

Master Thesis

im Rahmen des
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Zentrum für GeoInformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

**„Ermittlung von Optimierungspotentialen
im Vorfeld des Einsatzes eines
Workforce-Management-Systems“.**

vorgelegt von

Ralf Stoll

U1137, UNIGIS MSc Jahrgang 2004

Zur Erlangung des Grades
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Gutachter:

Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Chemnitz, den 12.02.2006

"Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden sind entsprechend gekennzeichnet."

12.02.2006

Danksagung

Mein Dank gilt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Regionalen Zweckverbandes Wasserversorgung Bereich Lugau-Glauchau für Ihr Verständnis und Unterstützung bei der Datenerfassung.

Weiterhin möchte ich der Firma GE Energy Management Services GmbH, vertreten durch Herrn Oliver Schlageter danken.

Selbstverständlich gilt auch dem UNIGIS-Team Salzburg mein Dank, die mit vielen hilfreichen Hinweisen und Vorschlägen zum Gelingen der Arbeit beitrugen.

Chemnitz, Februar 2006

Kurzfassung

Zur Entscheidung für oder gegen die Einführung eines Workforce Management Systems (WFMS) im Regionalen Zweckverband Wasserversorgung Bereich Lugau-Glauchau benötigen die Entscheidungsträger aussagekräftige Informationen über die zu erwartenden Einsparpotentiale. Weiterhin sind die Auswirkungen möglicher mit der Einführung zusammenhängender Strukturänderungen auf die Fahrzeiten der Servicemitarbeiter abzuschätzen.

Workforce Management Systeme bieten unterschiedliche Methoden zur Standortermittlung und Routenoptimierung. Übliche sind dabei die Optimierung auf Basis euklidischer Entfernungen, Straßendaten und Aufteilung des Servicegebietes in Zellen. Die Wahl des Verfahrens hat dabei einen starken Einfluss auf das Optimierungsergebnis.

Bei der Problemstellung handelt es sich um ein knotenorientiertes Tourenproblem (Vehicle Routing Problem, VRP). Dies ist ein Standardproblem der Tourenplanung. Die zusätzliche Berücksichtigung von einschränkenden Zeitintervallen wird als Tourenplanungsproblem mit Zeitfenstern (Vehicle Routing Problem with Time Windows, VRPTW) beschrieben. Praxisnahe Anwendungen nutzen zur Berechnung heuristische Verfahren, die gute Lösungen in kurzer Berechnungszeit liefern.

Für die Fahrtroutenoptimierung der Servicemitarbeiter kommt ein modifiziertes heuristisches Verfahren auf Basis des Verfahrens „Bester Nachfolger“ zum Einsatz. Dabei wird neben der Distanz zur jeweils nächsten im Zeitfenster erreichbaren Tätigkeit auch eine Richtungskomponente berücksichtigt.

Auf der Grundlage der durch die Servicemitarbeiter erfassten Daten wurde ein SMALLWORLD-GIS Datenmodell entwickelt und Optimierungsergebnisse auf Basis euklidischer Entfernungsmessung ermittelt. Dabei wurden mögliche Strukturänderungen berücksichtigt. Die Fa. GE Energy Management Services GmbH in Ratingen ermittelte innerhalb ihres WFMS Ergebnisse sowohl auf Basis euklidischer Entfernungsmessung als auch unter Nutzung von Geobasisdaten des Straßennetzes.

Die erzielten Ergebnisse zeigten ein erhebliches Optimierungspotential auf. So reduzierten sich die Fahrzeiten bei euklidischer Distanzmessung auf bis zu 86 %, bei Verwendung von Straßendaten im WFMS sogar auf 47 % des Ist-Zustandes. Die großen Ergebnisunterschiede verdeutlichen einerseits die Schwierigkeiten bei euklidischer Distanzmessung und andererseits herausragende Bedeutung hochwertiger Geobasisdaten des Straßennetzes. Aussagen zu Auswirkungen möglicher Strukturänderungen im Rahmen der Einführung eines WFMS, insbesondere die Zentralisierung der Bereiche, konnten getroffen werden.

Abstract

In order to decide in favour of or against the establishment of a Workforce Management System (WFMS) in the Regionaler Zweckverband Wasserversorgung Bereich Lugau-Glauchau (regional administration union for water supply in a region of saxony), the decision-makers need appropriate information on the saving potential to be expected. In addition, the effects of possible structural changes on the travelling time of the service personnel have to be assessed.

Workforce Management Systems provide various methods for the finding of suitable locations and the optimization of routes. Common ways of proceeding are the optimization on the basis of euclidian distance measuring, road data as well as the division of the service area into smaller units. The choice of the method applied has considerable influence on the optimization results.

In this case we have to deal with a node-oriented Vehicle Routing Problem (VRP). That is a standard problem in route planning. The additional consideration of restrictive time intervals is described as Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW). Practical applications make use of heuristic methods which provide good solutions within short calculation time.

For the purpose of optimizing travelling routes of the service personnel, a modified heuristic method is employed on the basis of the "next neighbour" method. Besides the distance to the nearest reachable order to be carried out within the time frame, the direction component is also taken into account.

On the foundation of the data collected by the service personnel, a SMALLWORLD-GIS data model was developed and optimization results on the basis of euclidian distance measuring obtained. In this process, potential structural changes were considered as well. Within its WFMS, the GE Energy Management Services company in Ratingen got its results by applying euclidian distance measuring as well as making use of basic geographical data of the road network.

The results obtained show a considerable optimization potential. With the application of euclidian distance measuring, travelling times were reduced to nearly 86 %; when using road data within the WFMS, they even reached a rate of 47 % of the status quo. The remarkable differences between those results demonstrate on the one hand the difficulties of euclidian distance measuring and on the other hand the great importance of high-quality basic geographical data of the road network. It was possible to make predictions concerning the effects of potential structural changes in connection with the establishment of a WFMS, especially the centralisation of departments.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Vorbemerkung	1
1.2	Workforce Management Systeme	2
1.3	Motivation.....	2
1.4	Aufgabenstellung	3
2	Problemanalyse.....	4
2.1	Routing in Workforce Management Systemen.....	4
2.2	Tourenplanungsproblem/Literatur.....	4
2.3	Rahmenbedingungen im RZV.....	5
2.3.1	Arbeitsorganisation	5
2.3.2	Werkzeuge und Daten	6
2.4	Lösungsansatz.....	6
2.5	Erwartete Ergebnisse.....	7
3	Projekt	8
3.1	Projektstruktur	8
3.2	Datenerfassung, Datenaufbereitung und Modellbildung	10
3.2.1	Datenerfassung.....	10
3.2.2	Datenaufbereitung.....	12
3.2.3	Modellbildung	14
3.3	Ist-Analyse, Optimierung und Verifizierung.....	17
3.3.1	Ist-Analyse	17
3.3.2	Optimierung.....	18
3.3.3	Verifizierung	29
3.4	Ergebnisanalyse	30
4	Zusammenfassung, Diskussion, Ausblick	34
4.1	Zusammenfassung	34
4.2	Diskussion.....	34

4.3	Ausblick.....	35
	Literaturverzeichnis.....	36
	Abkürzungsverzeichnis.....	37

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Verbandsgebiet des RZV mit Versorgungsbereichen	1
Abb. 2: Projektstruktur	9
Abb. 3: Formblatt „Erweitertes Fahrtenbuch“	11
Abb. 4: Weg-Zeit-Diagramm der erfassten Fahrten	12
Abb. 5: Weg-Zeit-Diagramm und Mittelwert	13
Abb. 6: Auszug aus der GIS-Importdatei „Tätigkeiten“	14
Abb. 7: ER-Diagramm des Datenmodells	16
Abb. 8: SMALLWORLD-GIS mit Darstellung Tätigkeiten und Fahrten	17
Abb. 9: Programmablauf	20
Abb. 10: Diagramm Optimierungsergebnis Szenarium a	25
Abb. 11: Diagramm Optimierungsergebnis Szenarium b	27
Abb. 12: Diagramm Optimierungsergebnis Szenarium c	29
Abb. 13: Diagramm Optimierungsergebnis Verifizierung mit euklidischen Distanzen ..	30
Abb. 14: Gesamtoptimierungsergebnis Fahrtdauer	31
Abb. 15: Optimierungsergebnis Fahrtdauer Szenarium a, b und c	33

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Ergebnistabelle Szenarium a.....	24
Tab. 2: Ergebnistabelle Szenarium b.....	26
Tab. 3: Ergebnistabelle Szenarium c.....	28
Tab. 4: Ergebnistabelle Verifizierung.....	29

Anlagenverzeichnis

Anl. 1: Magik-Archiv des Datenmodells	38
Anl. 2: Magik-Methode zum Einlesen der Tätigkeiten in das SMALLWORLD-GIS	44
Anl. 3: Magik-Methode zum Einlesen der Ressourcen in das SMALLWORLD-GIS.....	45
Anl. 4: Magik-Methoden des Optimierungsalgorithmus	46

1 Einführung

1.1 Vorbemerkung

Der Regionale Zweckverband Wasserversorgung Bereich Lugau-Glauchau (RZV) mit Sitz in Glauchau nimmt für 37 Städte und Gemeinden in seinem Verbandsgebiet die Pflichtaufgabe der Trinkwasserversorgung wahr (siehe Abbildung 1). Über 250.000 Einwohner werden im 685 km² großen Verbandsgebiet täglich mit Trinkwasser versorgt.



Abb. 1: Verbandsgebiet des RZV mit Versorgungsbereichen

Die Gewährleistung einer ständig hohen Versorgungssicherheit verbunden mit der Einhaltung hoher Qualitätsanforderungen erfordert den schnellen und effektiven Einsatz der Servicemitarbeiter vor Ort. Diesem Ziel stehen jedoch die Personalreduktion, die stetig steigenden Anforderungen an die Mitarbeiter und die umfangreichen Ansprüche an die Dokumentation der Tätigkeiten am Versorgungsnetz teilweise entgegen.

Eine Lösung dieses Problems kann der EDV-Einsatz zur Unterstützung der Außendienststeuerung darstellen. Bisher ist jedoch der überwiegende Teil der Servicemitarbeiter von einer umfassenden Unterstützung durch den Einsatz von EDV-Systemen ausgeschlossen. Bei den täglich im Versorgungsnetz anfallenden Arbeiten für Bau, Instandhaltung, Zählerbetrieb und Kundenbetreuung sind sie weitestgehend auf manuelle Erfassung und Papierunterlagen angewiesen. Auf kurzfristige Änderungen dieser mitgeführten Unterlagen können sie nur bedingt reagieren. Möglichkeiten der Routenoptimierung werden bisher kaum genutzt.

Durch den anhaltenden Kostendruck auf Versorgungsunternehmen gewinnt das Thema Optimierung des Einsatzes der Außendienstmitarbeiter an Bedeutung. Eine Lösung zur Kostenreduktion bei gleichzeitig mehr Kundenservice liegt im Verbessern der Produktivität der Arbeitsorganisation durch intelligente Planungs- und Steuerungsverfahren.

1.2 Workforce Management Systeme

Zur EDV-gestützten Optimierung des Einsatzes der Außendienstmitarbeiter wurden in den letzten Jahren Workforce Management Systeme (WFMS) entwickelt. Diese Informationssysteme führen die Auftrags- und Einsatzsteuerung für Außendienste weitgehend automatisch durch, optimieren und dokumentieren diese. Sie stellen Komponenten zur bedarfsgerechten Personal-, Ressourcen- und Terminplanung, zur Kommunikation mit den Servicemitarbeitern, Schnittstellen zu anderen EDV-Systemen (Auftragsübernahme, Abrechnung) sowie Möglichkeiten der geographischen Optimierung der Fahrtrouten bereit. Die Unterstützung der weitgehend papierlosen Abwicklung aller integrierten Prozesse führt zur Senkung des Be- und Nacharbeitungsaufwandes und verbessert gleichzeitig die Dokumentation der Tätigkeiten am Versorgungsnetz.

Durch den Einsatz eines WFMS können vorhandene Kapazitäten an die Bedarfssituationen angepasst werden. Auslastungsspitzen können abgefedert und Aufträge u.a. nach dem im System hinterlegten Fähigkeitsprofil des Außendienstmitarbeiters vergeben werden. Dies führt zur Vermeidung von Personalengpässen und Überkapazitäten und somit zur Effizienzsteigerung. Die Produktivität und Servicequalität können verbessert, Personalkosten gesenkt und die Mitarbeitermotivation gesteigert werden. Damit unterstützen WFMS das Unternehmen, seine geschäftlichen Ziele zu erreichen.

1.3 Motivation

Die Einführung eines WFMS ist einerseits mit finanziellen Aufwendungen für Beschaffung, Betrieb und Wartung sowie mit erheblichen Änderungen in der Arbeits- und Ablauforganisation des Unternehmens verbunden. Andererseits stehen im Allgemeinen lediglich die Informationen der Hersteller über mögliche zu erwartende Effektivitätsstei-

gerungen zur Verfügung. Aus diesem Grund ist die Information der Entscheidungsträger des Unternehmens im Vorfeld einer Systemeinführung über den zu erwartenden Nutzen besonders wichtig. Dabei sind die spezifischen Gegebenheiten im Unternehmen detailliert zu betrachten.

Mit der vorliegenden Arbeit soll die Beantwortung der Frage unterstützt werden, ob der Einsatz eines WFMS im speziellen Umfeld des RZV den erheblichen finanziellen und organisatorischen Aufwand rechtfertigt. Im Weiteren können nach einer Systemeinführung die Ergebnisse mit den erreichten praktischen Resultaten als Erfolgskontrolle verwendet werden.

1.4 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Arbeit soll innerhalb festgelegter organisatorischer Szenarien das Potential einer Routenoptimierung durch den Einsatz eines WFMS im RZV ermittelt werden. Diese Szenarien sind

- a) Optimierung des Ist-Zustandes.
- b) Reduktion der Depotanzahl auf den Hauptsitz des Unternehmens unter Beibehaltung der Struktur.
- c) Reduktion der Depotanzahl auf den Hauptsitz des Unternehmens unter Zusammenfassung der einzelnen Bereiche.

Aufbauend auf der Problemanalyse und Datenerfassung werden Modelle erarbeitet, welche die Ist-Situation und für die organisatorischen Szenarien erreichbare Optima beschreiben. In Zusammenarbeit mit der Firma GE Energy Management Services GmbH wird ein praktisches Optimierungsergebnis eines am Markt verfügbaren WFMS ermittelt. Die erzielten Ergebnisse und daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen fließen direkt in den Entscheidungsprozess zur Auswahl eines WFMS im RZV ein.

Aus dem Gesamtspektrum der Komponenten eines WFMS soll ausschließlich die Ermittlung von Optimierungspotentialen bei den Verbesserungen der Fahrtrouten der Servicemitarbeiter betrachtet werden. Ein Auftragsmanagement und -scheduling wird, sofern nicht als Nebenbedingung für die Routenberechnung erforderlich, nicht betrachtet.

2 Problemanalyse

2.1 Routing in Workforce Management Systemen

Workforce Management Systeme benötigen für die Terminplanung und die Auswahl geeigneter nächster Servicemitarbeiter Informationen über den Standort der Mitarbeiter sowie über Ressourcen, Einsatzorte und die Fahrtzeiten zwischen den Einsatzorten. bzw. Depots.

Das WFMS „GE Energy Field Force Automation“ nutzt beispielsweise für die Standortbestimmung Koordinaten aus Postleitzahlen (ZIP-Code) oder Adressinformationen. Während Erstgenannte aus einer internen Tabelle generiert werden, stammen Letztere aus einem angebundenen Geoinformationssystem. Für das Routing werden zwei Methoden zur Berechnung der Reisezeiten und der Auswahl geeigneter Mitarbeiter zur Verfügung gestellt. Einerseits kann das System intern euklidische Entfernungsmessung nutzen. Der dabei verwendete Algorithmus ist vom Hersteller nicht offen gelegt. Andererseits kann das Routing in einem angebundenen Geoinformationssystem unter Nutzung von Geobasisdaten des Straßennetzes erfolgen.

Einen anderen Ansatz verfolgt das System „Felix^x CSD“ der Firma Dr. Crombach und Partner GmbH (DR. CROMBACH UND PARTNER GMBH, BODENHEIM). Das Servicegebiet wird in Zellen aufgeteilt. Bei der Konfiguration des Systems wird modelliert, wie ein Überhang an Aufträgen in einer Zelle des Netzes zu behandeln ist, bzw. aus welcher Zelle Aufträge bei zu geringer Auslastung hinzuzunehmen sind. Mittlere Fahrtzeiten zwischen den Zellen werden ebenfalls während der Systemkonfiguration festgelegt.

2.2 Tourenplanungsproblem/Literatur

Die verallgemeinerte Problemstellung verkörpert ein knotenorientiertes Tourenproblem (Vehicle Routing Problem, VRP). Dies ist ein Standardproblem der Tourenplanung und lässt sich formal auf einem ungerichteten, gewichteten Graphen $G = (N; A)$ mit Knotenmenge $N = \{0; 1; \dots; n\}$ und Kantenmenge $A = \{(i; j) \mid i, j \in N; i < j\}$ definieren (CORDEAU et al.). In der Literatur ist dazu eine Vielzahl von Lösungsvorschlägen publiziert (vgl. Übersicht in TROCHELMANN 1980).

Das bekannteste Problem ist das Problem des Handlungsreisenden („Traveling Salesman Problem“, TSP). TSPe zählen zu den am intensivsten untersuchten und bearbeiteten Problemen des Operations Research.

Eine Erweiterung des Tourenplanungsproblems um einen zeitlichen Aspekt stellt das Tourenplanungsproblem mit Zeitfenstern (Vehicle Routing Problem with Time Windows, VRPTW) dar. Der jeweils nachfolgende Knoten kann ausschließlich während eines angegebenen Zeitintervalls erreicht werden. Beispiele finden sich bei der Einhal-

tung von Öffnungszeiten, Berücksichtigung von Kundenterminen oder der Planung von Schulbustouren.

