

1 EINFÜHRUNG

In zahlreichen Untersuchungen wird festgehalten, daß Maßnahmen aus der Verkehrstelematik Verkehr einsparen könnten. Ebenso sind Maßnahmen aus dem Bereich der Logistik geeignet Transportkosten zu minimieren. Eine Kombination dieser beiden Bereiche wurde dabei bisher kaum ins Auge gefaßt. Dabei könnte eine ‚dynamische Tourenoptimierung‘, also die Kombination von Tourenoptimierungen, die üblicherweise im Rahmen logistischer Verbesserungen von Firmen für ihre Fahrzeugflotten durchgeführt werden, mit Informationen aus der Verkehrstelematik, diese möglichen Einsparungen noch erhöhen. Dabei werden auch Fahrten vermieden, was auch aus Sicht der Verkehrspolitik zu wünschen ist. Die folgenden Ausführungen gehen demnach von der folgenden These aus:

Durch geeignete verkehrsabhängige Tourenberechnung kann der Wirtschaftsverkehr Staus zumindest soweit ausweichen, daß die dafür notwendigen Investitionen amortisierbar sind. Gleichzeitig verringern sich auch die Staus durch den ausweichenden Wirtschaftsverkehr, sodaß auch die Erreichung eines raumplanerisch und volkswirtschaftlichen Optimums näherrückt.

2 SYSTEMELEMENTE

In meinen Forschungen wird nun versucht, die notwendigen Systemelemente zu finden, und eine Beurteilung über deren Brauchbarkeit abzugeben.

Demgemäß sind dazu folgende Systemelemente notwendig:

- Datenerfassung
 - Statische Verkehrsdaten (Straßennetz und Hausnummern) bzw.
 - Dynamische Verkehrsdaten aus
 - Verkehrssensoren oder aus
 - Floating Car Data, die aus folgenden Elementen bestehen:
 - Positionsbestimmung (z. B. GPS)
 - Datenübermittlung (z. B. GSM)
- Datenverarbeitung und –speicherung
- Reisezeitschätzungen soweit notwendig
- Clearingstellen
- Algorithmen für die dynamische Tourenoptimierung

Dabei wird das Hauptgewicht auf den letzten Punkt gelegt, aber versucht die anderen Punkte zumindest grob auf das Vorhandensein abzuzeichnen.

Vorausgeschickt soll auch werden, daß eine dynamische Modellierung nur auf Hauptstrecken sinnvoll ist. In Nebenstraßen kann im Normalfall von einem langsamen aber freien Verkehrsfluß ausgegangen werden. Tatsächliche Störungen sind üblicherweise weder meß- noch prognostizierbar.

Welche Strecken zu den Hauptstrecken zu zählen sind, wird dabei einerseits durch funktionelle Kriterien bestimmt, andererseits durch die Erfassungsmöglichkeit der dynamischen Daten. Werden die Daten mit straßenseitigen Sensoren erfaßt, können nur Straßen einbezogen werden, die auch über Sensoren verfügen. Bei der Erfassung mit fahrzeugseitigen Geräten können hingegen nur Strecken einbezogen werden, die häufig genug von Fahrten der erfassenden Flotte durchfahren werden. Einige Erfassungsvarianten (z. B. Nummerntafelerfassung) entziehen sich dieser Unterscheidung auch, weshalb einige Autoren die Sensoren lieber in querschnittsbezogene und streckenbezogene einteilen. Da dies aber auf den ersten Blick nicht immer klar ist, halte ich mich an das äußerlich Sichtbare.

3 DATENERFASSUNG

3.1 Straßennetz und Hausnummern:

Sowohl international als auch national (und regional) werden Verkehrsgraphen von guter Qualität erzeugt. Auch Standortkoordinaten stehen in den meisten Ballungsräumen zur Verfügung. Während internationale Hersteller eher den amerikanischen Ansatz der Verspeicherung von Adreßintervallen entlang von Straßenkanten wählen, wird national meist genauer vorgegangen und Adressen punktgenau verortet. Die entsprechenden Algorithmen für das Matching stehen jeweils dazu passend zur Verfügung. Vor allem die internationalen Hersteller bieten auch TMC-Codierungen an, mit denen sich Verkehrsmeldungen in die Modellierung einbeziehen lassen. Spezielle Attribute (wie z. B. die benötigten Taxi-Ausnahmen) werden derzeit jedoch nicht angeboten.

