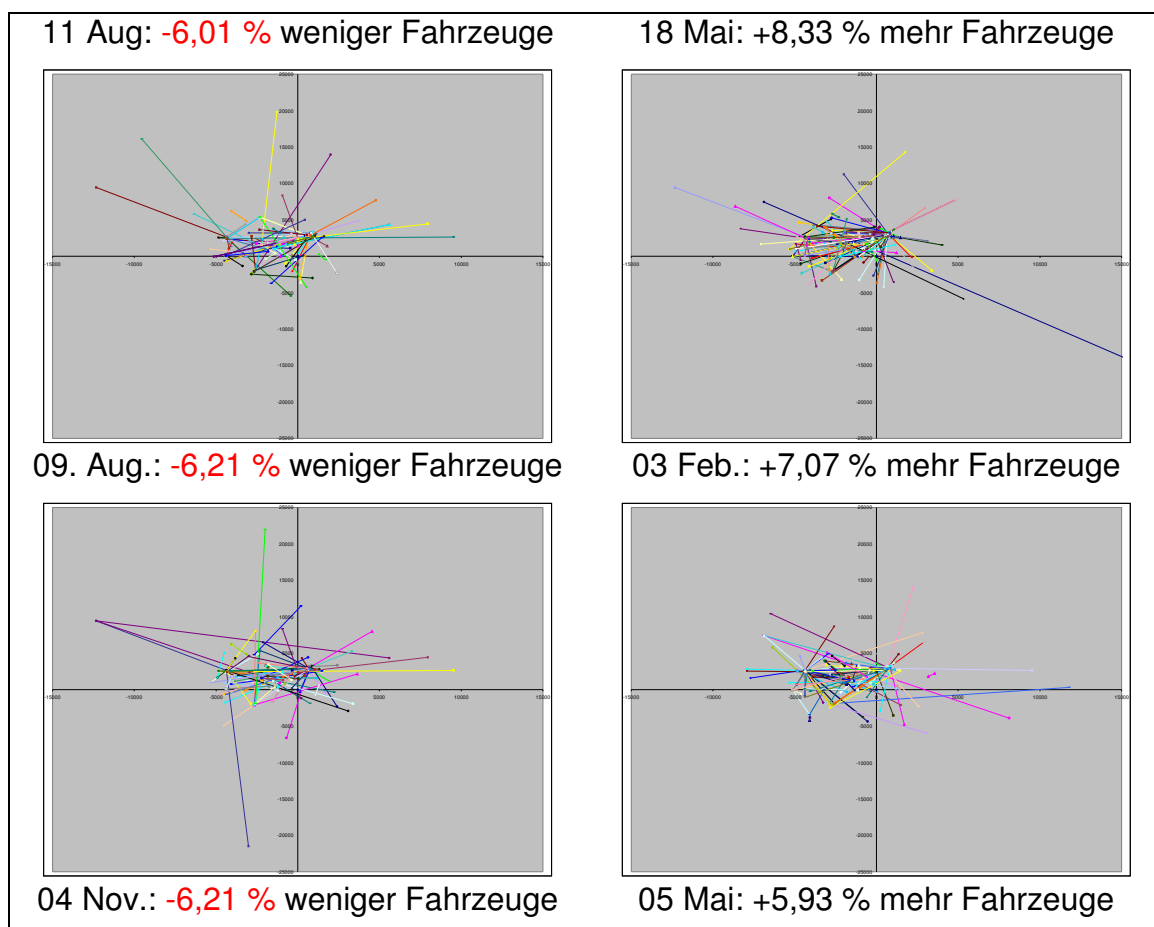
Durchschnittsgeschwindigkeit 30 km/h, willkürlich festgelegte "service zone" Größe						
	drive first		dynamic waiting			
service-zone Größe in Mio.	Mittelwert Tourlänge	Mittelwert Fahrzeuganzahl	Mittelwert Tourlänge	Verbesserung / Verschlechterung	Mittelwert Fahrzeuganzahl	Verbesserung / Verschlechterung
9	3038,12	28,88	3044,84	+0,22 %	29,59	+2,47 %
10	3038,12	28,88	3044,81	+0,22 %	29,52	+2,23 %
11	3038,12	28,88	3043,37	+0,17 %	29,48	+2,10 %
12	3038,12	28,88	3043,75	+0,19 %	29,55	+2,35 %
13	3038,12	28,88	3043,88	+0,19 %	29,54	+2,29 %
14	3038,12	28,88	3043,64	+0,18 %	29,50	+2,16 %
15	3038,12	28,88	3045,33	+0,24 %	29,54	+2,29 %
16	3038,12	28,88	3045,30	+0,24 %	29,54	+2,29 %
17	3038,12	28,88	3044,03	+0,19 %	29,48	+2,10 %
18	3038,12	28,88	3044,92	+0,22 %	29,52	+2,23 %
19	3038,12	28,88	3044,48	+0,21 %	29,50	+2,16 %
20	3038,12	28,88	3044,87	+0,22 %	29,50	+2,16 %
21	3038,12	28,88	3045,12	+0,23 %	29,50	+2,16 %
22	3038,12	28,88	3044,74	+0,22 %	29,48	+2,10 %
23	3038,12	28,88	3043,91	+0,19 %	29,43	+1,92 %
24	3038,12	28,88	3044,03	+0,19 %	29,43	+1,92 %
25	3038,12	28,88	3043,06	+0,16 %	29,38	+1,73 %
26	3038,12	28,88	3042,61	+0,15 %	29,38	+1,73 %
27	3038,12	28,88	3042,63	+0,15 %	29,38	+1,73 %
28	3038,12	28,88	3042,61	+0,15 %	29,39	+1,79 %
29	3038,12	28,88	3042,61	+0,15 %	29,39	+1,79 %
30	3038,12	28,88	3042,61	+0,15 %	29,39	+1,79 %

