

# Ein Pilotsystem zur Planung effizienter Touren für den Transport von Blutspenden

Günter KIECHLE und Karl DÖRNER

*Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“  
angenommen.*

## Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt den Prototyp eines entscheidungsunterstützenden Softwarewerkzeuges für die Touren- und Fahrzeugeinsatzplanung des Blutspendendienstes des Österreichischen Roten Kreuzes.

Die Anwendung kann alle notwendigen Rohdaten über stattfindende Blutspendeaktionen aus den Informationssystemen des Roten Kreuzes entnehmen und eine vollautomatische Tagesplanung für alle benötigten Fahrzeuge durchführen. Als Ergebnis wird eine Liste aller Touren inklusive deren graphischer Darstellung erzeugt.

Für das Pilotsystem wurden mehrere heuristische und auch exakte Lösungsverfahren für das vorliegende kombinatorische Optimierungsproblem vom Typ Vehicle Routing Problem mit mehrfachen, abhängigen Zeitfenstern entwickelt und implementiert. Der Prototyp basiert auf einem Graphischen Informationssystem, das an die speziellen Bedürfnisse der Aufgabenstellung angepasst wurde. Er integriert alle Funktionen zur Datenein- und Ausgabe sowie die Verwendung der Optimierungsverfahren und macht sie unter einer einheitlichen Benutzerschnittstelle verfügbar.

Mit den entwickelten Verfahren lassen sich durchschnittlich bis zu 25,9 % der Fahrzeiten einsparen, die ohne Optimierung notwendig wären. Die Ergebnisse der Tourenoptimierung wurden im Praxisumfeld evaluiert und bestätigt. Eine Reduktion der Fahrzeiten führt zu einer Einsparung an Personalkosten und Aufwendungen für den Fuhrpark, sowie zu einer Entlastung der Umwelt durch geringeres Verkehrsaufkommen und reduzierten Treibstoffverbrauch.

## 1 Einführung und verwandte Arbeiten

Menschliches Blut ist eine für die medizinische Versorgung der Bevölkerung unverzichtbare Ressource und durch keine industriell hergestellte Substanz ersetzbar. Um ausreichende Mengen an Blutkonserven und anderen Blutprodukten zur Verfügung zu stellen, hält das Österreichische Rote Kreuz regelmäßig sogenannte Blutspendeaktionen ab, bei denen die Bevölkerung in der näheren Umgebung aufgerufen wird, Blut zu spenden. Blutspendeaktionen werden häufig in Verbindung mit Volksfesten, Kirtagen oder ähnlichen Veranstaltungen abgehalten und finden vermehrt an Wochenenden statt.

Bis vor wenigen Jahren mussten Blutspenden innerhalb von vier Stunden ab dem Zeitpunkt der Abnahme in der Blutspendenzentrale weiterverarbeitet werden. Diese Anforderung resultierte aus den Rahmenbedingungen der Verarbeitung von Spenderblut und ist länderspezifischen Besonderheiten unterworfen.

Aus dieser zeitlichen Einschränkung ergab sich ein erheblicher logistischer Aufwand für den zeitgerechten Transport der Blutspenden von den Aktionsorten in die Blutspendenzentrale. Für die Dauer einer Blutspendeaktion mussten die angefallenen Blutspenden in regelmäßigen Abständen abgeholt und in die Zentrale transportiert werden. Die Disposition der Fahrzeuge wurde ohne EDV-Unterstützung abgewickelt und nur selten wurde mehr als eine Blutspendeaktion pro Tour bedient. Dabei starteten alle Fahrzeuge zu Beginn in der Blutspendenzentrale und kehrten am Ende des Tages wieder dorthin zurück. In der vorliegenden Untersuchung wurden die Bundesländer Burgenland, Niederösterreich und Wien betrachtet. Für die notwendigen Transporte stand der zuständigen Blutspendenzentrale in Wien ein Pool an bis zu 20 Fahrzeugen zur Verfügung, die an Tagen mit vielen Blutspendeaktionen insgesamt bis zu 75 Fahrstunden absolvierten.