Für die Lösung der Problemstellung können exakte und heuristische Verfahren angewandt werden. Aufgrund des hohen Aufwandes der Berechnung exakter Lösungen kommt heuristischen Verfahren in der Praxis eine hohe Bedeutung zu (DOMSCHKE 1997). Diese gewährleisten auch in der täglichen Tourenplanung gute Lösungen in möglichst kurzer Berechnungszeit. Für praktische Probleme empfohlene Verfahren sind die Vorgehensweisen „Bester Nachfolger“, „Sukzessive Einbeziehung“ sowie Savings (DOMSCHKE 1997).

Die ursprüngliche Version des Savings-Algorithmus wurde von Clarke und White (CLARKE UND WHITE 1964) beschrieben. Das Verfahren beginnt mit der Bildung von Pendelrouten (Depot, Knoten, Depot). Diese werden in den nächsten Schritten sukzessiv miteinander kombiniert. Die Reihenfolge der Kombination wird durch das Maß der Ersparnis (Weg, Zeit) bestimmt. Die konzeptionelle Einfachheit, die kurzen Rechenzeiten sowie die große Anpassungsfähigkeit prädestinieren den Algorithmus für den Einsatz in der Praxis (GIETZ 1994).

Die Methode Sukzessive Einbeziehung wurde 1964 von Karg und Thomson (KARG UND THOMSON 1964) entwickelt. Ausgehend von einem Kurzzyklus (Depot, Knoten, Depot) wird dieser sukzessiv um weitere Knoten ergänzt. Dabei wird derjenige Knoten bestmöglich eingefügt, der innerhalb der Tour die geringste Längenänderung bewirkt.

Das Verfahren „Bester Nachfolger“ (Nearest Neighbour) ist eine sehr einfache Heuristik. Es beginnt mit der Bildung einer Tour an einem Depot. Mit jedem weiteren Schritt wird die Tour um den jeweils nächsten (besten) Knoten erweitert. Der Algorithmus schließt mit der Rückreise zum Depot (Depot als Anfangs- und Endknoten). Eine Modifikation dieses Verfahrens wird in dieser Arbeit verwendet.

2.3 Rahmenbedingungen im RZV

2.3.1 Arbeitsorganisation

Aus der Arbeitsorganisation und tariflichen Regelungen lassen sich folgende Rahmenbedingungen ableiten:

- Die tägliche Arbeitszeit darf 8 Stunden nicht überschreiten.
- Die tariflich vereinbarten Pausen werden innerhalb der Routen mit 15 bzw. 30 Minuten täglich berücksichtigt.
- Die maximale Wartezeit (Zeit in der Vor-Ort auf eine Tätigkeit gewartet werden kann) ist mit 10 Minuten festgelegt.
- Bürotätigkeiten, die am jeweiligen Depot anfallen, werden zusammengefasst.

- Tätigkeiten innerhalb der Bereitschaftszeit werden nicht berücksichtigt. Eine Optimierung der Routen ist aufgrund der Besonderheiten (Einzelfahrten vom Wohnort, Havariesituation außerhalb der Arbeitszeit) nicht sinnvoll.
- Die durch die Meister durchgeführten Leitungs- und Kontrolltätigkeiten werden in die Berechnung der Routen nicht integriert.
- Rückfahrten zum Depot innerhalb der tariflich vereinbarten Pausenzeiten sind nicht vorgesehen.

Für die zu analysierenden Routen zwischen den Tätigkeiten der Außendienstmitarbeiter existieren nur ungenügende Aufzeichnungen. Auf den zu erstellenden Arbeitsberichten sind Fahrtzeiten nicht ausgewiesen. In den Fahrtenbüchern sind nur sehr grobe Angaben enthalten, die als Datengrundlagen nicht ausreichend sind.

Die Servicemitarbeiter beginnen ihre Tätigkeiten an zentralen Orten (Depots) innerhalb des Verbandsgebietes (siehe Abbildung 1). Von dort fahren sie zu verschiedenen Orten und erfüllen die zugewiesenen Aufgaben. Nach Abschluss kehren sie wieder zurück zum Depot. Dabei sind alle festen Termine (vereinbarte Kundentermine) einzuhalten sowie nach Notwendigkeit die Anwesenheit mehrerer Servicemitarbeiter vor Ort sicherzustellen. Feste Termine sind auch Havarien, die im Bearbeitungszeitraum aufgetreten sind. Die zeitliche Abfolge der Tätigkeiten ist grob einzuhalten, d.h. Tätigkeiten am Nachmittag müssen weiterhin nachmittags ausgeführt werden.

2.3.2 *Werkzeuge und Daten*

Die Datenmodellierung erfolgt innerhalb des in das Geographische Informationssystem SMALLWORLD-GIS integrierten CASE-Tools (Computer-Aided Software Engineering). Für die Programmierung wird „Magik“, eine objektorientierte Programmiersprache des SMALLWORLD-GIS genutzt.

Es stehen keine Geobasisdaten des Straßennetzes zur Verfügung. Im System liegen flächendeckend für das gesamte Verbandsgebiet georeferenzierte Rasterdaten der Topographischen Karte 1:10.000 des Landesvermessungsamtes Sachsen vor.

2.4 **Lösungsansatz**

Die Lösung der Problemstellung besteht im Finden eines kürzesten Weges unter Berücksichtigung von Zeitfenstern. Aufbauend auf einer Kandidatenliste zu erreichender Knoten (siehe auch DESROCHERS UND SOUMIS 1988) wird der beste Nachfolger aus einer Liste im aktuellen Zeitfenster erreichbarer Knoten gewählt. Die Auswahl eines geeigneten nächsten Knotens erfolgt über ein modifiziertes heuristisches Verfahren auf Basis „Bester Nachfolger“. Die Modifikation lehnt sich an den Sweep-Algorithmus von GILLET UND MILLER (1974) an.

Im konkreten Anwendungsfall sind die Servicemitarbeiter des RZV in vier Bereichen (Ist-Zustand) organisiert. Diese sind die Versorgungsbereiche West, Nord und Süd sowie der Fachbereich Hausanschlusswesen. Innerhalb dieser Bereiche erfolgt die Auftragsplanung, -vergabe und -durchführung. Die zu erfüllenden Aufgaben sind planbar oder nicht planbar (Havarien). Mit Kunden werden feste Termine vereinbart. Für einzelne Aufgaben werden mehrere Mitarbeiter benötigt.

Als Maß für die Planbarkeit einer Tätigkeit werden verschiedene große Zeitfenster definiert. Für die Auswahl des besten Nachfolgers innerhalb eines Zeitfensters finden modifizierte Distanzen Verwendung.

2.5 Erwartete Ergebnisse

Im Rahmen der Projektbearbeitung ist der RZV insbesondere an der Beantwortung dieser Fragestellungen interessiert:

Gibt es ein Optimierungspotential bei der Routenoptimierung durch den Einsatz eines WFMS im RZV und wie groß ist dieses?

Welchen Einfluss haben mögliche Strukturänderungen innerhalb des Unternehmens auf das Optimierungspotential?

Welche praxisnahen Ergebnisse hätte ein WFMS im Erfassungszeitraum erbracht?

3 Projekt

3.1 Projektstruktur

Das Projekt zur Routenoptimierung gliedert sich in drei Phasen (siehe Abbildung 2):

- I. Datenerfassung, Datenaufbereitung und Modellbildung
- II. Ist-Analyse, Optimierung und Verifizierung
- III. Ergebnisanalyse

Nach dem Projektstart fand in der ersten Phase des Projektes die Erhebung der notwendigen Daten durch Selbstaufschreibung statt. Die so erfassten Daten wurden bedingt durch das Fehlen von Geobasisdaten zum Straßennetz so analysiert, dass ein Zusammenhang zwischen euklidischer Distanz und Fahrtzeit definiert werden konnte. Zur Abbildung der Daten innerhalb des Geographischen Informationssystems (GIS) SMALLWORLD wurden ein Datenmodell erarbeitet und die Daten übernommen.

Die zweite Projektphase begann im August 2005. Im Vordergrund eines Arbeitskreises stand zunächst die Definition von für den RZV als sinnvoll zu betrachtende Szenarien, innerhalb derer eine Optimierung erfolgen soll. Dabei sind nicht nur die aktuelle Unternehmenssituation sondern auch mögliche zukünftige Strukturänderungen berücksichtigt worden. Das in der ersten Phase geschaffene Datenmodell wurde um Berechnungsroutinen zur Abbildung der Szenarien erweitert und die Berechnungen durchgeführt. Parallel dazu wurden die Daten für die Fa. GE Energy Management Services GmbH aufbereitet, so dass eine Verifizierung der Ergebnisse anhand des WFMS „GE Energy Field Force Automation“ stattfinden konnte. Diese Berechnungen fanden am Hauptsitz der Fa. GE Energy Management Services GmbH in Ratingen statt, da auf die Installation des sehr umfangreichen Systems im RZV verzichtet wurde.

Die Ergebnisanalyse stand in der folgenden dritten Projektphase im Vordergrund. Dazu wurden die Teilergebnisse aus den zu betrachtenden Szenarien untereinander sowie mit dem Ist-Zustand und den Ergebnissen des WFMS verglichen.

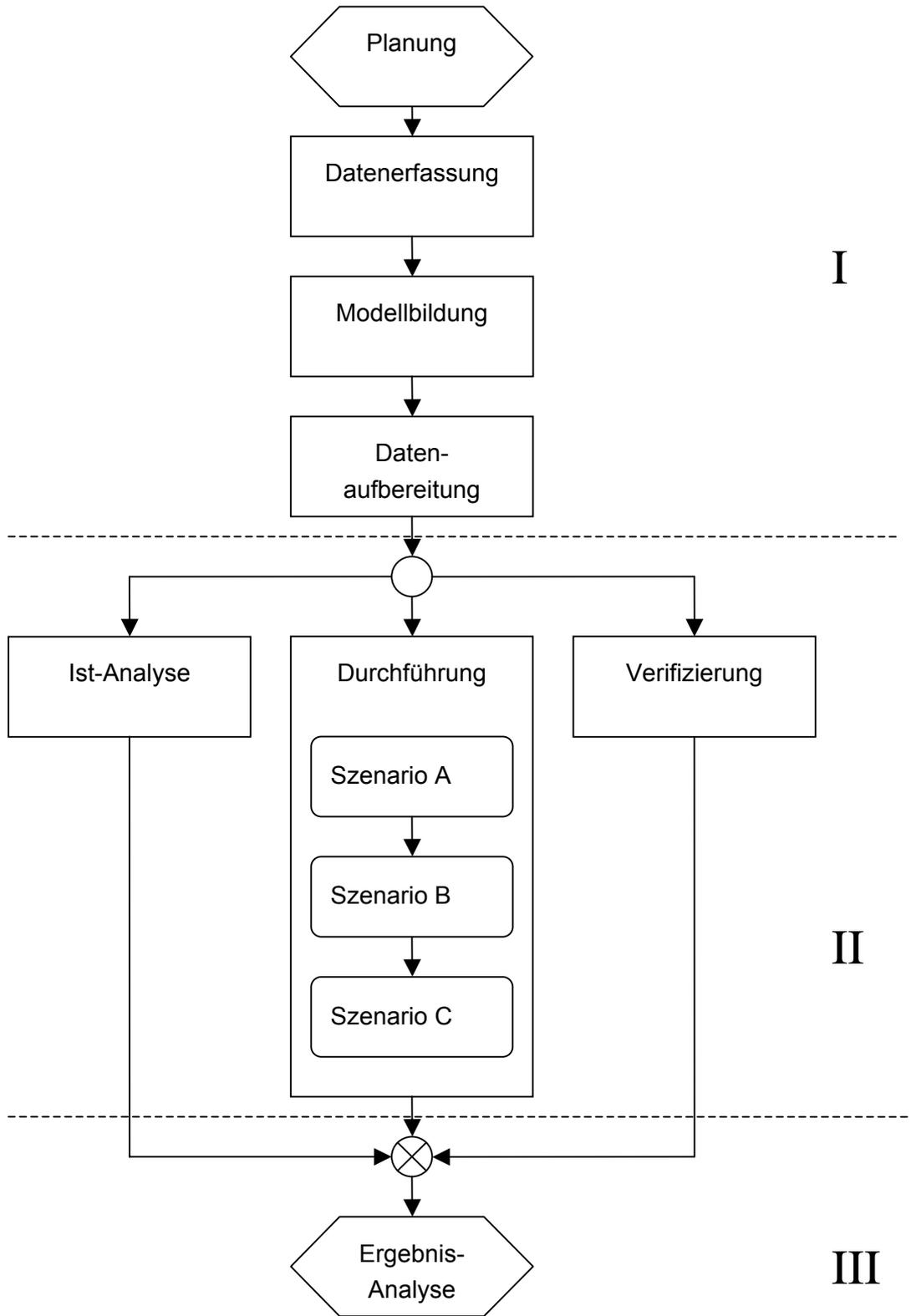


Abb. 2: Projektstruktur

3.2 Datenerfassung, Datenaufbereitung und Modellbildung

3.2.1 Datenerfassung

Die Datenerfassung wurde im Projektvorfeld als kritischer Erfolgsfaktor bewertet, da die notwendigen Informationen in den normalen Geschäftsprozessen des RZV nur ungenügend erhoben werden. Ohne die Erhebung relevanter Daten zur Dauer der Tätigkeiten, zu zeitlichen Einschränkungen sowie notwendigen Ressourcen und Fahrzeiten ist eine Analyse und Optimierung daher nicht möglich. Aus diesem Grund legte die Geschäftsleitung des RZV fest, die für das Projekt notwendigen Daten für alle Mitarbeiter im Außendienst durch Selbstaufschreibung zu erheben. Durch das gewählte Verfahren der Selbstaufschreibung ist eine durchgängige Qualitätssicherung der Daten erforderlich.

Die Datenerhebung wurde im April 2005 durchgeführt. Zur Sicherung einer gleichmäßig hohen Qualität innerhalb der vier zu betrachtenden Bereiche des RZV sowie zur Reduktion des vorhandenen Datenbestandes ist die Analyse auf den Zeitraum vom 11. bis 15.04.2005 begrenzt worden. Zur Qualitätssicherung fanden bereits im Vorfeld der Datenerhebung mehrere Informationsveranstaltungen mit den Mitarbeitern statt. Durch einen zeitnahen Rücklauf der Daten konnten darüber hinaus auftretende Fragen und Unklarheiten beseitigt werden.

Die Mitarbeiter führten im Erfassungszeitraum ein „erweitertes Fahrtenbuch“ (siehe Abbildung 3). Dies beinhaltete

- Name, Datum, Kfz,
- Ort des Fahrtbeginns und -ende,
- Abfahrtszeit, Ankunftszeit, Zielort, Straße, Tätigkeit
- weitere Mitarbeiter, Kunden und zeitliche Einschränkungen.

Erweitertes Fahrtenbuch

Name: [REDACTED] Datum: 11.04.2005
 Fahrzeug: GC-NB
 Ort Fahrtbeginn: GC 7⁰⁰

Abfahrt	Ankunft	Zielort	Straße	Tätigkeit	notwendige Mitarbeiter / Kunden	zeitliche Einschränkung
7 ⁰⁰	7 ¹⁵	Merano	Seb. Bach-Str.	Baustellüberwachung		
8 ⁰⁰	8 ¹⁵	GC	MB			
9 ⁴⁵	10 ⁰⁰	Merano	Leipzig Str.	RB-Sunde		
11 ¹⁰	11 ²⁰	Merano	Fuchslog 14	Kundenkenn. A1	Kunde	
11 ³⁰	12 ⁰⁰	GC	MB			
12 ³⁰	12 ⁴⁵	Merano	Leipzig Str.	RB-Sunde	Herr Herr	
14 ⁴⁵	15 ⁰⁰	GC	MB			

Ort Fahrtende: GC 15⁰⁰ Ankunftszeit: 15⁰⁰ Uhr

Erläuterungen:

Abfahrt: Abfahrtszeit
 Ankunft: Ankunftszeit
 Ort: Name der Stadt / Gemeinde
 Straße: Straßennamen
 Tätigkeit: Tätigkeit
 notwendige Mitarbeiter: notwendige Mitarbeiter
 zeitliche Einschränkung: zeitliche Einschränkung
 Tätigkeitsbeschreibung am Zielort (z.Bsp. Bauüberwachung, Wasser absagen, ...) für die Durchführung der Tätigkeit erforderliche weitere Mitarbeiter oder Kunden
 Terminvereinbarung mit Kunde / Baufirmen o.ä.

Abb. 3: Formblatt „Erweitertes Fahrtenbuch“

Insgesamt wurden im Monat April 939 Erfassungsblätter mit über 4000 Einzelfahrten durch die Servicemitarbeiter erfasst. Im für das Projekt gewählten Auswertezentrum vom 11. bis 15.04.2005 sind 1015 Fahrten auf 236 Erfassungsblättern zu berücksichtigen. Diese Daten wurden zur Analyse in eine Excel-Tabelle übernommen.

Die Zeiträume zwischen den Fahrten werden im Weiteren als Tätigkeiten betrachtet. Auf dieser Grundlage erfolgte die Extraktion von 748 Außendiensttätigkeiten, wobei Tätigkeiten innerhalb der Bereitschaftszeit sowie von den Meistern durchgeführte Tätigkeiten nicht berücksichtigt wurden. Dies ist zum einen durch Besonderheiten (Einzelfahrten vom Wohnort, Havariesituation außerhalb der Arbeitszeit) und zum anderen durch die vom Meister durchgeführten Leitungs- und Kontrolltätigkeiten bedingt. Die auf den Formblättern gemachten Angaben zu Pausen werden nicht als Tätigkeiten erfasst. Gegebenenfalls dazugehörige Fahrten werden in der Analyse des Ist-Zustandes berücksichtigt. Den Tätigkeiten wurden 44 Ressourcen (Kfz) zugeordnet.

3.2.2 Datenaufbereitung

Im RZV stehen keine Geobasisdaten des Straßennetzes zur Verfügung, so dass die folgenden Berechnungen auf Basis euklidischer Entfernungen erfolgten. Ziel dieses Arbeitsschrittes ist neben der Datenaufbereitung für den teilautomatisierten Import in das Datenmodell das Finden eines mathematischen Zusammenhanges zwischen Fahrtzeit und euklidischer Entfernung.

Den erfassten Fahrten wurden zu diesem Zweck unter Zuhilfenahme der im GIS hinterlegten Topographischen Karten 1:10.000 die jeweiligen euklidischen Entfernungen zugeordnet (siehe Abbildung 4).