Tabelle 7: Vergleich der „drive first“ und der „dynamic waiting“ Strategie bei willkürlich festgelegter „service zone“ Größe: In Tabelle 7 finden sich jeweils die Durchschnittswerte über alle, in der Tourenplanung berücksichtigten Tage der „drive first“ und der „dynamic waiting“ Strategie, sowie die im Voraus festgelegte, maximale Größe der „service zone“. Zur besseren Veranschaulichung ist auch die prozentuelle Veränderung der Mittelwerte im Vergleich zur „drive first“ Strategie angegeben. Deutlich zu erkennen ist, dass durch die Anwendung der „dynamic waiting“ Strategie in dem untersuchten Bereich weder eine Verbesserung der durchschnittlichen Tourlänge, noch der durchschnittlichen Fahrzeuganzahl im Vergleich zur „drive first“ Strategie möglich ist.

Durchschnittsgeschwindigkeit 30 km/h, willkürlich festgelegte "service zone" Größe						
	drive first		advanced dynamic waiting			
service-zone Größe in Mio.	Mittelwert Tourlänge	Mittelwert Fahrzeuganzahl	Mittelwert Tourlänge	Verbesserung / Verschlechterung	Mittelwert Fahrzeuganzahl	Verbesserung / Verschlechterung
9	3038,12	28,88	3035,29	-0,09 %	29,20	+1,11 %
10	3038,12	28,88	3034,32	-0,13 %	29,18	+1,05 %
11	3038,12	28,88	3036,28	-0,06 %	29,27	+1,36 %
12	3038,12	28,88	3037,59	-0,02 %	29,18	+1,05 %
13	3038,12	28,88	3036,46	-0,05 %	29,18	+1,05 %
14	3038,12	28,88	3034,52	-0,12 %	29,11	+0,80 %
15	3038,12	28,88	3033,35	-0,16 %	29,04	+0,56 %
16	3038,12	28,88	3033,63	-0,15 %	29,02	+0,49 %
17	3038,12	28,88	3033,92	-0,14 %	29,04	+0,56 %
18	3038,12	28,88	3033,03	-0,17 %	29,04	+0,56 %
19	3038,12	28,88	3033,73	-0,14 %	29,02	+0,49 %
20	3038,12	28,88	3034,41	-0,12 %	28,95	+0,25 %
21	3038,12	28,88	3034,44	-0,12 %	28,98	+0,37 %
22	3038,12	28,88	3033,67	-0,15 %	28,98	+0,37 %
23	3038,12	28,88	3035,76	-0,08 %	29,00	+0,43 %
24	3038,12	28,88	3037,42	-0,02 %	29,04	+0,56 %
25	3038,12	28,88	3036,53	-0,05 %	28,95	+0,25 %
26	3038,12	28,88	3036,67	-0,05 %	28,95	+0,25 %
27	3038,12	28,88	3036,49	-0,05 %	28,95	+0,25 %
28	3038,12	28,88	3035,96	-0,07 %	28,91	+0,12 %
29	3038,12	28,88	3036,54	-0,05 %	28,95	+0,25 %
30	3038,12	28,88	3036,63	-0,05 %	28,95	+0,25 %