Die oben beschriebene Problemstellung der Blutspendetransporte kann als kombinatorisches Optimierungsproblem modelliert und unter der Zielsetzung kostenminimaler Transportaktivitäten mit verschiedenen heuristischen und optimalen Verfahren gelöst werden. Ähnliche Lösungsansätze wurden auch in anderen Ländern entwickelt, beispielsweise beschreiben Yi et al. (2003) Maßnahmen zur Transportoptimierung von Blutspenden für das Amerikanische Rote Kreuz.

Die praxisrelevante Optimierung von Problemen aus der Transportlogistik wird erst durch die Unterstützung von GIS bei der Bestimmung von realistischen Distanzinformationen zwischen den betrachteten Standorten ermöglicht. In wissenschaftlichen Untersuchungen wurden bisher oftmals Standardtestdaten mit euklidischen Distanzen zwischen den betrachteten Orten zur Optimierung verwendet (vgl. THE VRP WEB). Die daraus errechneten Lösungen sind in praktischen Szenarien nur begrenzt einsetzbar.

## 2 Modellierung des Tourenplanungsproblems

Eine wesentliche Zielsetzung des Roten Kreuzes ist eine kostenminimale Transportplanung für den Blutspendentransport. Gleichzeitig muss aber auch sichergestellt sein, dass keine Blutspenden zu spät in der Blutspendenzentrale eintreffen. Als Zielgröße des Optimierungsproblems wird deshalb die Summe aller benötigten Fahrzeiten und in weiterer Folge die Anzahl benötigter Fahrzeuge und Fahrer für den zeitgerechten Transport von Blutspenden betrachtet. Sie wird minimiert, indem fahrzeitminimale Touren für alle eingesetzten Transportfahrzeuge berechnet werden.

Das zugrunde liegende Optimierungsproblem ist als Vehicle Routing Problem mit mehrfachen, abhängigen Zeitfenstern bekannt und gehört zur Klasse der Vehicle Routing Probleme oder auch Tourenplanungsprobleme (vgl. TOTH et al., 2001). Es kann als gemischt-ganzzahliges lineares Programm formuliert werden, in dem die Zielsetzung fahrzeitminimaler Touren und die Nebenbedingungen zur Sicherstellung zeitgerechter Transporte als lineare Gleichungen formuliert werden (vgl. SCHRIJVER, 1998). Auf Basis dieses formalen Modells können maßgeschneiderte heuristische und exakte Lösungsverfahren entwickelt

werden. DOERNER et al. (2006) beschreibt das vollständige formale Modell des vorliegenden Optimierungsproblems.

Ein wesentliches Charakteristikum des vorliegenden Optimierungsproblems ist die Tatsache, dass eine Abholung der Spenden an einem Aktionsort den spätesten Zeitpunkt der darauf folgenden Abholung an diesem Ort bestimmt. Während einer Blutspendeaktion werden laufend und somit auch direkt nach einer Abholung Spenden abgenommen. Damit Blut nicht verdirbt, darf deshalb die Summe der Zeit zwischen zwei Abholungen und der Zeit, die für den Transport in die Zentrale benötigt wird, nicht größer als vier Stunden sein. Einsparungspotenzial im Vergleich zur manuellen Planung der Transporte ergibt sich vor allem aufgrund der Möglichkeit, mehrere Abholungen auf einer Tour zu verknüpfen.

### 3 Lösungsverfahren und numerische Ergebnisse

Für die computerunterstützte Berechnung von Lösungen für Tourenplanungsprobleme wird eine Reihe von kommerziellen Softwarepaketen wie beispielsweise ArcLogistics Route, Optitool oder Spider angeboten (vgl. SCHUMI 2005). Aufgrund der besonderen Eigenschaften von Blutspendetransporten kann jedoch keines der verfügbaren Produkte für diesen Anwendungsfall eingesetzt werden, da die zeitliche Abhängigkeiten zwischen den Abholungen von Blutspenden mit diesen Anwendungen nicht modelliert werden können.