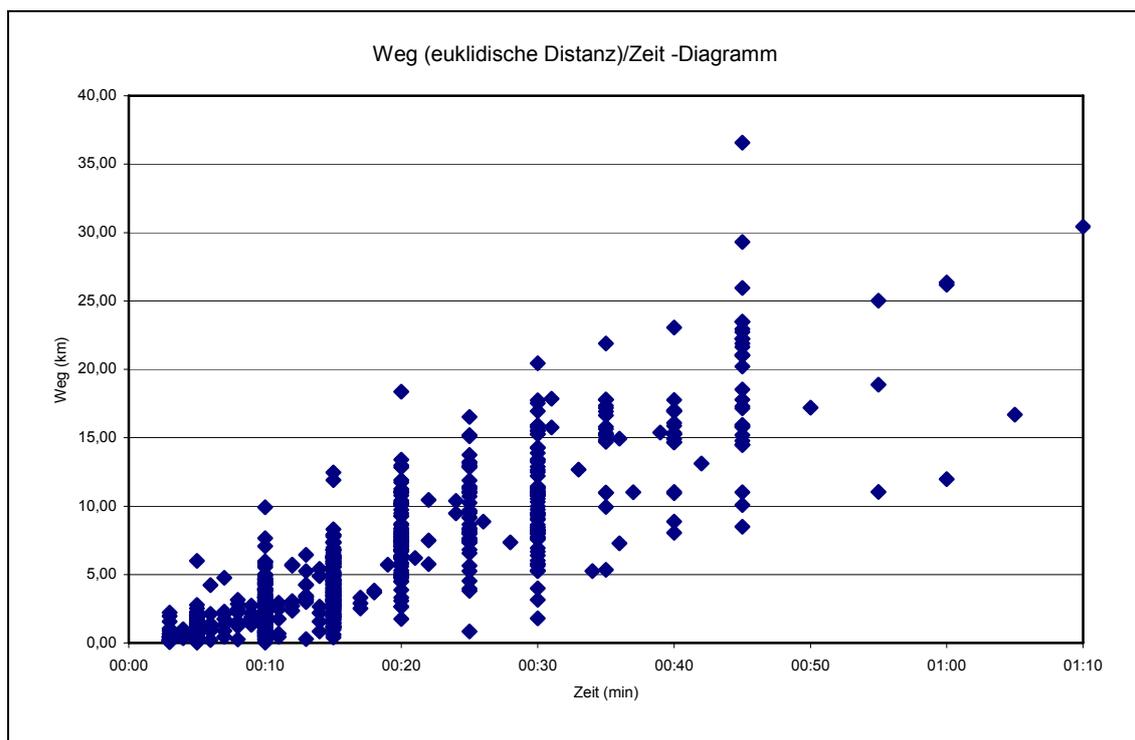


Abb. 4: Weg-Zeit-Diagramm der erfassten Fahrten

Darauf aufbauend wurden Mittelwerte der auf volle 5 Minuten aufgerundeten Fahrtzeiten berechnet und ein Trend ermittelt (siehe Abbildung 5).

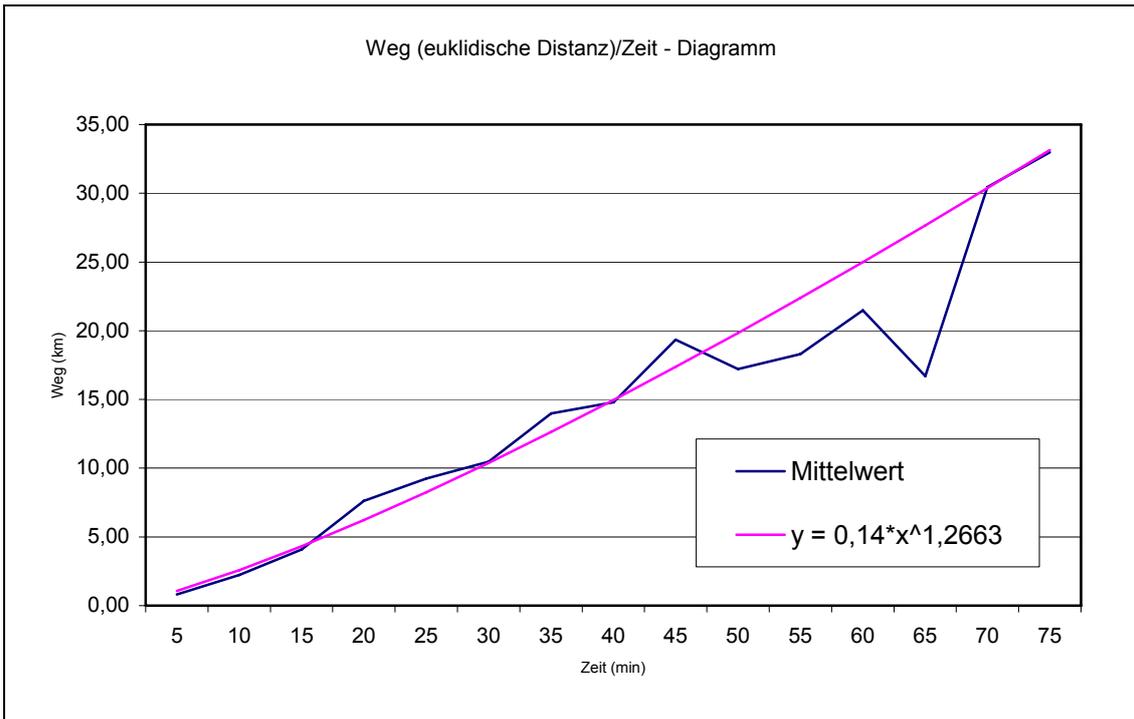


Abb. 5: Weg-Zeit-Diagramm und Mittelwert

Die Funktion der Trendlinie

$$t_{\text{fahrt}} = \left(\frac{l_{\text{eukl}}}{0,14} \right)^{\frac{1}{1,2663}}$$

t_{fahrt} = Fahrzeit

l_{eukl} = euklidische Entfernung zwischen zwei aufeinander folgenden Tätigkeiten

wird im Datenmodell als automatische Berechnung der Fahrzeit hinterlegt.

Die Abweichungen der Mittelwerte zur Trendlinie im Bereich von Fahrzeiten zwischen 50 und 65 Minuten ist im Wesentlichen auf die geringe Anzahl der Fahrten zurückzuführen. Die Analyse der betreffenden Fahrten (lange Fahrzeit/geringe Fahrtstrecke) lässt auf Fahrtunterbrechungen (Mittagspause) bzw. Fehler in der Aufschreibung schließen.

Alle extrahierten Tätigkeiten und zugehörigen Ressourcen wurden in strukturierte Textdateien ausgegeben, die eine teilautomatisierte Übernahme in das SMALLWORLD-GIS ermöglichen (siehe Abbildung 6).

172	Bauüberwachung		11.04.05 11:12:00	11.04.05 11:19:00
false	Neuwürschnitz Sandstraße---	GC-NB27		
173	Bauüberwachung		11.04.05 11:27:00	11.04.05 11:41:00
false	Oelsnitz Grüner Winkel---	GC-NB27		
174	Netzarbeiten		11.04.05 11:46:00	11.04.05 11:59:00
false	Niederwürschnitz Glück-Auf-Straße---	GC-NB27		
175	Netzarbeiten		11.04.05 12:06:00	11.04.05 12:19:00
false	Neuwürschnitz Hartensteiner Straße---Baer	GC-NB27		
176	Druckmessung		11.04.05 12:23:00	11.04.05 12:59:00
false	Neuwürschnitz Sandstraße---Baer	GC-NB27		
177	Bauüberwachung		11.04.05 13:11:00	11.04.05 13:20:00
false	Oelsnitz Badstraße---	GC-NB27		
179	HA-Beseitigung		11.04.05 09:30:00	11.04.05 10:45:00
true	Stollberg Bauernweg---	GC-NB48		

Abb. 6: Auszug aus der GIS-Importdatei „Tätigkeiten“

Den Import der Tätigkeiten und Ressourcen in das SMALLWORLD-GIS übernimmt jeweils eine Magik-Methode (siehe Anlagen 2 und 3).

Die Erfassung der Fahrten zwischen den Tätigkeiten bzw. den Depots wurde manuell durchgeführt.

3.2.3 Modellbildung

Die Abbildung des Datenmodells erfolgte innerhalb des SMALLWORLD-GIS des RZV. Im Wesentlichen kam dabei das im GIS integrierte CASE-Tool zum Einsatz. Notwendige Methoden und Objektdefinitionen wurden in MAGIK geschrieben (siehe Anlage 1).

Folgende Tabellen wurden abgebildet:

RESSOURCE := *Id, Name, Bereich, Nutzung

TAETIGKEIT := *Id, Name, Beginn, Ende, Dauer, Havarie/Kunde, Bemerkung, Position

FAHRT := *Id, Dauer, Länge, Position

Zwischen Ressource und Tätigkeit besteht eine m:n – Beziehung.

Die Dauer einer Fahrt wird anhand der in o.g. Abschnitt beschriebenen Formel in einem logischen Feld des Datenmodells berechnet. Die Formulierung in MAGIK:

```
_method rs_mt_fahrt.dauer
##
##
l << _self.laenge
l << l/1000
d << (l/0.14)**(1/1.2663)
_return(d)

_endmethod
```

Wobei `_self.laenge` der Variablen `l` die euklidische Distanz zwischen zwei Tätigkeiten in Metern zuweist.

Das folgende Entity-Relationship-Diagramm (ER-Diagramm – Abbildung 7) stellt das Datenmodell graphisch dar:

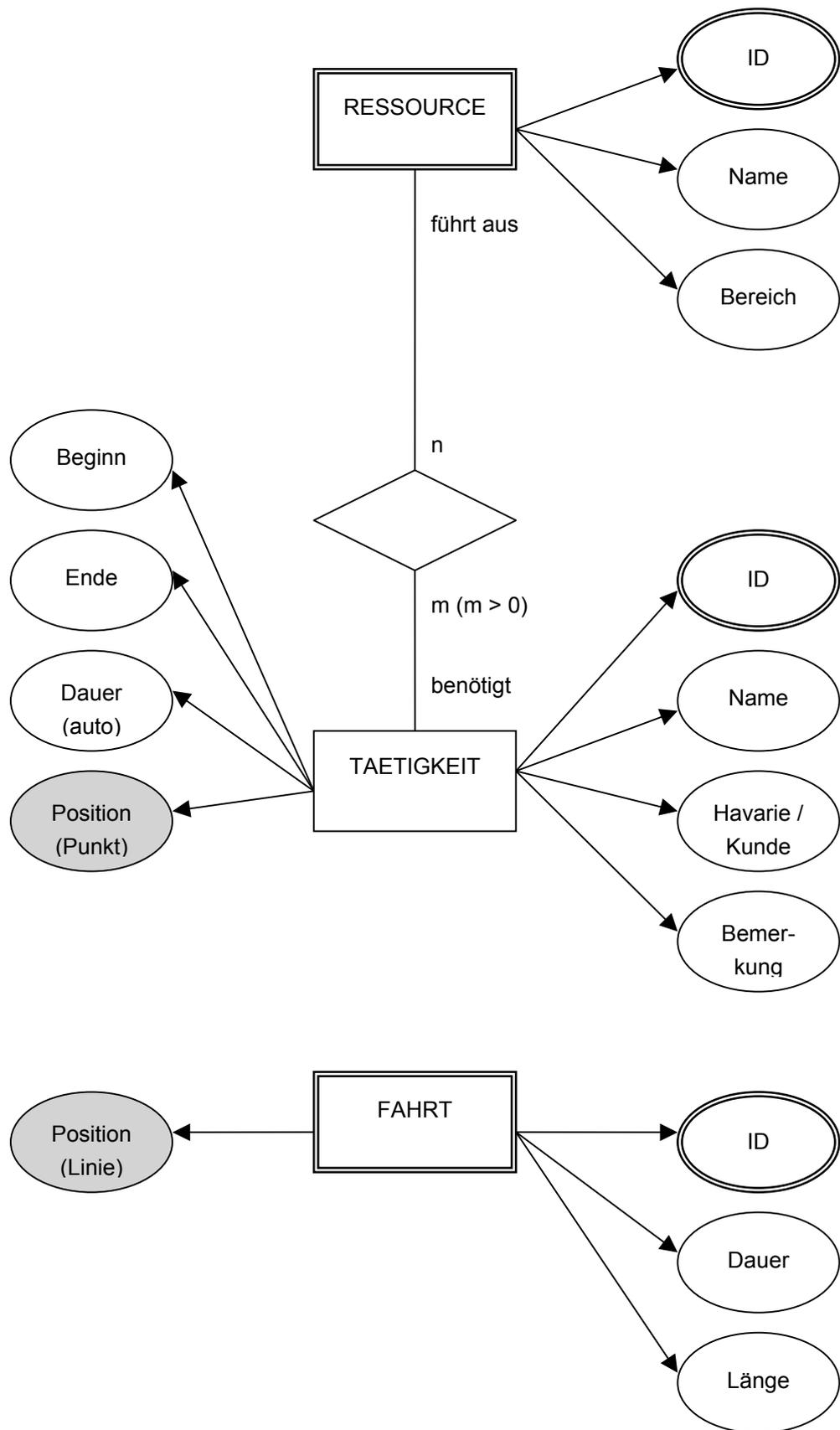


Abb. 7: ER-Diagramm des Datenmodells

3.3 *Ist-Analyse, Optimierung und Verifizierung*

3.3.1 *Ist-Analyse*

Im Auswertezeitraum vom 11. bis 15.04.2005 sind 1015 Fahrten zu 748 Außendiensttätigkeiten erfasst worden. Daraus resultieren 267 Touren (Rundreisen Depot – Tätigkeit(en) – Depot). Eine durchschnittliche Tour besteht dementsprechend aus rund 2,8 Tätigkeiten.

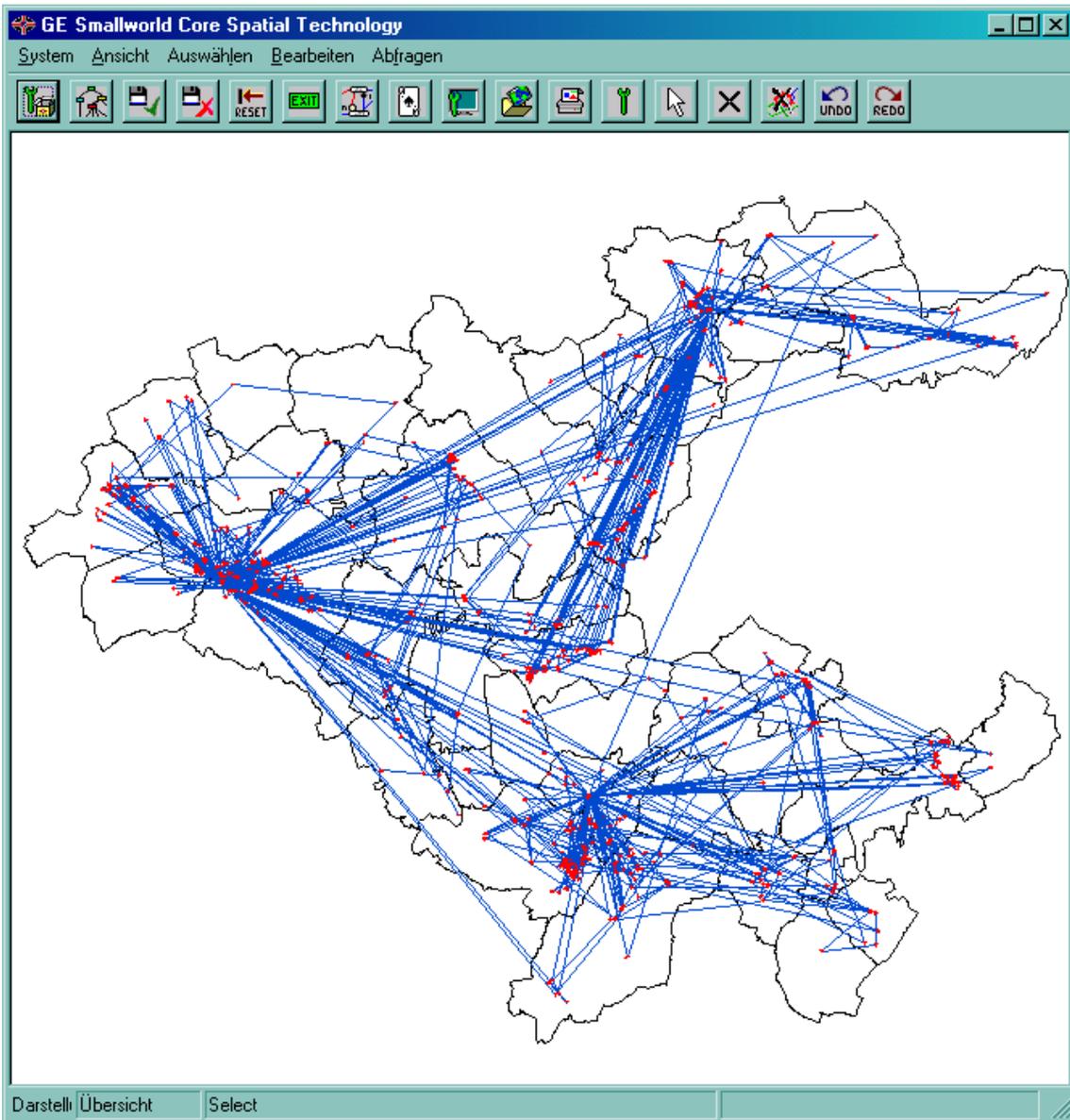


Abb. 8: SMALLWORLD-GIS mit Darstellung Tätigkeiten und Fahrten

Die im Datenbestand errechneten euklidischen Distanzen betragen 5.211 Kilometer. Dies entspricht einer Gesamtfahrtzeit von 16.099 Minuten (268 Stunden).

Die tatsächlich durch Selbstaufschreibung erfasste Fahrtzeit beträgt 16.270 Minuten. Aus der Differenz von Selbstaufschreibung und Berechnung resultiert ein Fehler von

271 Minuten (1,06 %). Dieser ist auf die verwendete Verallgemeinerung der im Abschnitt Datenaufbereitung beschriebenen Formel zurückzuführen.