Tabelle 8: Vergleich „drive first“ und „advanced dynamic waiting“ Strategie bei willkürlich festgelegter „service zone“ Größe: Die "advanced dynamic waiting" Strategie zeigt im Vergleich zu den anderen beiden Strategien im Durchschnitt die beste Performance, bezogen auf die durchschnittlich benötigte Tourlänge, was jedoch nicht auf die durchschnittliche benötigte Fahrzeuganzahl zutrifft. Die nur geringe Abweichung der mittleren Fahrzeuganzahl und der mittleren Tourlänge zu jenen der „drive first“ Strategie, lässt darauf schließen, dass innerhalb der "advanced dynamic waiting" Strategie die „drive first“ Strategie stärker zum tragen kommt als die "wait first" Strategie.

Die Auswertung der durchschnittlichen Veränderungen bei festgelegter maximaler „service zone“ Größe gab nur mäßigen Aufschluss darüber, warum nur eine geringe Verbesserung der Tourlänge bei Verwendung einer der höher entwickelten Wartestrategien möglich war. Um den Grund dafür herauszufinden, wurden in einem nächsten Schritt einzelne Tage, und hierbei vor allem die Struktur der jeweiligen Aufträge, untersucht. In Tabelle 9 wurden die Auftragsdaten jener Tage graphisch dargestellt, an denen die Verbesserung bzw. eine Verschlechterung der Fahrzeuganzahl gegenüber der „drive first“ Strategie am größten ist. Untersucht wurden jene Tage, bei denen die „advanced dynamic waiting“ Strategie die beste bzw. schlechteste Performance brachte. Aus den vorangegangenen Auswertungen ging hervor, dass die „advanced dynamic waiting“ Strategie jene Wartestrategie mit dem größten Verbesserungspotential ist.