Die Berechnung von Touren für die fahrzeitminimale Abholung von Blutspenden könnte beispielsweise über das erstellte Lineare Programm erfolgen, indem ein geeignetes kommerzielles Softwarepaket derartige Modelle eingesetzt wird. Jedoch zeigten praktische Tests, dass eine Lösung typischer Probleminstanzen in sinnvoller Zeit auch mit modernster Hard- und Software für das vorliegende Modell nicht möglich ist. Durchgeführte Testläufe wurden nach einer Laufzeit von mehr als zwei Wochen ergebnislos abgebrochen.

Als Alternative zur Lösung des Problems als Lineares Programm wurden einige maßgeschneiderte Heuristiken und auch Varianten von exakten Verfahren entwickelt (vgl. DOERNER et al. 2006). Heuristische Verfahren zeichnen sich dadurch aus, innerhalb kurzer Zeit und ohne großen Aufwand eine zulässige Lösung für ein Optimierungsproblem zu liefern, die allerdings sehr oft deutlich schlechter als die beste (= optimale) Lösung ist.

Alle erstellten Lösungsverfahren basieren auf der Idee, die Lösung schrittweise – also konstruktiv – zu entwickeln. Dazu werden die Touren jeweils um eine neue Abholung erweitert bis keine Erweiterungen mehr möglich sind. Bei der Auswahl der nächsten Abholung wird ein vorab berechneter Attraktivitätswert für alle möglichen Kombinationen von Abholungen verwendet.

Um praxistaugliche Rechenzeiten für eine garantiert optimale Lösung der realen Probleminstanzen zu erreichen, wurde zusätzlich ein Branch & Bound-Verfahren entwickelt, das sich die besonderen Eigenheiten der Problemstruktur zunutze macht. Dieses Verfahren verfolgt die Strategie, den Lösungsraum einer Optimierungsaufgabe nach und nach in immer kleinere Teilmengen aufzuspalten und für um für jede Teilmenge möglichst früh zu erkennen, dass sie die optimale Lösung nicht enthält und damit ausgeschlossen werden kann. Damit wird der zu durchsuchende Lösungsraum möglichst klein gehalten (vgl. LAND

et al. 1960). Die Problemgröße, mit der das Rote Kreuz in der Praxis konfrontiert ist, lässt sich nur mit diesem Verfahren in sinnvoller Zeit exakt lösen.

Nach erfolgter Tourenplanung werden die berechneten Touren in einen konkreten Fahrzeugeinsatzplan übersetzt. Als Ergebnis der Tourenplanung wird ein Dokument generiert, das für jedes Fahrzeug eine Liste der Touren mit vorgegebenen Start-, Aufenthalts- und Endzeiten für jede Fahrt enthält. Die Darstellung als Tourenliste wird durch eine Übersichtskarte der konkreten Routenführung ergänzt.

Um die Ergebnisse der entwickelten Lösungsverfahren beurteilen zu können, wurden Lösungen für insgesamt 22 Probleminstanzen aus historischen Aufzeichnungen der Blutspendentransporte berechnet und mit den tatsächlich durchgeführten Transporten verglichen. Zusätzlich wurden die theoretisch errechneten Lösungen auch auf ihre Praxisrelevanz hin untersucht, indem die errechneten Tourenpläne mit Aufzeichnungen aus Fahrtenbüchern verglichen und auf die praktische Gültigkeit hin überprüft wurden.