3.2 Dynamische Daten

3.2.1 Herkömmliche Datenerfassung aus der Verkehrstelematik bzw. Mautabrechnung

Im Prinzip lassen sich Daten aus der herkömmlichen Verkehrstelematik in Geschwindigkeitsdaten umrechnen und damit auch für Tourenoptimierungen einsetzen.

Die Sensoren sind dabei üblicherweise als Induktionsschleifen ausgeführt. Derzeit bestehen in Österreich jedoch wenig derartige Anlagen. Die Daten der automatischen Zählstellen auf den Autobahnen, Schnell- und Bundesstraßen (nach der Verlängerung: Landesstraßen „B“) sind derzeit zum Großteil nicht online verfügbar. In diesem Bereich ist also massiver Handlungsbedarf (vor allem durch die ASFINAG) gegeben. Ein entsprechendes Projekt wurde zwar bereits angekündigt, die Umsetzung ist aber offensichtlich noch nicht sehr weit gediehen.

Alternativ können (z. B. im Wiener Bereich) auch die Daten privater Betreiber – wie z. B. von traffic.at – genutzt werden, die hier Infrarotsensoren mit Funkübertragung einsetzen.



Abbildung 11: Verkehrssensor von traffic.at [Foto: www.traffic.at]

Für die Autobahnen und Schnellstraßen könnten in Österreich auch die Daten aus der Mautabrechnung genutzt werden, wofür es bisher allerdings noch keine praktischen und rechtlichen Modelle gibt.

Die abgeleiteten Geschwindigkeiten können allerdings für Touren mit PKWs nur beschränkt eingesetzt werden, weil die freie Fahrgeschwindigkeit der PKWs üblicherweise über jenen der LKWs liegt. Fällt diese jedoch auch bei den LKWs deutlich unter das Maximum, so kann auch für die PKWs von einer entsprechenden Reduktion ausgegangen werden. In meinen Ausführungen wird allerdings davon ausgegangen, daß die Systeme üblicherweise auf LKWs angewendet werden und hierbei also kein Problem entsteht. Technisch ließen sich mit den bestehenden Mautbaken natürlich auch PKWs zählen, die mit entsprechenden Geräten ausgerüstet werden, auch wenn diese keiner Bemaßung unterzogen würden. Politisch würde das allerdings wohl als erster Schritt zu einer unpopulären PKW-Maut angesehen.

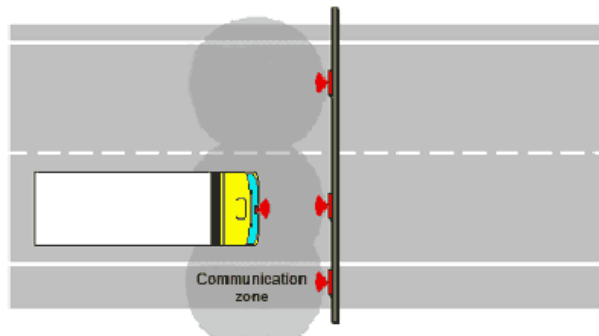


Abbildung 12: Prinzip der Mautabbuchung – die GO-Box im LKW kommuniziert mit dem Mautportal und führt so die Mautabbuchung durch [ASFINAG 2003]

3.2.2 Floating Car Data (FCD)

Als sofort verfügbare Alternative können (vor allem in Großstädten) Daten mit der Methode der Floating Car Data gewonnen werden. Floating Car Data sind Positionsdaten (teilweise auch gleich Geschwindigkeitsdaten) aus Fahrzeugen, die über Funk- oder Mobiltelefonverbindungen in eine Zentrale übermittelt werden. Dort werden diese mit den freien Fahrgeschwindigkeiten verglichen und damit Staus erkannt. Die Positionsdaten werden meist mit GPS-Empfängern erfaßt. Die FCD sind derzeit Sensordaten zwar noch in der Qualität unterlegen, weil die Kalibrierung in Straßen mit Ampeln noch nicht ausreichend ausgereift ist, aber haben im Gegenzug den besonderen Vorteil, daß sie direkt Reisezeiten abbilden und nicht aus der Menge vorbeifahrender Fahrzeuge auf deren Geschwindigkeit mit entsprechenden Modellen geschätzt werden muß. Aufgrund der notwendigen beobachteten Flottendichte, dürfte dieses Verfahren derzeit allerdings nur in Ballungsräumen sinnvoll einsetzbar sein. Für Überlandbereiche wäre dies wiederum durch Daten aus der herkömmlichen Verkehrstelematik zu ergänzen.