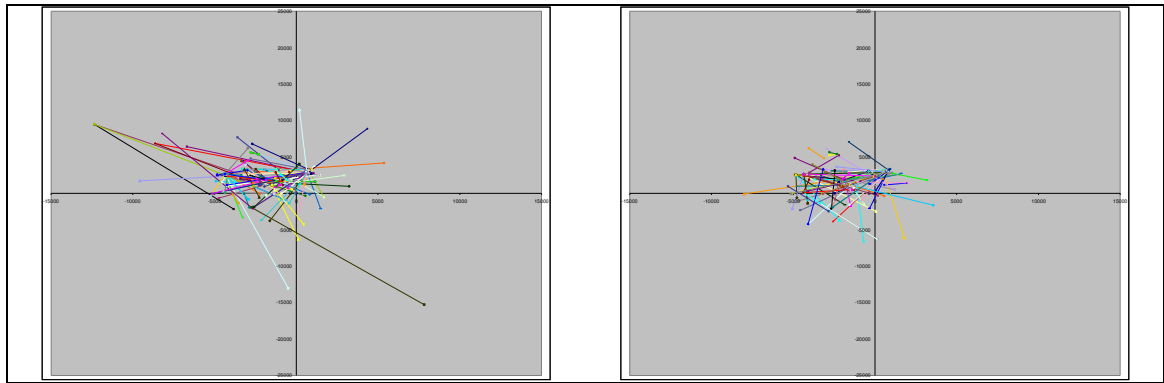


Tabelle 9: Visueller Vergleich von Aufträgen unterschiedlicher Tage: Die Diagramme in Tabelle 9 zeigen die Verteilung der Aufträge an sechs ausgewählten Tagen. Es wurden jeweils die drei Tage mit der größten Verbesserung und der größten Verschlechterung im Hinblick auf die benötigte Fahrzeuganzahl ausgewählt. Die prozentuelle Veränderung bezieht sich auf die Gegenüberstellung der Ergebnisse der „drive first“ Strategie mit denen der „advanced dynamic waiting“ Strategie. Es lässt sich gut erkennen, dass eine Verbesserung der Fahrzeuganzahl mit hoher Wahrscheinlichkeit dann erzielt werden kann, wenn die Aufträge weiter verzweigt sind. In solch einem Fall können durch das Warten des Fahrzeugs unnötige Umwege vermieden und eine bessere Route geplant werden.

4.3 Interpretation und Schlussfolgerungen anhand der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Datenauswertung, die in diesem Kapitel aufbereitet wurden, legen den Schluss nahe, dass eine Verbesserung der Tourenlänge und der benötigten Fahrzeuganzahl durch die Anwendung einer höher entwickelten Wartestrategie wie beispielsweise der „dynamic waiting“ Strategie oder der „advanced dynamic waiting“ möglich ist. Allerdings haben die Position und die Verteilung der einzelnen Aufträge einen weitaus größeren Einfluss auf das Potential der Verbesserung, als die Wahl der maximalen Größe der „service zones“. Eine sinnvolle Wahl der maximalen „service zone“ Größe lässt sich vermutlich nur im konkreten Einzelfall und anhand von Erfahrungswerten treffen. Eine weitere Verbesserung der Ergebnisse wäre möglich, wenn auf die erstellten Touren Verbesserungsverfahren zur Optimierung angewandt würden. Hier wäre sowohl die Anwendung von Intertour Heuristiken, wie dem 2-opt oder 3-opt Verfahren, als auch von Intratour Heuristiken, wie dem Austauschen von Aufträgen zwischen zwei Touren denkbar.

Die Anzahl der benötigten Fahrzeuge ließe sich vermutlich auch reduzieren in dem die Zeitfenstergrenzen weicher definiert würden. Dies hätte allerdings zur Konsequenz, dass Verspätungen eintreten könnten, welche einen negativen Einfluss auf die „user convinience“ hätten. Faktiv bedeutet das, dass sowohl durch technische Weiterentwicklung der Algorithmen, als auch durch eine weniger restriktive Formulierung der Nebenbedingungen, beispielsweise der Härte der Zeitfenster, eine weitere Verbesserung denkbar ist. Auch die Verwendung von lernenden Algorithmen könnte zur Verbesserung der Tourlänge und Fahrzeuganzahl beitragen, indem Fahrzeuge verstärkt dort eingesetzt würden, wo erfahrungsgemäß häufiger Aufträge auftauchen.

Im konkreten Fallbeispiel des Roten Kreuzes lässt die Analyse der Ergebnisse leider nur den Schluss zu, dass der Einsatz von Wartestrategien aufgrund der räumlichen Verteilung der Aufträge keine ausreichend markante Verbesserung bewirken würde. Der Vergleich mit anderen Praxisfällen wird zeigen, ob und in wie weit die Tourenplanung mit Wartestrategien in Zukunft Anwendung findet.

5 Literaturverzeichnis

Benyahia, Ilham / Jean-Yves Potvin (1998): "Decision support for vehicle dispatching using genetic programming". Erschienen in IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part A: Systems and Humans Vol. 28, pp. 306-314

Gendreau, Michel / François Guertin / Jean-Yves Potvin / René Séguin (1998): "Neighborhood search heuristics for a dynamic vehicle dispatching problem with pick-ups and deliveries" Erschienen in Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 14, Issue 3, June 2006, pp. 157-174

Mitrović-Minić, Snežana / Gilbert Laporte (2004): "Waiting Strategies for the Dynamic Pickup and Delivery Problem with Time Windows". Erschienen in F. Mannering: Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 38, Issue 7, pp. 635-655, München: Elsevier