3.3.2 Optimierung

Die Optimierung der Fahrten erfolgt innerhalb der beschriebenen drei Szenarien:

- a) Optimierung des Ist-Zustandes.
- b) Reduktion der Depotanzahl auf den Hauptsitz des Unternehmens unter Beibehaltung der Struktur.
- c) Reduktion der Depotanzahl auf den Hauptsitz des Unternehmens unter Zusammenfassung der einzelnen Bereiche.

Die Lösung der Problemstellung besteht im Finden eines kürzesten Weges unter Berücksichtigung von Zeitfenstern. Dabei wird die Zielstellung Minimierung der Fahrzeiten verfolgt. Ausgehend von einem Startknoten (Depot) werden die in einem definierten Zeitfenster erreichbaren Knoten (Kandidatenliste) gewählt. Dabei gilt:

$$a_j \geq t_{start} + d_{ij} - t_{tw}, \quad b_j \leq t_{start} + d_{ij} + T_j + t_{tw} \quad \text{mit}$$

a_j, b_j	frühest-, spätmöglichste Ankunfts-, Endzeit am Knoten J,
d_{ij}	positive Dauer für die Entfernung von i nach j
t_{start}	Startzeit,
T_j	Servicezeit am Knoten J und
t_{tw}	Zeit zur Erweiterung der Zeitfenster.

Aufbauend auf dieser Kandidatenliste wird der nachfolgende Knoten gewählt. Die Auswahl eines geeigneten Knotens erfolgt über ein modifiziertes heuristisches Verfahren auf Basis „Bester Nachfolger“. Die Modifikation dieses Verfahrens besteht in der Verwendung einer gewichteten Summe aus einer Richtungskomponente (Polarwinkel β_{voj}) und der euklidischen Distanz c_{ij} . Für das Distanzgewicht λ werden innerhalb der Optimierung mehrere Werte getestet. Es wird der Knoten gewählt, für den gilt:

$$\Delta := \min \sum_j^n (abs(\beta_{voj}) + \lambda * c_{ij}) \quad \text{mit}$$

β_{voj}	Polarwinkel zwischen Depot und Knoten J,
λ	Distanzgewicht und
c_{ij}	euklidische Distanz zwischen Knoten I und J.

Die Planung einer Route erfolgt so, dass der Algorithmus zwischen existierenden Zeitfenstern einen realisierbaren Weg sucht und die Zeitbeschränkungen (Arbeitszeit, Pausen) einhält.

Es werden zwei Kategorien von Zeitfenstern definiert, die mit unterschiedlichen durchzuführenden Tätigkeiten verbunden sind:

- Zeitfenster für Tätigkeiten mit Kundenterminen, Havarien sowie Tätigkeiten, die mehrere Mitarbeiter erfordern und
- Zeitfenster aller anderen Tätigkeiten.

Diesen zwei Kategorien wird mit der Bildung von variablen Zeitfenstern entsprochen. Während Tätigkeiten der ersten Kategorie ein nur geringfügig verschiebbares Zeitfenster von 10 Minuten erhalten, können Tätigkeiten der zweiten Kategorie in einem breiteren Bereich verschoben werden. Die Breite dieses Bereiches kann als Maß für die Planbarkeit der Tätigkeit interpretiert werden. Der nachfolgend beschriebene Algorithmus wird mit Zeitfenstern von 60, 120, 180, 240 und 300 Minuten durchlaufen. Die Festlegung eines Maximums von 300 Minuten stellt sicher, dass der grobe zeitliche Ablauf der Tätigkeiten erhalten bleibt.

Der Algorithmus wird mit Distanzgewicht λ innerhalb eines Wertebereichs von 0 bis $4e^{-6}$ im Abstand von $0,1e^{-6}$ getestet. Während der Wert 0 lediglich die Richtungskomponente (Polarwinkel β_{voj}) berücksichtigt, führen Werte oberhalb $4e^{-6}$ zu keiner Verbesserung des Ergebnisses. Das hohe Distanzgewicht führt in diesem Fall zu einer Vernachlässigung der Richtungskomponente und zu stabilen Ergebnissen. Der Algorithmus wird auf das ursprüngliche Verfahren „Bester Nachfolger“ reduziert.

Pausen werden in der Zeit zwischen 08:30 und 10:30 Uhr (Frühstück – 15 Minuten) und 11:45 und 13:15 Uhr (Mittag – 30 Minuten) berücksichtigt, wenn die bisherige Tour mindestens 60 Minuten dauert.

Die Auswahl der Tätigkeiten zur Bildung der beschriebenen Szenarien erfolgt über eine Abfrage (SMALLWORLD-GIS Objekt-Abfrage).

Der nachfolgend abgebildete Programmablaufplan stellt den unten beschriebenen Algorithmus grafisch dar. Der in Magik umgesetzte Source-Code ist in Anlage 4 dargestellt.

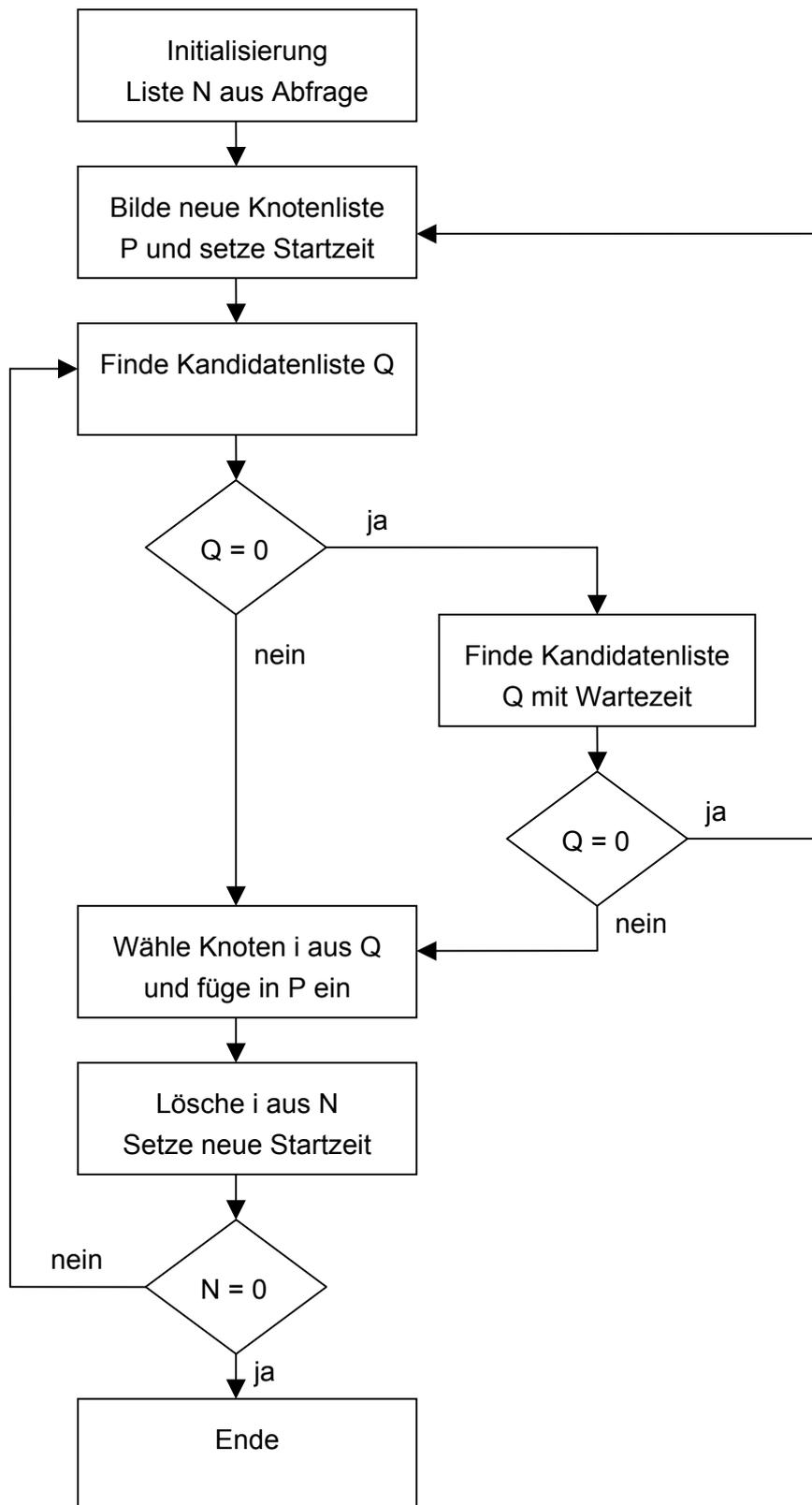


Abb. 9: Programmablauf

Definitionen

Im Folgenden werden die in den Algorithmen verwendeten Definitionen aufgelistet:

$G = (N, A, c)$	gerichteter, bewerteter Graph mit Knotenmenge N, Kantenmenge A und Kostenbewertung c (Länge)
(i, j)	Kante zwischen Knoten i und j
v_0	Depot (Startknoten)
c_{ij}	Entfernung von i nach j
d_{ij}	positive Dauer für die Entfernung von i nach j
β_{v_0j}	Polarwinkel zwischen Depot (Startknoten) und Knoten J,
λ	Distanzgewicht
T_i	Servicezeit am Knoten i
a_i	frühester möglicher Beginn an Knoten i
b_i	spätestes mögliches Ende an Knoten i
t_{start}	Startzeit
t_{max}	Maximale tägliche Arbeitszeit
t_{tw}	Zeit zur Erweiterung der Zeitfenster
t_w	Maximale Wartezeit

Algorithmus

Voraussetzung für den beschriebenen Algorithmus ist ein gerichteter, bewerteter Graph mit Knotenmenge N, Kantenmenge A und Kostenbewertung c (Länge). Es wird eine euklidische Distanzmessung verwendet. Die Dauer der Fahrt zwischen zwei Knoten wird nach Formel

$$t_{fahrt} = \left(\frac{l_{eukl}}{0,14} \right)^{\frac{1}{1,2663}} \text{ berechnet.}$$

a) Initialisierung

Hole N aus aktueller Abfrage

Setze Depot (v_0) und entferne Depot aus N

b) Bilde neue Knotenliste P und setze Startzeit

$$P = [v_0, v_0]$$

$$t_{start} = \min\{a_i\} - d_{v_0i}$$

- c) Finde Kandidatenliste Q innerhalb des Zeitfensters und ohne die maximale Arbeitszeit zu überschreiten.

$$Q := v_1, \dots, v_n$$

$$v \in N, v \neq v_0,$$

$$a_j \geq t_{start} + d_{ij} - t_{tw}, b_j \leq t_{start} + d_{ij} + T_j + t_{tw} \text{ und } t_{max} \leq \sum_{i=1}^n T_i + \sum_{i=0}^n d_{ij} + d_{jvo}$$

- d) Wenn Kandidatenliste leer ist ($Q = \emptyset$), dann erweitere das Zeitfenster um Wartezeit und prüfe ob sich Knoten im neuen Zeitfenster befinden.

$$a_j \geq t_{start} + d_{ij} - t_{tw} - t_w, b_j \leq t_{start} + d_{ij} + T_j + t_{tw} + t_w \text{ und } t_{max} \leq \sum_{i=1}^n T_i + \sum_{i=0}^n d_{ij} + d_{jvo}$$

Wenn $Q = \emptyset$ dann gehe zu Schritt b.

- e) Wähle einen Knoten i aus Kandidatenliste, der die geringste Längenänderung der Tour bewirkt und füge den Knoten an vorletzter Stelle in Knotenliste p ein.

$$\Delta := \min_j \sum_j (abs(\beta_{voj}) + \lambda * c_{ij})$$

Entferne Knoten i aus N.

- f) Setze eine neue Startzeit, addiere Pausen nach Vorgabe und gehe zu Schritt c.

$$t_{start} = t_{start} + d_{ij} + T_i$$

Gehe zu Schritt c

3.3.2.1 Szenarien

Die beschriebenen Szenarien werden im Programmanlauf durch Modifikationen der Objekt-Abfrage (Initialisierung) durchgeführt. Dadurch ist eine flexible Definition der Szenarien möglich, ohne den zugrunde liegenden Algorithmus zu modifizieren. Die Abfragen müssen lediglich so gestaltet sein, dass nur ein Depot im Ergebnis der Abfrage enthalten ist. Dementsprechend erfolgt ein viermaliger Durchlauf für das Szenarium „Optimierung des Ist-Zustandes“ (4 Depots).

3.3.2.2 Szenarium a „Optimierung des Ist-Zustandes“

Innerhalb der Optimierung des Ist-Zustandes sind die vier Bereiche des RZV (Nord, Süd, West und Hausanschlusswesen) gesondert mit ihren jeweiligen Depots in Burgstädt, Lugau, Glauchau sowie ebenfalls Glauchau für den Fachbereich Hausanschlusswesen zu betrachten.

Abfragen (in SMALLWORLD-Syntax):

```
|MT Tätigkeit| where count ( |Ressource(n)|  
where Bereich = "VB Nord" ) > 0  
or Bemerkung = "DEPOT Burgstädt"
```

```
|MT Tätigkeit| where count ( |Ressource(n)|  
where Bereich = "VB West" ) > 0  
or Bemerkung = "DEPOT Glauchau"
```

```
|MT Tätigkeit| where count ( |Ressource(n)|  
where Bereich = "VB Sued" ) > 0  
or Bemerkung = "DEPOT Lugau"
```

```
|MT Tätigkeit| where count ( |Ressource(n)|  
where Bereich = "FB HA-Wesen" ) > 0  
or Bemerkung = "DEPOT Glauchau"
```

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Optimierung des Ist-Zustandes. Die Minimalwerte sind gelb unterlegt.

Zeitfenster / λ	eukl. Distanz (in km)					Dauer (in min)				
	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300
0,0E+00	5182	5137	5108	5239	5031	15351	15225	15164	15449	14839
1,0E-07	4404	4280	4229	4080	4002	13354	13020	12881	12388	12186
2,0E-07	4371	4241	4130	4104	3915	13245	12790	12524	12396	11861
3,0E-07	4251	4275	4163	3977	3794	12894	12868	12568	12047	11532
4,0E-07	4446	4338	4144	4034	3851	13381	13031	12498	12186	11656
5,0E-07	4327	4146	4107	4046	3859	13114	12593	12375	12205	11669
6,0E-07	4259	4211	4158	4023	3865	12929	12726	12497	12113	11664
7,0E-07	4220	4220	4172	4020	3850	12832	12741	12555	12121	11631
8,0E-07	4210	4237	4097	3969	3840	12787	12783	12338	11994	11599
9,0E-07	4187	4143	4148	3952	3836	12674	12514	12473	11933	11583
1,0E-06	4234	4204	4091	3993	3857	12761	12685	12332	12052	11625
1,1E-06	4202	4096	4065	4036	3869	12701	12384	12268	12149	11658
1,2E-06	4244	4068	4109	4041	3871	12818	12315	12374	12161	11666
1,3E-06	4228	4065	4109	4060	3901	12784	12306	12389	12205	11746
1,4E-06	4298	4130	4174	4041	3861	12965	12485	12553	12150	11640
1,5E-06	4290	4163	4128	4005	3861	12941	12571	12438	12059	11635
1,6E-06	4377	4140	4116	4000	3869	13172	12508	12403	12043	11662
1,7E-06	4348	4139	4121	3994	3837	13077	12508	12427	12032	11591
1,8E-06	4347	4140	4116	4025	3837	13076	12505	12416	12117	11584
1,9E-06	4351	4154	4037	3901	3804	13086	12537	12174	11789	11493
2,0E-06	4356	4156	4053	3891	3799	13098	12540	12227	11767	11487
2,1E-06	4370	4168	4088	3960	3799	13134	12579	12319	11949	11487
2,2E-06	4370	4142	4102	3957	3791	13134	12491	12373	11937	11461
2,3E-06	4386	4118	4108	3957	3791	13170	12457	12388	11937	11461
2,4E-06	4388	4118	4108	3973	3791	13174	12457	12388	11982	11453
2,5E-06	4395	4136	4101	3954	3772	13185	12510	12364	11939	11409
2,6E-06	4359	4085	4153	3954	3772	13095	12378	12508	11939	11409
2,7E-06	4359	4085	4158	3935	3772	13095	12378	12526	11892	11409
2,8E-06	4349	4085	4158	3931	3772	13076	12378	12526	11882	11409
2,9E-06	4349	4154	4149	3921	3802	13076	12563	12502	11858	11484
3,0E-06	4285	4119	4167	3923	3810	12917	12486	12549	11863	11508
3,1E-06	4313	4119	4167	3923	3810	12985	12486	12549	11863	11508
3,2E-06	4314	4167	4125	3925	3812	12990	12601	12435	11870	11518
3,3E-06	4315	4186	4147	3975	3824	12991	12654	12493	11994	11545
3,4E-06	4315	4189	4161	3975	3824	12991	12676	12531	11994	11545
3,5E-06	4316	4171	4167	3975	3824	13000	12628	12559	11994	11545
3,6E-06	4271	4143	4167	3975	3824	12861	12558	12559	11994	11545
3,7E-06	4271	4143	4233	3932	3807	12861	12558	12721	11890	11491
3,8E-06	4271	4143	4233	3932	3803	12861	12558	12721	11890	11479
3,9E-06	4319	4149	4228	3925	3803	12981	12587	12703	11867	11479
4,0E-06	4319	4149	4228	3925	3803	12981	12587	12703	11867	11479

Tab. 1: Ergebnistabelle Szenarium a

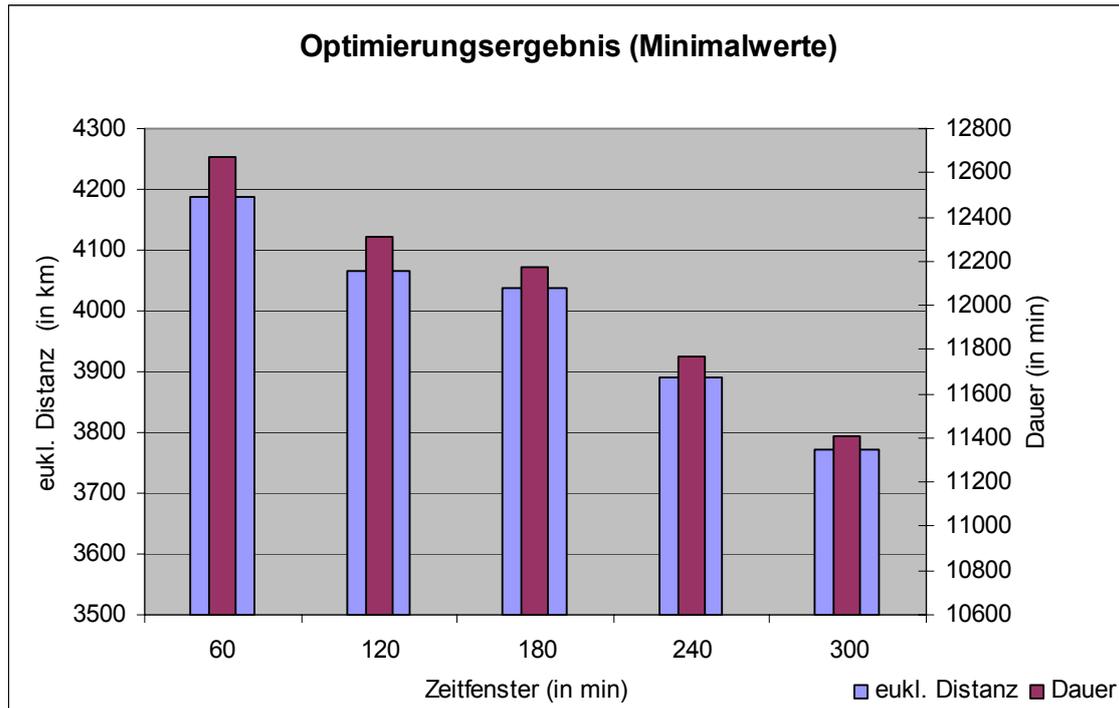


Abb. 10: Diagramm Optimierungsergebnis Szenarium a

3.3.2.3 Szenarium b

„Reduktion der Depotanzahl auf den Hauptsitz des Unternehmens unter Beibehaltung der Struktur“

Das Szenarium bildet eine mögliche Zentralisierung der Bereiche des RZV auf den Hauptsitz in Glauchau ab. Dabei bleibt die Struktur aus drei Versorgungsbereichen und dem Fachbereich Hausanschlusswesen erhalten. Im Unterschied zum vorhergehenden Szenarium wird bei den zu bildenden Abfragen das Depot Glauchau als Start- und Zielpunkt verwendet.