Die notwendige Fahrzeugausstattung kann mittlerweile von vielen Herstellern geliefert werden. Die notwendige Positionierung auf GPS-Basis weist derzeit noch eine gewisse Fehlerwahrscheinlichkeit auf, weil verschiedene geometrische und elektronische Fehlerquellen eine Positionierung sich bewegender Objekte nur mit bis zu 100 m Abweichung möglich machen. Zusätzliche Sensoren in den Fahrzeugen und nachträgliches Mapmatching erhöhen hier die Genauigkeit. In den nächsten Jahren wird durch die Ergänzung mit Egnos und Galileo eine Genauigkeit erreicht werden, die FCD-Systeme weiter verbessert. Auch die Kommunikationssysteme stehen mit Datenfunk, GSM und anderen in guter Qualität zur Verfügung.

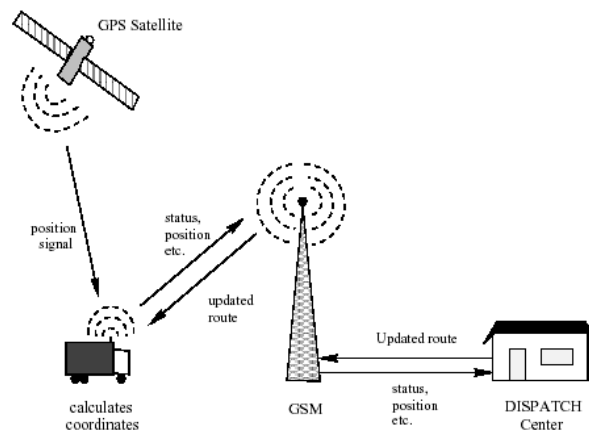


Abbildung 13: Aufbau eines GPS-GSM-Systems zur passiven Positionsbestimmung [LARSEN 2001]

In Wien laufen derzeit zwei konkurrierende Feldversuche mit zwei unterschiedlichen Taxifloten zur Gewinnung von FCDs. Das Deutsche Zentrum für Luft erfährt dabei Geschwindigkeiten und überträgt diese in eine Zentrale, die daraus Staubilder berechnet. Der freie Verkehrsfluß wird aus historischen Erfassungen in Nächten und Sonntag Vormittag ermittelt. Die Unterscheidung von Staus und Ampelrückstaus ist dabei derzeit noch nicht ganz geglückt. Die Stadt Wien als Kooperationspartner stellt daher noch gewisse Mängel fest.

Arsenal Research überträgt hingegen laufend Standortkoordinaten und errechnet die durchschnittlichen Geschwindigkeiten aus einer Routenberechnung zwischen diesen Punkten. Die Erfassung der freien Reisegeschwindigkeiten erfolgt hier durch Bestimmung jener Geschwindigkeit, die zumindest von 85 % der Verkehrsteilnehmer erreicht wird.

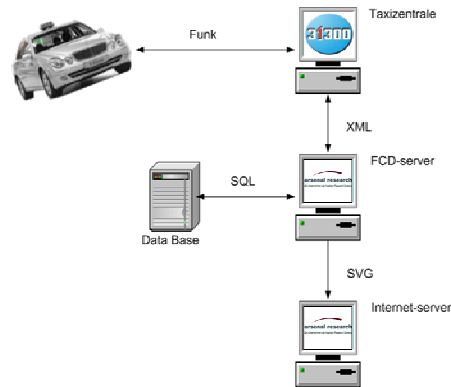


Abbildung 14: Systemarchitektur des Floating-Car-Data-Systems [LINAUER 2005]

Sinnvoll wäre eine Zusammenfassung mehrerer Flotten, um noch bessere Ergebnisse zu erzielen. Taxifloten haben generell den Nachteil, daß sie gewisse Strecken kaum benutzen (z. B. Autobahnen) bzw. gewisse Sonderrechte im Straßennetz haben (z. B. Mitbenutzung von Busspuren oder Ausnahmen von Fahrverboten). Diese sind eventuell im Modell zu berücksichtigen.