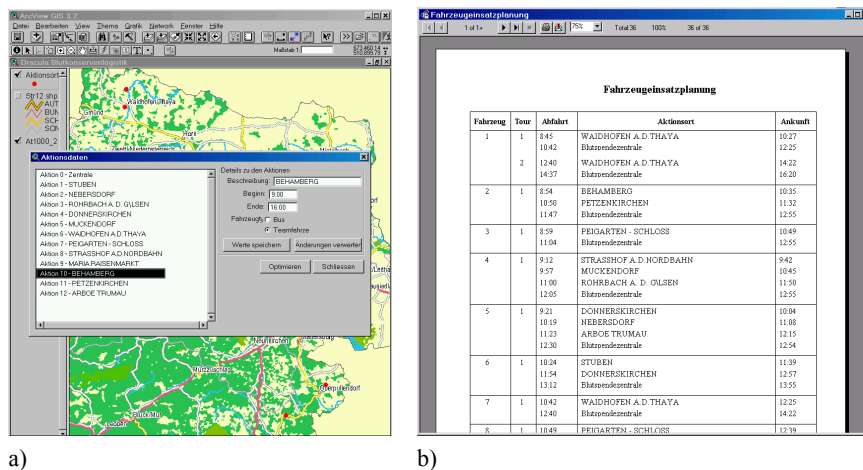
Insgesamt kann bei den untersuchten Probleminstanzen ein durchschnittliches Einsparungspotenzial an Fahrzeiten durch Verknüpfung von Abholungen von 25,9 % der Gesamtfahrzeit im Vergleich zur manuellen Planung erreicht werden. Schon mit einfachen und sehr schnellen Heuristiken kann ein durchschnittliches Einsparungspotenzial von 15,8 % erreicht werden. Die Reduktion der Fahrzeiten kann unmittelbar in Kosten für Personal und Fuhrpark umgelegt werden und ermöglicht damit erhebliche Kosteneinsparungen. Eine detaillierte Darstellung aller Berechnungsergebnisse inklusive der dafür benötigten Rechenzeiten ist in DOERNER et al. (2006) enthalten.

#### **4 Pilotsystem zur Planung effizienter Touren**

Um die oben beschriebenen Optimierungsverfahren für Blutspendentransporte im praktischen Einsatz nutzbar zu machen wurde ein Pilotsystem entwickelt, das die notwendigen Daten für die Optimierung aufbereitet, die Berechnungen startet und auch die Ergebnisse entsprechend darstellt (vgl. KIECHLE 2007).

Als Input für die Optimierung ist es notwendig, realistische Fahrzeiten zwischen allen Aktionsorten und der Blutspendezentrale zu berechnen und daraus eine Distanzmatrix zu erstellen. Dazu werden mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) zuerst die Aktionsorte auf einem digitalen Straßennetz positioniert. Anschließend werden die kürzesten Wege repräsentiert als Fahrzeiten zwischen allen Orten mit Hilfe der Daten aus dem Straßennetz berechnet. Für diese Berechnung werden die entsprechenden Durchfahrzeiten der einzelnen Straßensegmente herangezogen, die aus der Distanz und dem Straßentyp abgeleitet werden. In Abbildung 3a ist die Benutzerschnittstelle des Prototyps dargestellt.

Nachdem alle Input-Daten berechnet sind, kann das eigentliche Lösungsverfahren gestartet werden, das die Tourenplanung und die Fahrzeugeinsatzplanung durchführt. Die Ergebnisse werden dann an das GIS zurückgegeben und dort werden die Routen kartographisch dargestellt. Zusätzlich wird ein druckfähiger Fahrzeugeinsatzplan erzeugt, der am Bildschirm angezeigt werden kann und in Abbildung 3b dokumentiert ist.



**Abb. 1:** a) Benutzerschnittstelle des Pilotsystems und b) Fahrzeugeinsatzplan

Als Plattform für das Pilotsystem wurde ArcView Version 3.2a des Herstellers ESRI gewählt. Die einzelnen Komponenten des Systems sowie die Benutzerschnittstelle wurden mit Avenue in die Plattform integriert bzw. umgesetzt. Zur Implementierung der Lösungsverfahren wurde die Sprache ANSI C++ gewählt, wobei vorzugsweise Datenstrukturen der Standard Template Library (STL) eingesetzt wurden, die allgemein als sehr effizient betrachtet werden. Die beschriebenen Lösungsverfahren wurden in einer Dynamic Link Library (DLL) implementiert, die ohne großen Aufwand in die GIS Oberfläche integriert werden konnte.