Abfragen (in SMALLWORLD-Syntax):

```
|MT Tätigkeit| where count ( |Ressource(n)|
where Bereich = "VB Nord" ) > 0
or Bemerkung = "DEPOT Glauchau"
```

```
|MT Tätigkeit| where count ( |Ressource(n)|
where Bereich = "VB West" ) > 0
or Bemerkung = "DEPOT Glauchau"
```

```
|MT Tätigkeit| where count ( |Ressource(n)|
where Bereich = "VB Sued" ) > 0
or Bemerkung = "DEPOT Glauchau"
```

```
|MT Tätigkeit| where count ( |Ressource(n)|
where Bereich = "FB HA-Wesen" ) > 0
or Bemerkung = "DEPOT Glauchau"
```

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Optimierung bei Reduktion der Depotanzahl auf den Hauptsitz des Unternehmens unter Beibehaltung der Struktur. Die Minimalwerte sind gelb unterlegt.

Zeitfenster / λ	eukl. Distanz (in km)					Dauer (in min)				
	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300
0,0E+00	6850	6548	6343	6565	6363	19033	18311	17772	18295	17708
1,0E-07	6030	5696	5417	5326	5208	16895	16026	15300	15031	14718
2,0E-07	5761	5536	5302	5312	5192	16242	15562	15030	14981	14643
3,0E-07	5658	5636	5216	5318	5130	15929	15828	14785	14946	14480
4,0E-07	5692	5580	5364	5329	5137	15988	15726	15143	14987	14486
5,0E-07	5799	5573	5300	5293	5163	16289	15717	14984	14891	14540
6,0E-07	5622	5611	5381	5249	5181	15831	15808	15166	14763	14542
7,0E-07	5586	5611	5355	5256	5194	15756	15821	15098	14796	14573
8,0E-07	5594	5600	5281	5278	5227	15774	15782	14899	14868	14672
9,0E-07	5551	5471	5319	5248	5227	15633	15448	14999	14789	14678
1,0E-06	5594	5487	5280	5239	5222	15718	15503	14888	14767	14660
1,1E-06	5563	5453	5267	5238	5221	15659	15422	14870	14764	14658
1,2E-06	5557	5440	5261	5245	5204	15642	15391	14850	14785	14614
1,3E-06	5557	5379	5296	5266	5222	15640	15232	14914	14836	14662
1,4E-06	5639	5410	5362	5255	5270	15848	15342	15082	14810	14755
1,5E-06	5632	5420	5275	5217	5273	15826	15366	14888	14717	14759
1,6E-06	5664	5393	5274	5216	5276	15911	15297	14886	14716	14771
1,7E-06	5604	5392	5300	5199	5241	15745	15295	14967	14665	14696
1,8E-06	5604	5393	5294	5231	5249	15745	15294	14955	14753	14719
1,9E-06	5608	5417	5287	5172	5257	15755	15354	14927	14588	14725
2,0E-06	5613	5419	5287	5162	5253	15767	15357	14927	14567	14718
2,1E-06	5635	5424	5287	5162	5253	15821	15371	14927	14567	14718
2,2E-06	5635	5402	5324	5159	5244	15821	15306	15034	14555	14692
2,3E-06	5636	5382	5361	5159	5244	15823	15263	15111	14555	14692
2,4E-06	5638	5382	5361	5179	5244	15827	15263	15111	14608	14692
2,5E-06	5644	5398	5354	5197	5237	15838	15310	15087	14652	14672
2,6E-06	5609	5348	5354	5197	5237	15748	15182	15087	14652	14672
2,7E-06	5609	5348	5359	5178	5237	15748	15182	15104	14605	14672
2,8E-06	5633	5348	5359	5178	5237	15815	15182	15104	14605	14672
2,9E-06	5633	5340	5350	5170	5237	15814	15161	15080	14587	14672
3,0E-06	5633	5344	5350	5170	5255	15814	15173	15080	14587	14720
3,1E-06	5633	5344	5350	5169	5255	15814	15173	15080	14585	14720
3,2E-06	5634	5391	5350	5169	5255	15820	15292	15080	14585	14720
3,3E-06	5634	5411	5372	5185	5255	15820	15343	15138	14624	14720
3,4E-06	5634	5411	5372	5185	5255	15820	15343	15138	14624	14720
3,5E-06	5636	5392	5379	5185	5255	15827	15296	15167	14624	14720
3,6E-06	5591	5364	5379	5185	5255	15689	15225	15167	14624	14720
3,7E-06	5591	5364	5393	5185	5255	15689	15225	15201	14624	14720
3,8E-06	5591	5364	5393	5185	5251	15689	15225	15201	14624	14708
3,9E-06	5593	5364	5388	5178	5251	15692	15225	15183	14601	14708
4,0E-06	5593	5364	5388	5178	5251	15692	15225	15183	14601	14708

Tab. 2: Ergebnistabelle Szenarium b

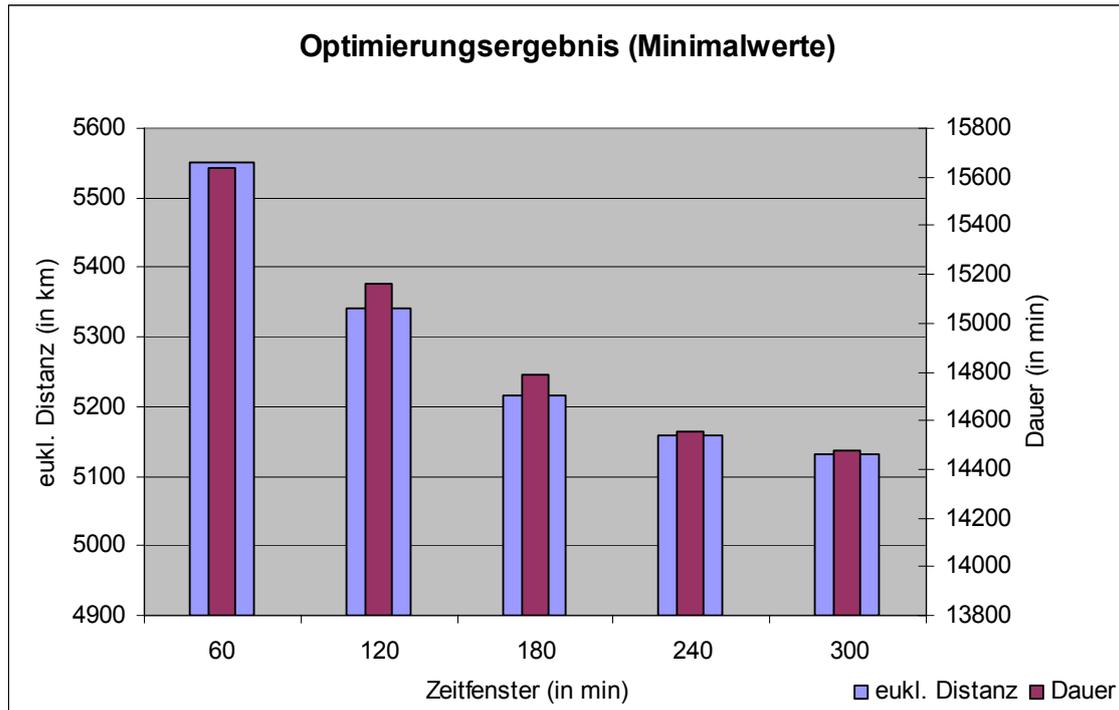


Abb. 11: Diagramm Optimierungsergebnis Szenarium b

3.3.2.4 Szenarium c

„Reduktion der Depotanzahl auf den Hauptsitz des Unternehmens unter Zusammenfassung der einzelnen Bereiche“

Das Szenarium löst die bisherigen Strukturen des RZV auf und bildet eine mögliche Struktur ab, in der alle Außendienstmitarbeiter im gesamten Versorgungsgebiet eingesetzt werden können.

Abfrage (in SMALLWORLD-Syntax):

```
|MT Tätigkeit| where count ( |Ressource(n)| ) > 0
or Bemerkung = "DEPOT Glauchau"
```

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Optimierung bei Reduktion der Depotanzahl auf den Hauptsitz des Unternehmens unter Zusammenfassung der einzelnen Bereiche. Die Minimalwerte sind gelb unterlegt.

Zeitraum / λ	eukl. Distanz (in km)					Dauer (in min)				
	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300
0,0E+00	8791	8677	8741	8532	8704	23541	23101	23331	22720	23073
1,0E-07	4852	4700	4443	4609	4419	13814	13487	12790	13105	12638
2,0E-07	4491	4483	4338	4208	4244	12925	12916	12511	12107	12101
3,0E-07	4601	4502	4459	4058	4050	13203	12947	12809	11733	11701
4,0E-07	4407	4511	4510	4333	4076	12766	12945	12910	12394	11685
5,0E-07	4397	4454	4289	4222	4094	12726	12814	12399	12149	11763
6,0E-07	4441	4498	4411	4126	4037	12825	12894	12600	11851	11610
7,0E-07	4421	4446	4465	4260	3973	12740	12803	12760	12202	11485
8,0E-07	4524	4394	4411	4229	3989	12975	12606	12612	12107	11556
9,0E-07	4670	4287	4506	4236	4077	13311	12352	12853	12148	11748
1,0E-06	4657	4510	4353	4159	3900	13252	12966	12478	11978	11323
1,1E-06	4576	4393	4473	4157	4114	13117	12638	12798	11969	11821
1,2E-06	4624	4553	4302	4230	4007	13250	13092	12328	12089	11590
1,3E-06	4578	4528	4319	4230	3990	13134	13042	12397	12099	11540
1,4E-06	4668	4304	4237	4183	4057	13306	12419	12180	11991	11677
1,5E-06	4775	4473	4345	4248	4054	13574	12782	12471	12138	11666
1,6E-06	4775	4432	4344	4272	3928	13574	12700	12464	12228	11349
1,7E-06	4775	4432	4344	4255	3949	13574	12700	12464	12180	11419
1,8E-06	4703	4404	4365	4168	3949	13392	12637	12523	11970	11419
1,9E-06	4514	4444	4232	4230	3952	12977	12770	12213	12118	11430
2,0E-06	4683	4482	4232	4197	3950	13350	12883	12213	12050	11423
2,1E-06	4482	4482	4311	4150	3975	12877	12883	12394	11932	11477
2,2E-06	4480	4474	4311	4150	3973	12855	12873	12393	11931	11467
2,3E-06	4438	4474	4311	4150	3973	12754	12873	12393	11931	11467
2,4E-06	4450	4463	4356	4100	4012	12771	12846	12519	11816	11565
2,5E-06	4450	4463	4357	4100	4032	12771	12846	12520	11816	11603
2,6E-06	4450	4464	4218	4100	4125	12771	12849	12159	11816	11831
2,7E-06	4421	4377	4216	4117	4125	12739	12617	12147	11878	11831
2,8E-06	4358	4377	4216	4117	4125	12600	12617	12147	11878	11831
2,9E-06	4358	4353	4241	4117	4125	12600	12579	12215	11878	11831
3,0E-06	4360	4462	4259	4117	4125	12585	12843	12260	11878	11831
3,1E-06	4359	4462	4259	4117	4125	12567	12843	12260	11878	11831
3,2E-06	4372	4570	4259	4117	4125	12611	13088	12260	11878	11831
3,3E-06	4372	4570	4259	4155	4141	12611	13088	12260	11940	11847
3,4E-06	4372	4570	4259	4155	4079	12611	13088	12260	11940	11674
3,5E-06	4372	4569	4239	4165	4079	12611	13085	12196	11981	11674
3,6E-06	4372	4569	4234	4165	4079	12611	13085	12182	11981	11674
3,7E-06	4372	4542	4234	4165	4079	12611	13027	12182	11981	11674
3,8E-06	4423	4525	4227	4171	4051	12736	12974	12171	11986	11601
3,9E-06	4423	4525	4227	4171	4051	12736	12974	12171	11986	11601
4,0E-06	4423	4525	4227	4171	4051	12736	12974	12171	11986	11601

Tab. 3: Ergebnistabelle Szenarium c

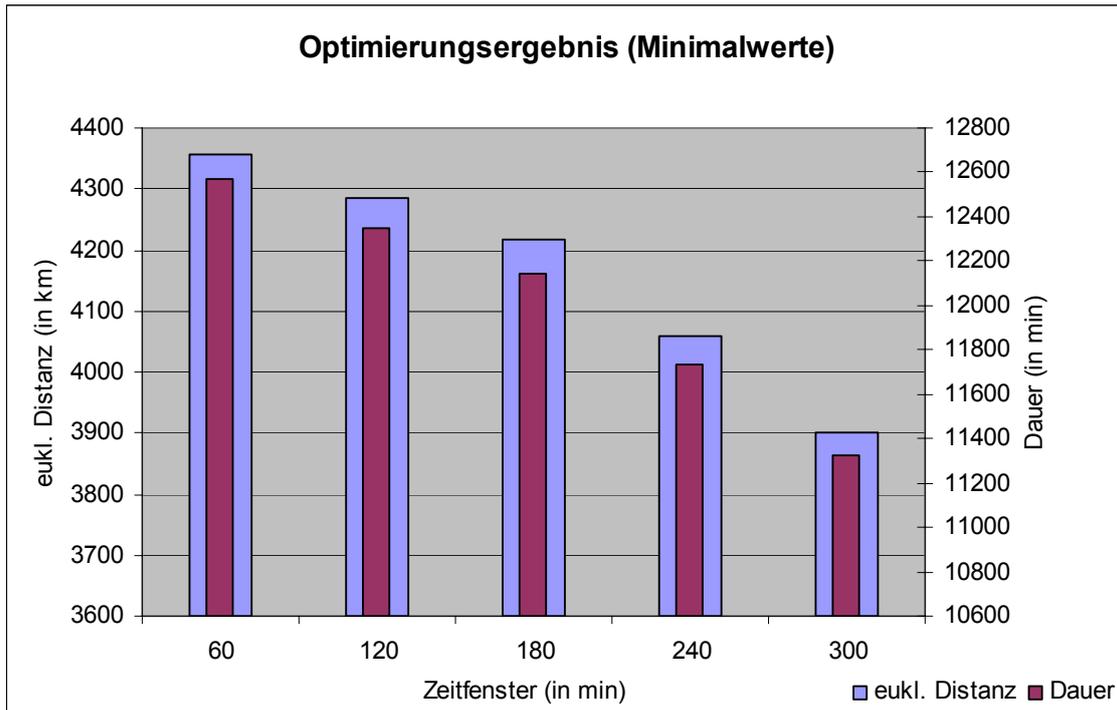


Abb. 12: Diagramm Optimierungsergebnis Szenarium c

3.3.3 Verifizierung

Die Fa. GE Energy Management Services GmbH stellte zur Verifizierung der Ergebnisse das WFMS „GE Energy Field Force Automation“ zur Verfügung und ermittelte auf der Grundlage der zur Verfügung gestellten Daten Optimierungsergebnisse für die Zeitfenster 60, 180 und 300 Minuten unter Verwendung euklidischer Distanzen sowie eine Optimierung unter Nutzung von Geobasisdaten des Straßennetzes. In beiden Fällen wurde lediglich der Ist-Zustand betrachtet. Mögliche Strukturänderungen innerhalb des RZV blieben unberücksichtigt.

Der im System verwendete Algorithmus ist nicht offen gelegt.

3.3.3.1 Optimierungsergebnisse für die Zeitfenster 60, 180 und 300 Minuten unter Verwendung euklidischer Distanzen

Als Ergebnis liegt die Gesamtdauer der Fahrten je Zeitfenster vor.