3.3 Reisezeitschätzung

Es konnte zwar zu einigen Reiseschätzungsmodellen Literatur gefunden werden, für die großmaßstäbige Anwendung erscheint, vieles aber ungeeignet oder noch nicht ausgereift. Da diese für Floating Car Data nicht gebraucht wird und das Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit auf die Tourenalgorithmen gelegt wird, wird das Thema an dieser Stelle nicht weiter verfolgt. Hier besteht für künftige Arbeiten noch eingehender Forschungsbedarf.

4 CLEARINGSTELLEN FÜR VERKEHRSDATEN

Derzeit gibt es – zumindest in Österreich – noch keine Ansätze für die Einrichtung von Clearingstellen für die Datenweitergabe von Verkehrstelematikdaten. Ein solcher Ansatz in Deutschland steckt ebenfalls erst in den Kinderschuhen. Für andere Länder wurde die Ausstattung mit derartigen Stellen nicht überprüft. Mit zunehmender Nutzung verkehrstelematischer Daten durch Verkehrsteilnehmer (und Logistikoftware im Vorfeld) wird die Einrichtung solcher Stellen rasch notwendig werden. Solange nur wenige Dateneigentümer den Markt bestimmen, können übergangsweise mit diesen noch Einzelverträge geschlossen werden.

5 DYNAMISCHE TOURENOPTIMIERUNGEN

Tourenoptimierungen sind NP -schwere kombinatorische Probleme. Nachdem exakte Lösungen größerer Datenmengen daher mit vertretbarer Rechenzeit kaum möglich sind, werden üblicherweise heuristische Verfahren eingesetzt, von denen zahlreiche Varianten zur Verfügung stehen. Die meisten hiervon gehen von statischen Daten aus. Die Varianz der Ergebnisqualität bewegt sich im einstelligen Prozentbereich, wobei die meisten Verfahren hauptsächlich auf akademischem Boden, vielfach vermutlich nur mit – wenn auch entsprechend großen – (euklidischen) Testdatensets, getestet wurden. Einige Modelle beziehen auch stochastische Einflüsse ein, die eventuell durch empirische Daten ersetzt werden könnten. Die Einbeziehung dynamischer Daten steckt nach umfangreichen Recherchen scheinbar noch in den Kinderschuhen. An dieser Stelle besteht also noch massiver Forschungsbedarf. Technisch ebenfalls noch ausständig sind leistungsfähige Datenbanken, die raum-zeitliche Abfragen zulassen. Aufbauend auf den Ansätzen von

Car, Stückelberger und Hasselberg lassen sich vermutlich Kürzeste-Wege-Matrizen (oder aber Savingslisten) aufbauen, die dynamisch verändert werden können. Insbesondere mit der Sensitivitätsanalyse von Hasselberg erscheint in diesem Bereich eine Optimierung der Neuberechnungen mit deutlich geringerem Rechenzeitbedarf möglich.

5.1 Savingsalgorithmus

Für die eigentliche Tourenoptimierung stehen sehr viele heuristische Verfahren zur Verfügung, wobei für eine erste Annäherung vermutlich ein tageszeitabhängiges Savingsverfahren gute Ergebnisse liefern sollte. Das Savingsverfahren beruht auf der Idee, daß die Ersparnis (Saving) einfach errechnet werden kann, wenn man statt Einzelzustelltouren jeweils zwei (und in der Folge mehrere) Ziele zu einer größeren Tour zusammenfügt. Bereits in dieser sehr einfach zu programmierenden Variante liefert dieser Algorithmus sehr gute Ergebnisse, die nur knapp hinter jenen zurückliegen, die der jeweils beste Algorithmus derzeit liefert. Nach einer eigenen beschriebenen Idee sollte der Savingsalgorithmus noch um eine tageszeitabhängige Variante erweitert werden.