Graham, Ronald L (1972): "An Efficient Algorithm for Determining the Convex Hull of a Finite Planar Set". Erschienen in Information Processing Letters 1, pp. 132-133, New Jersey, USA: North Holland Publishing Company

Rosenkrantz, Daniel J. / Richard E. Stearns / Philip M. Lewis II (1977): "An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem". Erschienen in Fundamental Problems in Computing: Essays in Honor of Professor Daniel J. Rosenkrantz, 45-68, Heidelberg: Springer, Neuauflage von: SIAM Journal on Computing Vol. 6, Nr. 3, Sept. 1977, pp. 563-581

Skyum Sven (1991): "A simple algorithm for computing the smallest enclosing circle". Erschienen in Information Processing Letters Vol. 37, Issue 3, February, pp. 121–125, Amsterdam: Elsevier

A Abstract

Der Anzahl der Transporte von alten und kranken Menschen hat in den letzten Jahren, vor allem im städtischen Bereich, stark zugenommen. Hauptgründe dafür sind zweifellos die gestiegene Lebenserwartung und das vermehrte Auftreten von sogenannten Zivilisationskrankheiten. Aber auch die immer besser ausgebaute Infrastruktur ermöglicht es immer mehr Menschen einen Transportservice anzubieten. Um die zur Verfügung stehenden Ressourcen wie beispielsweise Fahrzeuge und Personal, aber auch den Komfort der Passagier zu optimieren, ist eine effiziente Tourenplanung erforderlich. Die Herausforderung besteht darin, auch bei sehr kurzer oder sogar keiner Vorlaufzeit bei der Auftragserteilung, effiziente Routen innerhalb kürzester Zeit zu generieren. Die von Mitrovic-Minic und Laporte, im Artikel "Waiting Strategies for the Dynamic Pickup and Delivery Problem with Time Windows" aus dem Jahr 2004, vorgestellten Wartestrategien stellen einen Ansatz zur Bewältigung dieser Herausforderung dar.

Die Umsetzung der formalen Vorlagen der Wartestrategien in einem Programm und das Anpassen an die vom Roten Kreuz zur Verfügung gestellten Daten waren die Voraussetzung für die Datenauswertung und deren Interpretation in der vorliegenden Arbeit. Ziel dieser Arbeit war herauszufinden ob, hinsichtlich des spezifischen „Pickup and Delivery“ Problems des Roten Kreuzes, die Anwendung von Wartestrategien zur Verbesserung der Tourenplanung erfolgversprechend ist. Leider stellte sich heraus, dass eine Anwendung von Wartestrategien aufgrund der speziellen Eigenschaften der Aufträge wie beispielsweise deren räumliche Verteilung nur eine unzureichende Verbesserung der Fahrzeuganzahl bzw. der Tourlängen bewirkt. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass durch eine Erweiterung des Programms durch Verbesserungsverfahren oder durch die Kombination mit lernenden Algorithmen, im konkreten Praxisfall weitere Verbesserungen möglich sind.

B Lebenslauf

Name: Andreas Follner
Geburtsdatum: 23.09.1980
Nationalität: Österreich

Ausbildung

Seit 2001 Universität Wien
Studium der Internationalen Betriebswirtschaft
Spezialisierung:

- Logistikmanagement
- Wirtschaftsinformatik

Diplomarbeitsthema: „Optimierung von Krankentransporten des Roten Kreuzes mit Hilfe von Wartestrategien“

2000 - 2001 Zivildienst

1996 - 2000 ORG Anton-Krieger-Gasse, Wien

Berufserfahrung

Seit 06/2012 HSG Zander Austria GmbH, Wien
Junior Property Manager

07/2005 – 06/2011 Dr. Rantasa Consulting GmbH, Wien
Praktikum, Assistent und Backoffice Tätigkeiten, Projektmitarbeit

Fortbildung

09/2009 – 05/2010 Europa- Wirtschaftsschule, Wien
Vorbereitungskurs Immobilienmakler und -verwalter

Besondere Kenntnisse

Fremdsprachen Englisch, fließend in Wort und Schrift
Italienisch, Grundkenntnisse
Spanisch, Grundkenntnisse

EDV-Kenntnisse Programmierkenntnisse in C++, PHP, Javascript, HTML