Zeitfenster	60	180	300
Dauer (in min)	14294	14161	13841

Tab. 4: Ergebnistabelle Verifizierung

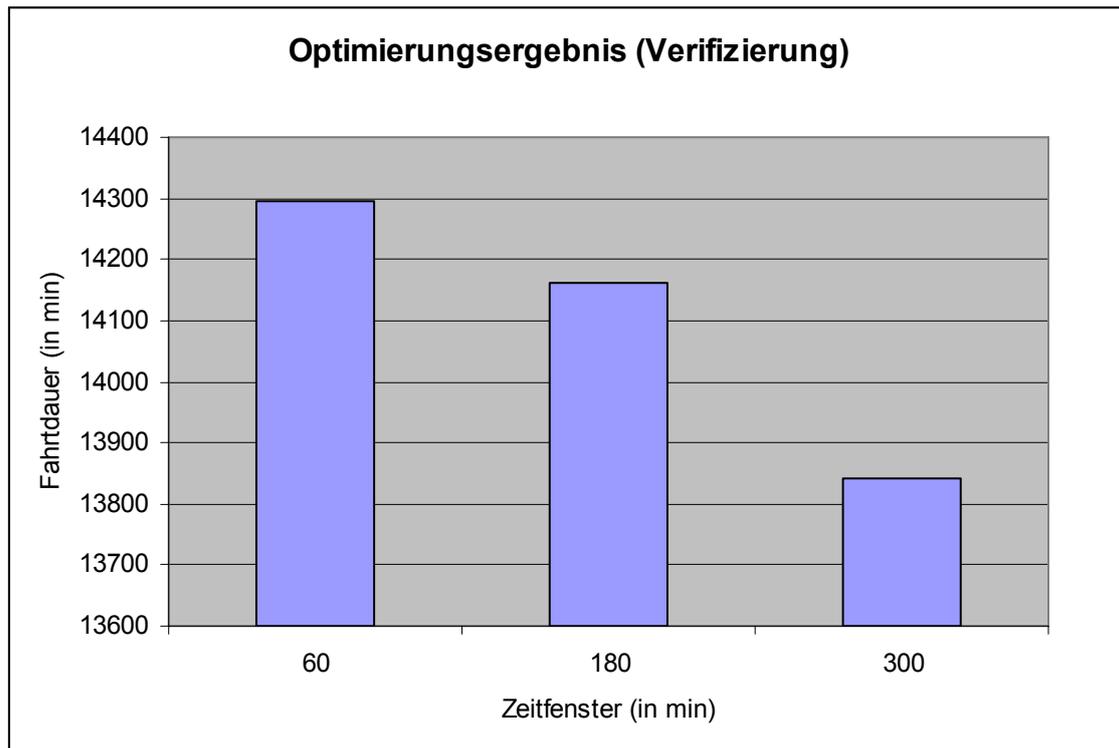


Abb. 13: Diagramm Optimierungsergebnis Verifizierung mit euklidischen Distanzen

3.3.3.2 Optimierungsergebnisse unter Nutzung von Geobasisdaten des Straßennetzes

Für diese Verifizierung wurden Geobasisdaten des Straßennetzes der Fa. Logiball GmbH (LOGIBALL GMBH, 12.12.2005) verwendet. Diese bauen auf NAVTEQ-Daten auf und enthalten neben dem kompletten öffentlichen Wegenetz Deutschlands auch sämtliche Wald- und Feldwege für das gesamte Bundesgebiet.

Als Ergebnis wurde durch das WFMS eine Gesamtfahrzeit von 7560 Minuten für ein Zeitfenster von 300 Minuten ermittelt.

3.4 *Ergebnisanalyse*

Im Zentrum der Analyse soll zunächst das Ergebnis der Verifizierung unter Verwendung von Geobasisdaten des Straßennetzes stehen. Der Gesamtüberblick über die Veränderung der Fahrtzeiten im Auswertzeitraum vom 11. bis 15.04.2005 (siehe Abbildung 14) verdeutlicht das hohe Potential einer Routenoptimierung in dieser Variante.

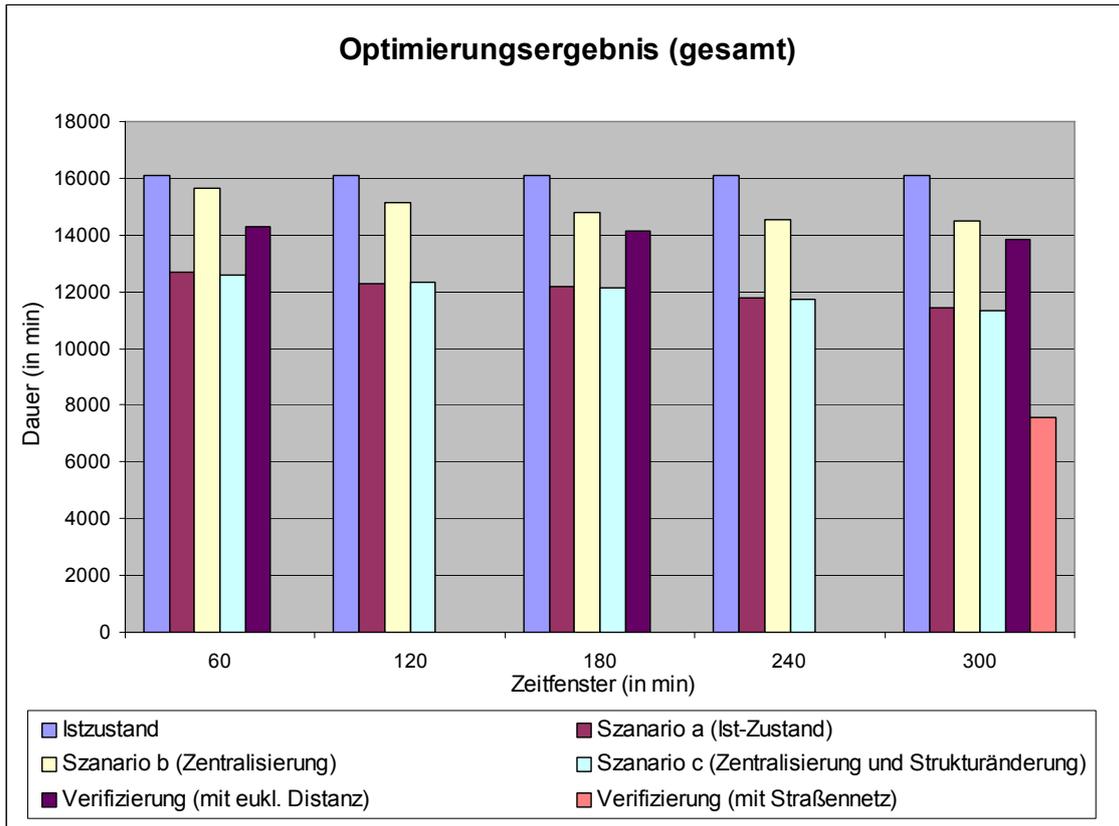


Abb. 14: Gesamtoptimierungsergebnis Fahrdauer

Innerhalb der Verifizierung unter Nutzung der Straßendaten wird eine Reduktion der Fahrtzeit von 16.099 Minuten (268 Stunden) auf 7.560 Minuten (126 Stunden) aufgezeigt. Dies entspricht 47 % der Gesamtfahrtzeit. Im Gegensatz dazu werden bei der Verwendung euklidischer Distanzmessung im Zeitfenster von 300 Minuten noch 13.841 Minuten (230 Stunden/86 %) durch das WFMS bzw. 11.409 Minuten (190 Stunden/71 %) im beschriebenen Algorithmus ermittelt.

Dieses Ergebnis zeigt deutlich die Probleme bei der Verwendung euklidischer Distanzmessung. Die reale Straßeninfrastruktur wird vernachlässigt und starke Verallgemeinerungen werden getroffen. Die Ableitung realer Entfernungen und Fahrzeiten aus der euklidischen Entfernungsmessung ist folglich mit Vorsicht zu benützen. Begründet durch das Fehlen von Straßendaten tritt eine zusätzliche Schwierigkeit bei der Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Fahrtzeit und euklidischer Distanz im Projekt auf. Der beschriebene Zusammenhang beruht auf Mittelwerten euklidischer Distanzen, die in einer bestimmten Zeiteinheit zurückgelegt wurden. Ein Mittelwert stellt jedoch nicht die beste Lösung eines Optimierungsproblems dar. Das Routing auf den Straßendaten dagegen sucht die günstigste Verbindung und ermittelt die zugehörigen Fahrtzeiten direkt aus der Länge der Straßenabschnitte und der Straßenklassifizierung.

Aus den Teilergebnissen lassen sich trotz der oben beschriebenen Schwierigkeiten grundlegende Aussagen zum Einsatz und zu den zu erwartenden Einsparpotentialen bei der Einführung eines WFMS treffen:

Der Einsatz einer Routenoptimierung führt mindestens zur Reduktion der Fahrtzeiten der Servicemitarbeiter zwischen 10 und 20 %. Dies verdeutlicht die Optimierung des Ist-Zustandes und die Verifizierung im Zeitfenster von 60 Minuten auf Basis euklidischer Distanzmessung. Durch eine verbesserte Arbeitsvorbereitung (größere Zeitfenster) können diese Ergebnisse bis auf ca. 30 % verbessert werden (Zeitfenster 300 Minuten). Auf die Möglichkeit der Systeme, das Routing auf der Basis euklidischer Distanzmessung zu realisieren sollte jedoch verzichtet werden. Auch unter Berücksichtigung, dass die Haltung und Pflege der Daten mit Kosten verbunden ist, wird das Optimierungspotential bei der Routenberechnung erst durch Nutzung geeigneter Geobasisdaten des Straßennetzes ausgeschöpft. Dies betrifft auch alternative Ansätze, wie beispielsweise das Aufteilen des Servicegebiets in Zellen und die Konfiguration der Beziehungen zwischen den Zellen.

Die Ergebnisse der Optimierung zeigen, dass die Einspareffekte umso höher sind, je „planbarer“ eine Tätigkeit ist. Nicht oder schwer planbare Tätigkeiten (wie Havarien) sind Störgrößen. Durch die sinnvolle Festlegung von Reaktionszeiten in Havarieplänen können diese Störgrößen in der Prozessplanung eingeschränkt berücksichtigt werden.

Unter der Voraussetzung, dass die Verwendung von Geobasisdaten des Straßennetzes im allgemeinen deutlich bessere Ergebnisse liefert, können die in den Szenarien ermittelten Werte als Minimalangaben betrachtet werden. Demzufolge können durch die Einführung eines WFMS die derzeitigen Fahrzeiten (**Szenarium a**) auf unter 80 % des Ausgangsniveaus reduziert werden. Dies entspricht über 3.400 Minuten (56 Stunden) Arbeitszeit pro Woche.

Im Weiteren können die Auswirkungen einer möglichen Strukturänderung innerhalb des RZV beschrieben werden. Der Vergleich von **Szenario b** mit Szenario a und c zeigt auf, dass eine Zentralisierung unter Beibehaltung der Struktur der Versorgungsbereiche den durch die Einführung eines WFMS erzielten Effektivitätsgewinn absorbiert (siehe Abbildung 15). Auch wenn die Verwendung von Geobasisdaten des Straßennetzes zu einer Verbesserung führt, so ist doch festzustellen, dass ein hohes Maß der durch den Einsatz eines WFMS erzielten Vorteile im Szenarium b ungenutzt bleibt. Ursachen liegen in der räumlich ungünstigen Lage des Unternehmenssitzes am Rande des Verbandsgebietes und den damit verbundenen zusätzlichen Anfahrtswegen in den einzelnen Versorgungsbereichen. Diese zusätzlichen Anfahrtswege werden nur teilweise von der Routenoptimierung innerhalb der vier Bereiche kompensiert.

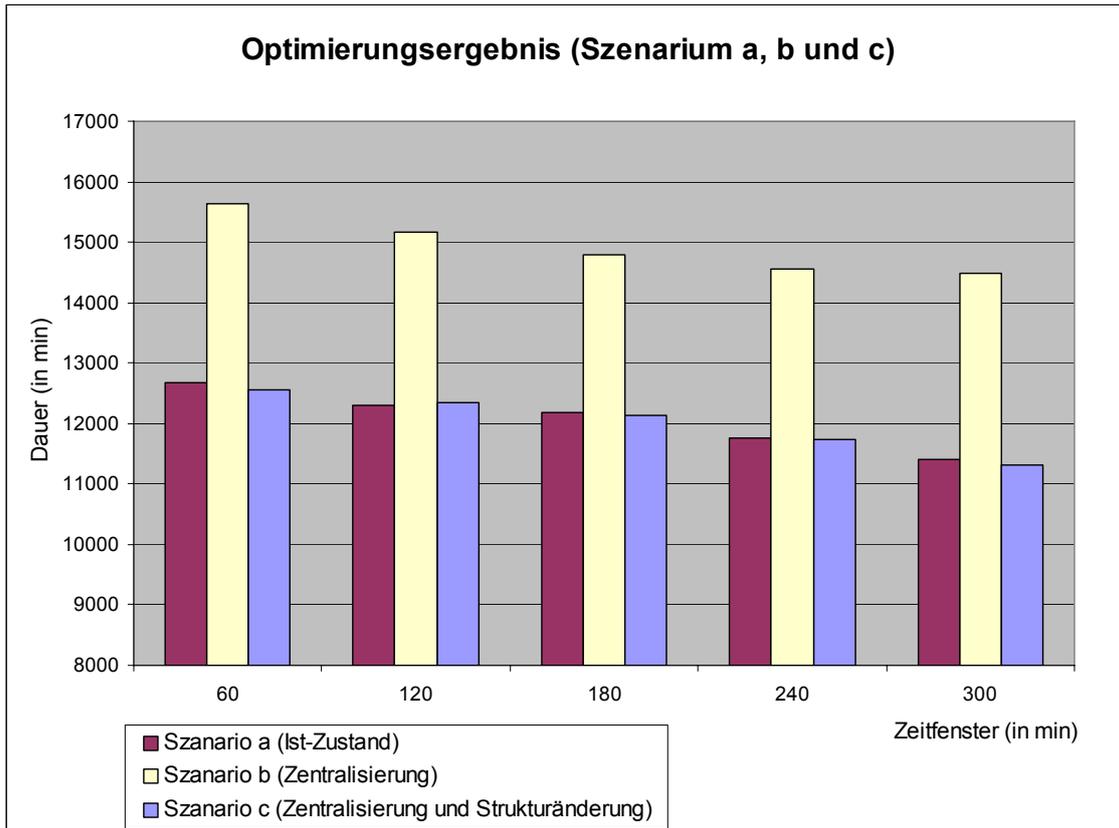


Abb. 15: Optimierungsergebnis Fahrdauer Szenarium a, b und c

Deutliche Verbesserung verspricht dagegen die Analyse, wenn neben der Reduktion der Depotanzahl auch die einzelnen Bereiche zusammengefasst werden (**Szenarium c**). Die Ergebnisse zeigen auf, dass ein Optimierungspotential in ähnlicher Größe wie im Szenarium a (Optimierung Ist-Zustand) erreicht wird. Obwohl der Unternehmenssitz weiterhin vergleichsweise lange Anfahrtswege bedingt, ist die Routenoptimierung über alle zusammengefassten Bereiche wesentlich effizienter.

4 Zusammenfassung, Diskussion, Ausblick

4.1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit ist das Potential einer Routenoptimierung durch den Einsatz eines WFMS im RZV ermittelt worden. Innerhalb festgelegter organisatorischer Szenarien und deren Verifizierung anhand eines WFMS wurden die Auswirkungen möglicher Strukturänderungen auf die Fahrtzeiten der Servicemitarbeiter beschrieben. Als Grundlage dieser Analyse wurden Daten zu Tätigkeiten und Fahrstecken der Außendienstmitarbeiter des RZV erfasst, in einem neu geschaffenen SMALLWORLD-GIS Datenmodell hinterlegt und analysiert.

Zur Lösung des knotenorientierten Tourenproblems (Vehicle Routing Problem, VRP) wurden Methoden erarbeitet, die aufbauend auf dem heuristischen Verfahren „Beste Nachfolger“ Optimierungsergebnisse innerhalb der Szenarien berechnen. Die ermittelten Ergebnisse wurden anhand des WFMS „GE Energy Field Force Automation“ der Fa. GE Energy Management Services GmbH verifiziert.

In der Ergebnisanalyse wurden die erzielten Optimierungspotentiale diskutiert und bewertet. Die Schwächen der gewählten Datenbasis wurden aufgezeigt.

4.2 Diskussion

Die erzielten Optimierungsergebnisse verdeutlichen, warum der Einsatz von Workforce Management Systemen insbesondere in der Versorgungswirtschaft einen hohen Stellenwert einnimmt. Die Verbindung effektiver Methoden zur Auftrags- und Ressourcenplanung und GI-Systemen zur Routenoptimierung eröffnet ein hohes Potential zur Optimierung der Geschäftsprozesse. Insbesondere eine verbesserte Steuerung der Außendienstmitarbeiter kann beim Einsatz solcher Systeme zu einer erheblichen Effektivitätssteigerung und damit zum Unternehmenserfolg beitragen.

Persönlich sammelte ich im Rahmen der Projektbearbeitung nicht nur tiefere Einblicke in die Lösung von Tourenplanungsproblemen, auch die Umsetzung innerhalb eines GIS-Projektes und die programmtechnische Lösung trugen zur Vertiefung meiner Kenntnisse bei. Es ist aus meiner Sicht wesentlich, geographische Informationsverarbeitung im Rahmen konkreter Unterstützung einer Vielzahl von Geschäftsprozessen zu sehen. Die Ausschöpfung der damit verbundenen Qualitäts- und Quantitätssteigerungen stellt das Hauptargument für den Einsatz von Geoinformationsverarbeitung in Unternehmen dar.

Während des Projektes konnten wichtige Erkenntnisse zu den zu beachtenden Rahmenbedingungen ermittelt werden. So ist die Einbeziehung der Mitarbeiter in den Umsetzungsprozess, die Berücksichtigung ihrer Befürchtungen und ihre Motivation ein

kritischer Erfolgsfaktor. Auch die sorgfältige Betrachtung von Strukturänderungen und die Festlegung von Reaktionszeiten in Havarieplänen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Steuerung der Servicemitarbeiter sind als zentrale Größen zu betrachten. Diese Erkenntnisse werden in einem zukünftigen Projekt zur Einführung eines WFMS von großem Nutzen sein.