5.2 Ameisensysteme

Obwohl nur 2 % der in der Natur vorkommenden Insektenarten sozial sind, umfassen diese weltweit mehr als 50 % der gesamten insektoiden Biomasse. Mit sozial ist gemeint, daß diese Insekten – inklusive aller Ameisen und Termiten sowie einigen Subspecies der Bienen und Wespen – in Kolonien vieler interagierender Individuen leben. Insektenkolonien sind fähig, eine Anzahl von Optimierungsproblemen zu lösen, das keines der Individuen selbst lösen könnte. Einige Beispiele finden den kürzesten Weg bei der Futtersuche, Aufgabenzuweisung bei der Verteilung der Arbeit an die Arbeitskräfte und Clusterung bei der Organisation der Brutkammern. Lauter Probleme, die auch in der realen Welt Gegenstücke haben. Insektenkolonien haben mehr als 100 Millionen Jahre Erfahrung bei der Lösung solcher Probleme, möglicherweise hat dies sogar einen evolutionären Vorteil gegenüber der humanen Species, die erst seit rund 50000 Jahren existiert. Um einem Schwarm die Möglichkeit der Kooperation zu geben, ist eine Form der Kommunikation notwendig. Ein Beispiel für diese Kommunikation ist das Legen von Pheromonspuren, wie dies einige bestimmte Species der Ameisen tun. Eine auf Futtersuche befindliche Ameise wird den Weg, den sie dorthin genommen hat, markieren indem sie entlang des Weges dorthin eine bestimmte Menge von Pheromon versprüht, welche die anderen Ameisen auf Futtersuche ermutigt (aber nicht zwingt) diesem Weg ebenfalls zu folgen.

Die Vorzüge der Selbstorganisation als Basis für die Problemlösung zeigen sich vor allem in ihrem verteilten und robusten Charakter. Tatsächlich kann eine Ameisenkolonie ein sinnvolles Verhalten bewahren, auch wenn ein Großteil der Ameisen für eine zeitlang ausfällt.

Ameisensysteme sind heuristische Suchverfahren, die sich an dem Verhalten von Ameisen bei der Futtersuche orientieren. 1991 entwickelten Mailänder Wissenschaftler unter Führung von Marco Dorigo Algorithmen, die auf dem Verhalten der Ameisen basieren. Die Besonderheit dieses Verfahrens ist vor allem die Dynamik des Optimierungsprozesses. So wird der Prozeß auf Grund der gewonnenen Erfahrungswerte ständig angepaßt. Er profitiert von gewonnenen Erkenntnissen.

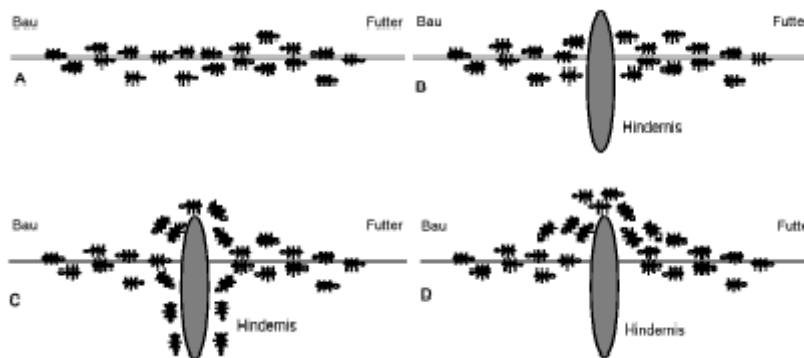


Abbildung 15: Ameisensysteme – die grundlegende Idee [KLEIN 2001]

Zwar haben Ameisen Augen, doch schon auf Grund ihrer bodennahen Position ist jeder Grashalm ein unüberschaubares Hindernis für sie. Ameisen besitzen eine Drüse am Hinterleib, über die sie den chemischen Lockstoff Pheromon auf ihrem Weg hinterlassen können. Nachfolgende Ameisen orientieren sich am Pheromon ihrer Vorgänger und wählen mit höherer Wahrscheinlichkeit den am stärksten markierten Weg. Dieses Verhalten wird dabei aufgrund von Erkenntnissen über eine reale Ameisen-Species (Linepithaeme humile), die praktisch blind ist, beschrieben.