## 5 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit beschreibt den Prototyp eines entscheidungsunterstützenden Softwarewerkzeuges für die effiziente Touren- und Fahrzeugeinsatzplanung des Blutspendedienstes des Österreichischen Roten Kreuzes.

Die erstellte Lösung kann auch für ähnliche logistische Problemstellungen adaptiert werden und hat das Potenzial, in vielen Bereichen eine erhebliche Reduktion des betrieblichen Verkehrsaufkommens zu erreichen, die sich in Einsparungen beim Kraftstoffverbrauch und in einer Reduktion der Flottengröße widerspiegelt. Das hat vorteilhafte Auswirkungen auf die Transportkosten von Gütern und Personen sowie den Verbrauch natürlicher Ressourcen. Als positive Folge für Umwelt und Gesundheit ergibt sich auch eine Senkung der durch den Verkehr verursachten Emissionen, der daraus resultierenden Schadstoffbelastung sowie der Lärmentwicklung.

Die dem Pilotsystem zugrunde liegende Problemklasse der Vehicle Routing Probleme ist für verschiedenste praktische Problemstellungen relevant und die dafür entwickelten Lösungsverfahren sind in vielen konkreten Anwendungen einsetzbar. Die modulare Architektur des Pilotsystems kann mit wenig Aufwand für verwandte Aufgaben wiederverwendet werden. In dieser Hinsicht ist die Verbindung von GIS und Tourenplanung ein vielverspre-

chender Ansatz für zukünftige Optimierungen im der Transportlogistik. Durch den Einsatz von GIS wird die notwendige Datenbasis geschaffen, um die Forschungsergebnisse aus der Tourenplanung vorteilhaft in der Praxis einzusetzen.

## Literatur

- DOERNER, K., GRONALT, M., HARTL, R., KIECHLE, G. & M. REIMANN (2006): Exact and Heuristic Algorithms for the Vehicle Routing Problem with Multiple, Interdependent Time Windows. – In: *Computers & Operations Research*, zur Publikation angenommen.
- KIECHLE, G. (2007): Using GIS for Optimisation in Transportation Planning. – In: *ERCIM News* No. 68, January 2007, p. 39-40.
- KOCH, A. & M. WALTER (2002): GIS-gestützte Tourenplanung im deutschen Presse-Grosso Rahmenbedingungen und Anwendungsbeispiel. – In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & G. GRIESEBNER (Hrsg.): *Geographische Informationsverarbeitung XIV. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2002*.
- LAND, A. & A. DOIG (1960). An automatic method of solving discrete programming problems. In: *Econometrica* 28, S. 497-520.
- POLACEK, M., DOERNER, K., HARTL, R., KIECHLE, G. & M. REIMANN (2005): Scheduling Periodic Customer Visits for a Traveling Salesperson. – In: *European Journal of Operational Research*, Volume 179, Issue 3, S. 823-837, Digital Object Identifier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2005.03.056>.
- SCHRIJVER, A. (1998): *Theory of Linear and Integer Programming*. John Wiley and Sons.
- SCHUMI, M. (2005): *Logistics Optimization Tools: Computer Aided Transport Management*. – Diplomarbeit, Universität Wien.
- THE VRP WEB: <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>, abgerufen am 24.4.07.
- TOTH, P. & D. VIGO (2001): *The Vehicle Routing Problem. Monographs on Discrete Mathematics and Applications*. SIAM, Philadelphia.
- YI, J. & A. SCHELLER-WOLF (2003): A Vehicle Routing Problem with Time Window Constraints and Variable Rewards: An Application in the American Red Cross. – In: *Manufacturing and Service Operations Management*, Vol. 5, Number 1, S. 74-77.