4.3 *Ausblick*

Das Projekt zur Ermittlung von Optimierungspotentialen im Vorfeld des Einsatzes eines WFMS sollte aufbauend auf die vorgestellten Ergebnisse mit Geobasisdaten des Straßennetzes weiter verifiziert werden. Es wird als sinnvoll erachtet, die programmtechnische Umsetzung der Berechnungsroutinen in einem Programmpaket mit grafischer Benutzeroberfläche zusammenzufassen. Dies könnte weiteren Unternehmen zur Evaluation eigenen Optimierungspotentials zugänglich gemacht werden.

Literaturverzeichnis

- CLARKE, G. AND WRIGTH, J. (1964): Scheduling of Vehicles From a Central Depot to A Number of Delivery Points. *Operations Research*, Vol. 12. S. 568-581
- CORDEAU J.-F., GENDREAU M., LAPORTE G., POTVIN J.-Y., SEMET F. (2002): A Guide to Vehicle Routing Heuristics. *Journal of the Operational, Research Society*, Vol. 53, S. 512-522
- DESROCHERS, MARTIN AND SOUMIS, FRANÇOIS (1988): A generalized permanent labeling algorithm for the shortest path problem with time windows, *INFOR*, vol. 26, no. 3, pp. 191 – 212
- DOMSCHKE, W. (1997): *Logistik: Rundreisen und Touren* 4.Aufl., Oldenburg, München Wien
- DR. CROMBACH UND PARTNER GMBH, Bodenheim Deutschland (10.01.2006), http://www.crp.de/daten/Felix_CSD_KurzBroschuere.pdf
- GIETZ, M. (1994): *Computergestützte Tourenplanung mit zeitkritischen Restriktionen*, Physica Verlag, Heidelberg, 47
- GILLETT, B. AND MILLER, L. (1974): A heuristic for the vehicle dispatching problem. *Operations Research*, 22, 340-349
- KARG, R.L. AND THOMPSON G.L. (1964): A heuristic approach to solving travelling salesman problems, *Management Science* 10, 225-248
- LOGIBALL GMBH, Navigationsdatenbasis Deutschland Plus (12.12.2005), <http://www.logiball.de/scripts/geo/navigationsdatenbasis.html>
- TROCHELMANN, JÜRGEN (1980): *Tourenplanung für das deterministische Ein-Depot-Problem*, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen

Abkürzungsverzeichnis

CASE	Computer-Aided Software Engineering
GIS	Geographisches Informationssystem
MFMS	Workforce Management System
RZV	Regionaler Zweckverband Wasserversorgung Bereich Lugau-Glauchau
TSP	Traveling Salesman Problem
VRP	Vehicle Routing Problem
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows

Anlagen

Anl. 1: Magik-Archiv des Datenmodells

```
## text_encoding = utf8
_block

man << case_manifold.new_from_archive(
    {1,
     "routing",
     _unset, _unset})
man.add_archive_rule(1,1,:split_link,:split_link)
man.add_archive_rule(1,2,:split_link,:split_link)
man.add_archive_rule(1,3,:split_link,:connect)
man.add_archive_rule(2,1,:split_link,:split_link)
man.add_archive_rule(2,2,:split_link,:split_link)
man.add_archive_rule(2,3,:split_chain,:connect)
man.add_archive_rule(3,1,:connect,:split_link)
man.add_archive_rule(3,2,:connect,:split_chain)
man.add_archive_rule(3,3,:connect,:connect)

_endblock
§

_block

o << case_object.new_from_archive(
    {3,
     "rs_mt_taetigkeit",
     write_string("MT Tätigkeit"),
     "rs_mt_taetigkeit",
     _unset,{0,0,0},0} ,68906.5123838, 111988.273117)
s << internal_text_output_stream.new(76)
s.write("Beschreibt eine durch ein oder mehrere Ressourcen zu", newline_char)
s.write("bearbeitende Tätigkeit.", newline_char)
o.text << s.string
o.add_validator("catalogue_validator()")

_endblock
§

_block

an_f << o.add_field("id", "Id", :physical)
an_f.set_key_status_to(_true)
an_f.archive_set_field_type_to(:|sys_id|,_unset)
an_f.print_width << 10
an_f.editor_name << "field_editor"
an_f.mandatory? << True
an_f.set_generator_method_name("make_sysid()")

an_f << o.add_field("name", "Name", :physical)
an_f.text << write_string("Katalogfeld zur Auswahl eines Tätigkeitstyps")
an_f.archive_set_field_type_to(:|ds_charci_vec|,32)
an_f.print_width << 32
an_f.editor_name << "catalogue_field_editor"

an_f << o.add_field("beginn", "Beginn", :physical)
an_f.text << write_string("Beginn der Tätigkeit")
an_f.archive_set_field_type_to(:|ds_time|,_unset)
an_f.help_text << write_string("Beginn der Tätigkeit")

an_f.print_width << 17

an_f << o.add_field("ende", "Ende", :physical)
an_f.text << write_string("Ende der Tätigkeit")
an_f.archive_set_field_type_to(:|ds_time|,_unset)
an_f.print_width << 17
an_f.mandatory? << True

an_f << o.add_field("havarie", "Havarie / Kunde", :physical)
an_f.text << write_string("War Taetigkeit eine Havarie (nicht planbar)?")
an_f.archive_set_field_type_to(:|ds_bool|,_unset)
an_f.print_width << 5
an_f.editor_name << "boolean_field_editor"
an_f.mandatory? << False
an_f.archive_unset_value << false

an_f << o.add_field("text_id", "text id", :physical)
an_f.archive_set_field_type_to(:|ds_uint|,_unset)
```

```

an_f.print_width << 10
an_f.mandatory? << True
an_f.archive_default_value << 0
an_f.set_generator_method_name("dd!zero()")

an_f << o.add_field("dauer", "Dauer (min)", :logical)
an_f.text << write_string("Dauer der Tätigkeit")
an_f.archive_set_field_type_to(:|ds_int|, _unset)
an_f.print_width << 5
an_f.archive_unset_value << 0

an_f << o.add_field("position", "Position", :geometric)
an_f.text << write_string("Ort an welchem Tätigkeit ausgeführt wird")
an_f.set_geometry_type(:point)
an_f.archive_manifold << "routing"

an_f << o.add_field("bemerkung", "Bemerkung", :text)
an_f.archive_text_join_field(:text_id)

_endblock
§

_block

an_f << o.add_field("rs_mt_ressources", "Ressource(n)", :join)
an_f.editor_name << "dbset_field_editor"

_endblock
§

_block

o << case_object.new_from_archive(
    {45,
      "rs_mt_ressource",
      write_string("MT Ressource"),
      "rs_mt_ressource",
      _unset, {0,0,0}, 0}, 98905.5123838, 111988.273117)
s << internal_text_output_stream.new(76)
s.write("Beschreibt eine durch ein oder mehrere Ressourcen zu", newline_char)
s.write("bearbeitende Tätigkeit.", newline_char)
o.text << s.string
o.add_validator("catalogue_validator()")

_endblock
§

_block

an_f << o.add_field("id", "Id", :physical)
an_f.set_key_status_to(_true)
an_f.archive_set_field_type_to(:|sys_id|, _unset)
an_f.print_width << 10
an_f.editor_name << "field_editor"
an_f.mandatory? << True
an_f.set_generator_method_name("make_sysid()")

an_f << o.add_field("name", "Name", :physical)
an_f.text << write_string("Name der Ressource")
an_f.archive_set_field_type_to(:|ds_charci_vec|, 32)
an_f.print_width << 32
an_f.editor_name << "catalogue_field_editor"

an_f << o.add_field("rs_mt_taetigkeits", "Taetigkeit(en)", :join)
an_f.editor_name << "dbset_field_editor"

_endblock
§

_block

o << case_object.new_from_archive(
    {82,
      "rs_mt_kat_ressource",
      write_string("MT Katalog Ressource"),
      "rs_mt_kat_ressource",
      _unset, {0,0,0}, 0}, 68905.5123838, 71988.2731169)
s << internal_text_output_stream.new(26)
s.write("Katalog für die Ressourcen", newline_char)
o.text << s.string

_endblock
§

```

```

_block

an_f << o.add_field("id", "Id", :physical)
an_f.set_key_status to(_true)
an_f.archive_set_field_type_to(:|sys_id|,_unset)
an_f.print_width << 10
an_f.editor_name << "field_editor"
an_f.mandatory? << True
an_f.set_generator_method_name("make_sysid()")

an_f << o.add_field("wert", "Name", :physical)
an_f.text << write_string("Bezeichnung der Ressource")
an_f.archive_set_field_type_to(:|ds_charci_vec|,32)
an_f.print_width << 32

an_f << o.add_field("bereich", "Bereich", :physical)
an_f.text << write_string("Die Ressource ist einem bereich zugeordnet.")
an_f.archive_set_field_type_to(:|ds_charci_vec|,16)
an_f.print_width << 16
an_f.mandatory? << False
an_f.archive_unset_value << ""

an_f << o.add_field("nutzung", "Nutzung", :physical)
an_f.text << write_string("Ressource hat Spezialausrüstung.")
an_f.archive_set_field_type_to(:|ds_charci_vec|,32)
an_f.print_width << 32
an_f.mandatory? << False
an_f.archive_unset_value << ""

_endblock
§

_block

o << case_object.new_from_archive(
    {15,
      "rs_mt_kat_taetigkeit",
      write_string("MT Katalog Tätigkeit"),
      "rs_mt_kat_taetigkeit",
      _unset,{0,0,0},0} ,68905.5123838, 81988.2731169)
s << internal_text_output_stream.new(40)
s.write("Katalog für die zu arbeitende Tätigkeit.", newline_char)
o.text << s.string

_endblock
§

_block

an_f << o.add_field("id", "Id", :physical)
an_f.set_key_status to(_true)
an_f.archive_set_field_type_to(:|sys_id|,_unset)
an_f.print_width << 10
an_f.editor_name << "field_editor"
an_f.mandatory? << True
an_f.set_generator_method_name("make_sysid()")

an_f << o.add_field("wert", "MT Kat. Tätigkeit", :physical)
an_f.archive_set_field_type_to(:|ds_charci_vec|,32)
an_f.print_width << 32

_endblock
§

_block

r << case_relationship.new_from_archive(
    {62,
      "m:n",
      "unset",
      _unset, {0,0,0}, 0})
r.make_archive_o_rec("rs_mt_ressource", "rs_mt_taetigkeit")
r.add_default_join_names()
r.archive_update_int_info_rec({_unset,
  "int!rs_mt_ressour rs_mt_taetigk",
  "rs_mt_ressour_to_int!rs_mt_ress",
  "int!rs_mt_ress_to rs_mt_ressour",
  "rs_mt_taetigk_to_int!rs_mt_ress",
  "int!rs_mt_ress_to rs_mt_taetigk"})
sec_rope << sector_rope.new(1)
sec_rope[1] << sector.new with xy((2619604058550449*2.0**-35), (7698455588753391*2.0**-
36), (3110501640614065*2.0**-35), (7695363212300271*2.0**-36))
r.make_archived_geometry(sec_rope)

```

```

_endblock
$
_block
case_object.archive_join_field_info(:rs_mt_taetigkeit, :rs_mt_ressources, 62, :child)
_endblock
$
_block
case_object.archive_join_field_info(:rs_mt_ressource, :rs_mt_taetigkeits, 62, :parent)
_endblock
$
_block

_endblock
$
_block

_endblock
$
_block

case_visible_fields_object.new_from_archive(:browser,
                                           :rs_mt_taetigkeit,
                                           {"name",
                                            "beginn",
                                            "ende",
                                            "dauer",
                                            "rs_mt_ressources",
                                            "havarie",
                                            "bemerkung",
                                            "position"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:default,
                                           :rs_mt_taetigkeit,
                                           {"name",
                                            "beginn",
                                            "ende",
                                            "dauer",
                                            "rs_mt_ressources",
                                            "havarie",
                                            "bemerkung",
                                            "position"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:description,
                                           :rs_mt_taetigkeit,
                                           {"name",
                                            "beginn",
                                            "ende",
                                            "dauer",
                                            "rs_mt_ressources",
                                            "havarie",
                                            "bemerkung",
                                            "position"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:join_field_description,
                                           :rs_mt_taetigkeit,
                                           {"name",
                                            "beginn",
                                            "ende",
                                            "dauer",
                                            "rs_mt_ressources",
                                            "havarie",
                                            "bemerkung",
                                            "position"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:main_page,
                                           :rs_mt_taetigkeit,
                                           {"name",
                                            "beginn",
                                            "ende",
                                            "dauer",
                                            "rs_mt_ressources",
                                            "havarie",
                                            "bemerkung",
                                            "position"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:report,
                                           :rs_mt_taetigkeit,
                                           {"name",
                                            "beginn",

```

```

                "ende",
                "dauer",
                "rs_mt_ressources",
                "havarie",
                "bemerkung"})
case_object.add_archive_mapping(:rs_mt_taetigkeit, :rs_mt_kat_taetigkeit, :name, :wert)
_endblock
§
_block
case_visible_fields_object.new_from_archive(:browser,
                :rs_mt_ressource,
                {"name",
                "rs_mt_taetigkeits"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:default,
                :rs_mt_ressource,
                {"name",
                "rs_mt_taetigkeits"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:description,
                :rs_mt_ressource,
                {"name",
                "rs_mt_taetigkeits"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:join_field_description,
                :rs_mt_ressource,
                {"name",
                "rs_mt_taetigkeits"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:main_page,
                :rs_mt_ressource,
                {"name",
                "rs_mt_taetigkeits"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:report,
                :rs_mt_ressource,
                {"name",
                "rs_mt_taetigkeits"})
case_object.add_archive_mapping(:rs_mt_ressource, :rs_mt_kat_ressource, :name, :wert)
_endblock
§
_block
case_visible_fields_object.new_from_archive(:browser,
                :rs_mt_kat_ressource,
                {"wert",
                "bereich",
                "nutzung"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:default,
                :rs_mt_kat_ressource,
                {"wert",
                "bereich",
                "nutzung"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:description,
                :rs_mt_kat_ressource,
                {"wert",
                "bereich",
                "nutzung"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:join_field_description,
                :rs_mt_kat_ressource,
                {"wert",
                "bereich",
                "nutzung"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:main_page,
                :rs_mt_kat_ressource,
                {"wert",
                "bereich",
                "nutzung"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:report,
                :rs_mt_kat_ressource,
                {"wert",
                "bereich",
                "nutzung"})
_endblock
§
_block
case_visible_fields_object.new_from_archive(:default,
                :rs_mt_kat_taetigkeit,
                {"wert"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:description,
                :rs_mt_kat_taetigkeit,
                {"wert"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:join_field_description,

```

```

:rs_mt_kat_taetigkeit,
{"wert"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:main_page,
:rs_mt_kat_taetigkeit,
{"wert"})
case_visible_fields_object.new_from_archive(:report,
:rs_mt_kat_taetigkeit,
{"wert"})

_endblock
$

cm_rec << case_magik.new_from_archive(
{"rs_mt_taetigkeit",
"dauer",
_unset, _unset})

_if cm_rec_isnt_unset
_then

_local s << internal_text_output_stream.new(228)
s.write("_method rs_mt_taetigkeit.dauer"+newline_char)
s.write("      ##"+newline_char)
s.write("      ##"+newline_char)
s.write("      ##"+newline_char)
s.write(" "+newline_char)
s.write("start << _self.beginn"+newline_char)
s.write("end << _self.ende"+newline_char)
s.write(""+newline_char)
s.write("time << end - start"+newline_char)
s.write(""+newline_char)
s.write("(d,h,m,s,e) << time.days_hours_minutes_seconds()+"newline_char)
s.write(""+newline_char)
s.write("dauer << h * 60 + m"+newline_char)
s.write(""+newline_char)
s.write("_return dauer"+newline_char)
s.write(" "+newline_char)
s.write("_endmethod")

cm_rec.text << s.string
_endif
$

```

Anl. 2: Magik-Methode zum Einlesen der Tätigkeiten in das SMALLWORLD-GIS

```
## text_encoding = iso8859_1
#-----
# Name:          load_ressourcen.magik
#
# Fachschale:
#
# Kurzbeschreibung: Lädt Tätigkeiten
#
# Autor:         Ralf Stoll
#
# Datum:         21. Jun 2005
#
# Copyright (C) Ralf Stoll
#
#-----

_global read_my_file<<_proc(f)
!current_grs! << gis_program_manager.applications[:gis]
!current_dsview! << gis_program_manager.databases[:gis]
tae << !current_dsview!.collections[:rs_mt_taetigkeit]
res << !current_dsview!.collections[:rs_mt_ressource]

s << external_text_input_stream.new(f)
_loop
  r << s.get_line()
  _if r _is unset
  _then
    _leave
  _endif
  ret << rs_mt_taetigkeit.new_from_input_record(r)
  print(ret)
_endloop
s.close()
_endproc

_method rs_mt_taetigkeit.new_from_input_record(r)

taetig << r.slice(11,50).trim_spaces()
anfang << r.slice(51,69).trim_spaces()
ende << r.slice(70,88).trim_spaces()
hava << r.slice(89,98).trim_spaces()
bem << r.slice(99,198).trim_spaces()
kz << r.slice(199,220).trim_spaces()

# setze Werte für Tätigkeiten

new_tae << tae.new_detached_record()

new_tae.name << taetig
new_tae.beginn << date_time.from_string(anfang)
new_tae.ende << date_time.from_string(ende)
_if hava = "true"
  _then new_tae.havarie << _true
  _else new_tae.havarie << _false
_endif

new_tae << tae.insert(new_tae)

new_tae.bemerkung << bem

# Prüfen ob Ressource vorhanden ansonsten Ressource einfügen

a_pred << predicate.new(:name, :eq, kz)
new_res << res.select(a_pred)
_if new_res.size = 0
_then
  new_res << res.new_detached_record()
  new_res.name << kz
  new_res << res.insert(new_res)
_else
  new_res << new_res.an_element()
_endif

# Beziehung herstellen
new_tae.rs_mt_ressources.add(new_res)

_return new_tae.name
_endmethod
```

Anl. 3: Magik-Methode zum Einlesen der Ressourcen in das SMALLWORLD-GIS

```
## text_encoding = iso8859_1
#-----
# Name:          load_ressourcen.magik
#
# Fachschale:
#
# Kurzbeschreibung: Lädt Ressourcen in Katalog
#
# Autor:         Ralf Stoll
#
# Datum:         15. Jun 2005
#
# Copyright (C) Ralf Stoll
#
#-----

_global read_my_file<<_proc(f)
!current_grs! << gis_program_manager.applications[:gis]
!current_dsview! << gis_program_manager.databases[:gis]
tab << !current_dsview!.collections[:rs_mt_kat_ressource]

s << external_text_input_stream.new(f)
_loop
  r << s.get_line()
  _if r _is unset
  _then
  _leave
  _endif
  res << rs_mt_kat_ressource.new_from_input_record(r)
  print(res)
_endloop
s.close()
_endproc

_method rs_mt_kat_ressource.new_from_input_record(r)

new_record << tab.new_detached_record()
new_record.wert << r.slice(1,10).trim_spaces()
new_record << tab.insert(new_record)
_return new_record.wert

_endmethod
$
```

Anl. 4: Magik-Methoden des Optimierungsalgorithmus

```
##% text_encoding = iso8859_1
#-----
# Name:          routing.magik
#
# Fachschale:   Master Thesis (UNIGIS 2004)
#
# Kurzbeschreibung: Routing Engine
#
# Autor:        Ralf Stoll
#
# Datum:        21.10.2005
#
# Copyright (C) Ralf Stoll
#
#-----

load_file("../customer_product_rzv/modules/rzv_anpassungen/rs_mt/scripts/browser_out.magik")
load_file("../customer_product_rzv/modules/rzv_anpassungen/rs_mt/scripts/time_start.magik")
load_file("../customer_product_rzv/modules/rzv_anpassungen/rs_mt/scripts/find_in_tw.magik")
load_file("../customer_product_rzv/modules/rzv_anpassungen/rs_mt/scripts/dist_to_time.magik")
load_file("../customer_product_rzv/modules/rzv_anpassungen/rs_mt/scripts/find_nn.magik")

_global routing << _proc(t_add_rest, mod_angle, mod_dist)
    _dynamic !current_grs! << gis_program_manager.applications[:gis]
    _dynamic !current_dsview! << gis_program_manager.databases[:gis]
    _local tae << !current_dsview!.collections[:rs_mt_taetigkeit]
    _local res << !current_dsview!.collections[:rs_mt_ressource]
    _local fah << !current_dsview!.collections[:rs_mt_fahrt]
    _local f << !current_grs!.main_view.window

# SCHRITT A
# Tätigkeiten aus Browser holen

    _local tae_list << rs_mt_taetigkeit.load_browser()
    _if tae_list _is _unset
    _then
        write("Keine Objekte im Browser!")
    _else
        write(tae_list.size, " Objekte aus Browser geholt!")
    _endif

    write(newline_char, "Setze variable Zeitfenster ...")

    t_add_havarie << 10
    t_add_rest << t_add_rest
    t_add_wart << 10

    write("Erweitere Zeitfenster für Havarien und Tätigkeiten mit mehreren Ressourcen
um ", t_add_havarie, " Minuten.")
    write("Erweitere Zeitfenster für alle anderen Tätigkeiten um ", t_add_rest, "
Minuten.")
    write("Setze Wartezeit auf ", t_add_wart, " Minuten.",newline_char)

    # Arbeitszeit ohne Pausen! Pausen werden bei der Berechnung
    # der Startzeit für jede Tätigkeit berücksichtigt.
    t_work << 8 *60
    write("Setze Arbeitszeit auf ",t_work," Minuten!")

# Starttätigkeit setzen (diese ist immer ein Depot). Je nach
# Auswahl können mehrere Depots in der Objetafrage sein.
# Entferne Depot aus Liste

    _for i _over tae_list.fast_elements()
    _loop
        _if i.name = "Depot"
        _then
            tae_start << i
        _endif
    _endloop

    tae_list.remove(tae_start)
```

```

_for tour_nr _over range(1,1000)
_loop

# SCHRITT B _____
#
# Bilde neue Knotenliste p und setze Startzeit

    _local tae_tour << rope.new()
    tae_tour.add_nth(tae_start,1)
    tae_tour.add_nth(tae_start,2)

    _local t_start << rs_mt_taetigkeit.time_start(tae_start, tae_list)

    write(newline_char, "Startzeit für Tour ",tour_nr,": ", t_start)

    p_f << 0 # Pausenmerker auf null setzen!
    p_m << 0

# SCHRITT C _____
#
# Finde Kandidatenliste Q innerhalb Zeitfenster und ohne maximale
# Arbeitszeit zu überschreiten.

    _for anzahl _over range(1,100)
    _loop

        _local q_rope << rs_mt_taetigkeit.find_in_tw(tae_tour, t_start, tae_list,
t_add_havarie, t_add_rest)

# SCHRITT E

        _if q_rope.size > 0
        _then
            # write(q_rope.size," Kandidaten gefunden im " ,anzahl, ". Durchlauf
gefunden!")
            t1 << tae_tour.size
            knoten_i << tae_tour[t1-1]
            knoten_j << rs_mt_taetigkeit.find_mod_polar(tae_tour, q_rope,
mod_angle, mod_dist)
            tae_tour.add_nth(knoten_j,t1)
            tae_list.remove(knoten_j)

# Q = leer erweitere Zeitfenster um Wartezeit und prüfe ob
# Knoten im neuen Zeitfenster.

        _else
gefunden. Addiere Wartezeit von ",t_add_wart, " Minuten.")
            t_add_havarie << t_add_havarie + t_add_wart
            t_add_rest << t_add_rest + t_add_wart
            q_rope << rs_mt_taetigkeit.find_in_tw(tae_tour, t_start, tae_list,
t_add_havarie, t_add_rest)

            _if q_rope.size > 0
            _then
                write("Kandidaten in der Wartezeit gefunden: ", q_rope.size)
                t1 << tae_tour.size
                knoten_i << tae_tour[t1-1]
                knoten_j << rs_mt_taetigkeit.find_mod_polar(tae_tour, q_rope,
mod_angle, mod_dist)
                tae_tour.add_nth(knoten_j,t1)
                tae_list.remove(knoten_j)
            _else
                write("Leider keine Kandidaten in der Wartezeit gefunden! Neue
Tour!")
            _leave
            _endif
        _endif

        # Dies ist der Arbeitstand der Rope. Den könnte ich ja
        # einmal zeichnen lassen:

        _if myroute _isnt _unset
        _then myroute.undraw_on(f, line_style)
        _endif
        myroute << coords_rope.new()

```

```

        _for xxx _over tae_tour.fast_elements()
        _loop
            my_coordinate << coordinate(xxx.position.coord.x,
xxx.position.coord.y)
            myroute.add_last(my_coordinate)
        _endloop
        myroute.draw_on(f, line_style)

    _if tae_list.size = 0
    _then
        _leave
    _endif

    _local dauer_tour << rs_mt_taetigkeit.time_dur(tae_tour)

    _if dauer_tour > t_work * 60
    _then
        _leave
    _endif

    # Neuberechnen Startzeit für nächsten Durchgang:

    (t_start, pause_f, pause_m) << rs_mt_taetigkeit.time_start_new(t_start,
tae_tour, p_f, p_m)
    p_f << pause_f
    p_m << pause_m
    Write(t_start, tab_char, knoten_j.dauer)

    _endloop

    # Fahrten in der Datenbank erzeugen:
    _local fa << fah.new_detached_record()
    fa << fah.insert(fa)
    _local sectors << sector.new()

    _for fx _over tae_tour.fast_elements()
    _loop
        _local co << fx.position.coord
        sectors.add_last(co)
    _endloop

    fa.make_geometry(:position, sectors)

    # Wenn Ausgangsliste leer, Routine verlassen

    _if tae_list.size = 0
    _then
        _leave
    _endif
_endloop
_endproc

```

```

#% text_encoding = iso8859_1
#-----
# Name:          browser_out.magik
#
# Fachschale:   Master Thesis (UNIGIS 2004)
#
# Kurzbeschreibung: Browser auslesen
#
# Autor:        Ralf Stoll
#
# Datum:        13. September 2005
#
# Copyright (C) Ralf Stoll
#
#-----

# Methode zum Browser auslesen:

_method rs_mt_taetigkeit.load_browser()

  _dynamic !current_grs! << gis_program_manager.applications[:gis]
  _local br << !current_grs!.sub_menus[:collection_browser]
  _if br _is _unset _then _return _endif
  _local cs << br.browser_engine.current_set
  _if cs _is _unset _then _return _endif
  _local rs << cs.record_read_stream()
  _if rs _is _unset _then _return _endif

  _local rope_tae << rope.new()

  _loop @over_browser_contents
    _local rec << rs.get()
    _if rec _is _unset _then _leave _endif
    rope_tae.add(rec)
  _endloop

  _return(rope_tae)
_endmethod

```

```

#% text_encoding = iso8859_1
#-----
# Name:          time_start.magik
#
# Fachschale:   Master Thesis (UNIGIS 2004)
#
# Kurzbeschreibung: Startzeit setzen / aktualisieren
#
# Autor:        Ralf Stoll
#
# Datum:        10.10.2005
#
# Copyright (C) Ralf Stoll
#
#-----

_method rs_mt_taetigkeit.time_start(tae_start, rope)

  depot << tae_start
  list << rope
  a << _unset

  _for i _over list.fast_elements()
  _loop
    test << i
    _if a _is _unset
    _then
      a << test
    _else
      _if a.beginn > test.beginn
      _then
        a << test
      _endif
    _endif
  _endloop

  # Von Startzeit Fahrtdauer abziehen:
  dist_d_s << a.position.coord.distance_to(depot.position.coord)
  dauer << rs_mt_taetigkeit.dist_to_time(dist_d_s)
  ts << a.beginn - time_interval.new_seconds(dauer)

_return(ts)

_endmethod

_method rs_mt_taetigkeit.time_dur(rope)
  ## Methode summiert die Fahrtzeiten und Dauer der Tätigkeiten

  r << rope
  t << 0
  d << 0

  _for i _over r.fast_elements()
  _loop
    t << t + i.dauer * 60
  _endloop

  _for k _over range(2, r.size - 1)
  _loop
    knoten_j << r[k]
    knoten_i << r[k-1]
    dist_i_j << knoten_i.position.coord.distance_to(knoten_j.position.coord)
    dauer_ij << rs_mt_taetigkeit.dist_to_time(dist_i_j)

    d << d + dauer_ij
  _endloop

  out << t + d    #Ausgabe in Sekunden

_return(out)

_endmethod
§
_method rs_mt_taetigkeit.time_dur_plus(rope)
  ## Methode summiert die Fahrtzeiten und Dauer der Tätigkeiten
  ## addiert "Schlußdepot"

  r << rope
  t << 0
  d << 0

  _for i _over r.fast_elements()
  _loop
    t << t + i.dauer * 60
  _endloop

```

```

    _for k _over range(2, r.size - 1)
    _loop
        knoten_j << r[k]
        knoten_i << r[k-1]
        dist_i_j << knoten_i.position.coord.distance_to(knoten_j.position.coord)
        dauer_ij << rs_mt_taetigkeit.dist_to_time(dist_i_j)

        d << d + dauer_ij
    _endloop

    depot << r[1]
    knoten_last << r[r.size]
    dist_dl << depot.position.coord.distance_to(knoten_last.position.coord)
    dauer_dl << rs_mt_taetigkeit.dist_to_time(dist_dl)

    out << t + d + dauer_dl #Ausgabe in Sekunden

    _return(out)

_endmethod
§

_method rs_mt_taetigkeit.time_start_new(t_start, rope, p_f, p_m)
    ##
    ## Methode berechnet neue Startzeit
    ## Methode berücksichtigt Pausen:
    ## 15min in der Zeit zwischen 08:30 und 10:30 Uhr (Frühstück)
    ## 30min in der Zeit zwischen 11:45 und 13:15 Uhr (Mittag)
    ##
    ## Pausen nur, wenn Pausenbeginn (08:30 / 11:45) in Tour und
    ## wenn Tourdauer > 60min.
    ##
    ## Natürlich dürfen nur jeweils eine Pause gemacht werden! ;- )

    t_frueh_1 << (8 * 60 + 30) * 60
    t_frueh_2 << (10 * 60 + 30) * 60
    t_mittag_1 << (11 * 60 + 45) * 60
    t_mittag_2 << (13 * 60 + 15) * 60
    pause_f << p_f
    pause_m << p_m
    ti_pf << time_interval.new_seconds(15 * 60)
    ti_pm << time_interval.new_seconds(30 * 60)

    knoten_i << rope[rope.size - 2]
    knoten_j << rope[rope.size - 1]

    di << time_interval.new_seconds(knoten_j.dauer * 60)
    dist_i_j << knoten_i.position.coord.distance_to(knoten_j.position.coord)
    fz << time_interval.new_seconds(rs_mt_taetigkeit.dist_to_time(dist_i_j))

    # Tourdauer bis hier (in Sekunden):
    t_tour_sek << rs_mt_taetigkeit.time_dur(rope)

    # Startzeit am letzten Knoten

    ts << t_start + di
    day_sek << ts.milliseconds/1000
    day_sek << day_sek + 2 * 60 * 60 # UTC - Sommerzeit +2h

    # Prüfen ob Frühstück:
    _if day_sek >= t_frueh_1 _and day_sek <= t_frueh_2 _and t_tour_sek >= (60 * 60)
    _and p_f = 0
    _then
        write("Frühstückspause!" )
        pause_f << 1
        ts << ts + ti_pf
    _endif

    # Prüfen ob Mittag:
    _if day_sek >= t_mittag_1 _and day_sek <= t_mittag_2 _and t_tour_sek >= (60 * 60)
    _and p_m = 0
    _then
        write("Mittagspause!")
        pause_m << 1
        ts << ts + ti_pm
    _endif

    ts << ts + fz

    _return(ts, pause_f, pause_m)

_endmethod
§

```

```

#% text_encoding = iso8859_1
#-----
# Name:          find_in_tw.magik
#
# Fachschale:   Master Thesis (UNIGIS 2004)
#
# Kurzbeschreibung: Finde Knoten im Zeitfenster
#
# Autor:        Ralf Stoll
#
# Datum:        13. September 2005
#
# Copyright (C) Ralf Stoll
#
#-----

_method rs_mt_taetigkeit.find_in_tw(tae_tour, tstart, rope, t_hav, t_rest)

# Hier Zeitfenster erweitern!
# Angaben in Minuten

t_add_havarie << t_hav
t_add_rest << t_rest

t_add_ha << time_interval.new_seconds(t_add_havarie * 60)
t_add_re << time_interval.new_seconds(t_add_rest * 60)

tour << tae_tour
time_start << tstart
list << rope
dist << _unset
out << rope.new()
knoten_i << tour[tour.size -1]

_for i _over list.fast_elements()
_loop
  dist << i.position.coord.distance_to(knoten_i.position.coord)
  dauer << rs_mt_taetigkeit.dist_to_time(dist)

  _if (i.havarie _is _unset) _and (i.rs_mt_ressources.size = 1)
  _then
    i_anfang << time_start + time_interval.new_seconds(dauer) - t_add_re
    i_ende << time_start + time_interval.new_seconds(dauer) +
time_interval.new_seconds(i.dauer * 60) + t_add_re
  _else
    i_anfang << time_start + time_interval.new_seconds(dauer) - t_add_ha
    i_ende << time_start + time_interval.new_seconds(dauer) +
time_interval.new_seconds(i.dauer * 60) + t_add_ha
  _endif

  _if (i.beginn >= i_anfang) _and (i.ende <= i_ende)
  _then
#       write("Original Zeitfenster: ",i.beginn, " bis ", i.ende)
#       write("Neues Zeitfenster:   ", i_anfang, " bis ", i_ende)

    out.add(i)
  _endif
_endloop

_return(out)
_endmethod

```

```

#% text_encoding = iso8859_1
#-----
# Name:          dist_to_time.magik
#
# Fachschale:   Master Thesis (UNIGIS 2004)
#
# Kurzbeschreibung: Berechnet aus euklidischer Distanz Zeit
#
# Autor:        Ralf Stoll
#
# Datum:        13. September 2005
#
# Copyright (C) Ralf Stoll
#
#-----

_method rs_mt_taetigkeit.dist_to_time(dist)

  _local l << dist

  l << l/1000000          # in km
  d << (l/0.14)**(1/1.2663) # in Minuten
  d << d * 60            # Ausgabe in Sekunden!!!

  # Integer übergeben!!!!

  !print_float_precision! << 9
  d << d.write_string
  d << d.as_integer()
  !print_float_precision! << 4

  _return(d)
_endmethod

```

```

#% text_encoding = iso8859_1
#-----
# Name:          find_nn.magik
#
# Fachschale:   Master Thesis (UNIGIS 2004)
#
# Kurzbeschreibung: Findet Nachbarn
#
#
# Autor:        Ralf Stoll
#
# Datum:        21.10.05
#
# Copyright (C) Ralf Stoll
#
#-----

_method rs_mt_taetigkeit.find_nn(start_tae, rope_tae)
##
## Methode sucht nächste Tätigkeit (nächsten Nachbarn)

  _local min << 999999999999999
  _for i _over rope_tae.fast_elements()
  _loop
    _local c << i.position.coord
    _local dist << start_tae.position.coord.distance_to(c)
    _if dist > 0
    _then
      _if min > dist
      _then cmin << dist
            nn << i
      _endif
    _endif
  _endloop

  _return(nn)
_endmethod

_method rs_mt_taetigkeit.find_mod_polar(tae_tour, q_rope, mod_angle, mod_dist)
##
## Methode wählt aus einer Knotenliste den Knoten, der in der
## Zielknotenliste (Tour) den bezogen auf das Depot geringsten
## Polarwinkel verursacht

  tour << tae_tour
  liste << q_rope
  depot << tour[1]
  x << 9999999999.9

  mod_angle << mod_angle
  mod_dist << mod_dist / 1000000

  _for i _over liste.fast_elements()
  _loop
    test_angle << depot.position.coord.angle_to(i.position.coord)
    test_dist << tour[tour.size - 1].position.distance_to(i.position.coord)
    test << mod_angle * test_angle.abs + mod_dist * test_dist
#    write(test_angle, tab_char, test_dist, tab_char, test)
    _if test < x
    _then
      x << test
      out << i
    _endif
  _endloop

  _return(out)
_endmethod
§

```