Die grundlegende Funktion kann an folgenden Illustrationen erklärt werden:

Das Beispiel geht von Ameisen aus, die einen Weg zwischen ihrem Ameisenhaufen und einer Futterquelle suchen.

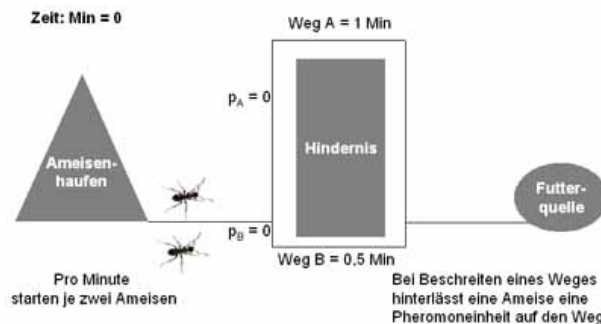


Abbildung 16: Ameisensysteme – Beispiel zum Zeitpunkt t = 0 [HANSMANN 2004]

Dabei bestehen zwei Wegalternativen um ein Hindernis, wobei der längere Weg A doppelt so lang sei wie der kürzere Weg B. Weiterhin sollen pro Minute jeweils zwei Ameisen vom Nest aus starten. In Minute 0 starten somit zwei Ameisen und finden noch keinen der Wege markiert vor. Da sie das Hindernis nicht übersehen können und auch die Pheromon-Duftspuren keinen Hinweis geben, sei unterstellt, daß eine Ameise den längeren Weg A und eine den kürzeren Weg B einschlagen wird.

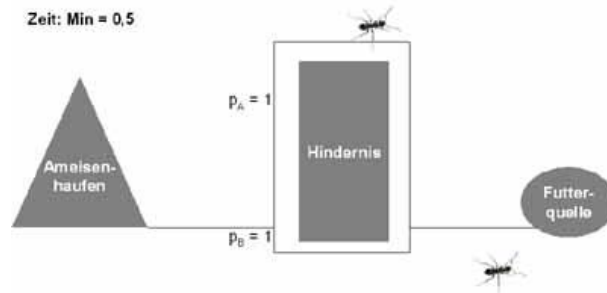


Abbildung 17: Ameisensysteme – Beispiel zum Zeitpunkt $t = 0.5$ [HANSMANN 2004]

Nach einer halben Minute hat die Ameise, die Weg A eingeschlagen hat, gerade den halben Weg zurückgelegt. Die Ameise auf dem kürzeren Weg hat aber die Futterquelle schon erreicht und macht sich bereits auf den Rückweg. Nach einer Minute hat sich das Bild wie folgt verändert:

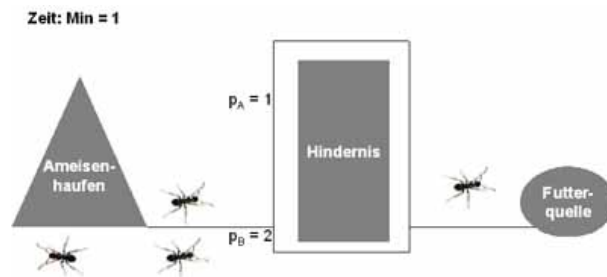


Abbildung 18: Ameisensysteme – Beispiel zum Zeitpunkt $t = 1$ [HANSMANN 2004]

Während die Ameise auf dem längeren Weg gerade die Futterquelle erreicht, kehrt die auf dem kürzeren bereits ins Nest zurück. Starten zwei weitere Ameisen, so finden sie auf ihren alternativen Wegen bereits Informationen ihrer Vorgänger vor. Der untere Weg ist bereits mit zwei Pheromoneinheiten markiert, während sie auf dem oberen Weg lediglich eine Einheit vorfinden. Sie werden somit mit höherer Wahrscheinlichkeit den kürzeren Weg B einschlagen. Dadurch steigert sich wiederum die Anziehungskraft des Weges für weitere Nachfolger, so daß nach einiger Zeit eine Ameisenstraße auf dem kürzeren Weg B entsteht:

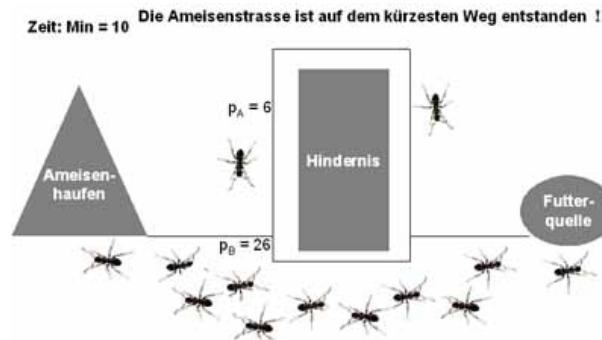


Abbildung 19: Ameisensysteme – Beispiel zum Zeitpunkt $t = 10$ [HANSMANN 2004]

Vom Beispiel losgelöst, kann also festgestellt werden: Ein kürzerer Weg kann von den Ameisen deswegen gefunden werden, weil dieser im Vergleich zu einem längeren Weg im gleichen Zeitraum von mehr Ameisen durchlaufen werden kann als der längere. Diese vielleicht sehr kleine Präferenz lockt nunmehr im nächsten Zeitraum wieder ein wenig mehr Ameisen auf diesen Weg. Dieser Anziehungseffekt wird langsam immer stärker, bis fast alle Ameisen dem kürzeren Weg folgen. Das Pheromon hält somit die Erfahrungen der Ameisen auf der Wegsuche fest und kann mit einer Art kollektivem Gedächtnis (Gehirn) der Kolonie verglichen werden.

Dabei ist es ein wichtiger Mechanismus, daß die Ameisen lediglich eine mit der Stärke der Markierung korrespondierende Wahrscheinlichkeitsauswahl treffen und nicht immer dem stärker markierten Weg folgen. In diesem Fall könnte die anfänglich zufällige Wegsuche der Ameisen die Präferenz auf einen schlechten Weg locken, der nicht auf Grund seiner Güte zur Straße wird, sondern weil er am stärksten markiert ist. Weichen manche Ameisen vom Weg ab, so werden weitere Wege untersucht, die eventuell Abkürzungen darstellen. Der Erfolg dieser Abkürzungen wird via Pheromon zurückgemeldet und weitere Ameisen werden folgen.

Eine Ameisenstraße auf dem kürzesten Weg entsteht.

Allerdings sei an dieser Stelle angemerkt, daß die Computer-Ameisen genau wie ihre natürlichen Vorbilder nicht in jedem Fall die optimale Lösung finden. Jedoch sind die Lösungen stets nahe am Optimum.

Die Lösung eines Traveling Salesman Problems (TSP) mit einem Ameisensystem zeigt Hansmann anschaulich an einer online verfügbaren Simulation unter <http://www.ameisenalgorithmus.de/appletantstour.htm>. Bullnheimer leitet die ersten Tourenplanungsversionen des Ameisenalgorithmus von TSP-Versionen ab, d. h. mit anderen Algorithmen zusammengestellte Touren werden mit Hilfe der Ameisen weiter optimiert. Spätere Ansätze liefern weitere Varianten. Abweichend von den natürlichen Ameisen, wird im nachgebauten Algorithmus kein Pheromon verwendet, sondern man behilft sich mit Gleitkommazahlen, welche die Präferenzen für eine bestimmte Strecke ausdrücken. An einer Weggabelung stehend erfolgt die Auswahl, welcher Weg eingeschlagen wird durch die künstlichen Ameisen z. B. durch eine Zufallsauswahl nach dem Monte-Carlo-Verfahren. Die Pheromonablage erfolgt allerdings etwas anders als bei ihren lebendigen Vorbildern erst am Ende der Berechnung. Mehrere Iterationen bilden nachkommende Ameisen ab. Die Vorbelegung erfolgt im Allgemeinen mit konstanten Werten. Das Verduften wird durch eine Halbwertszeit abgebildet, mit dem hohe Pheromonwerte früher Iterationen immer weiter abgeschwächt werden.

Eine andere Variante ist, nur die beste Lösung für das Pheromonupdate heranzuziehen. Es wurde herausgefunden, daß diese Updating Strategie die effizientere als jene in frühen Ameisensystemen ist, in der alle konstruierten Lösungen benutzt wurden, um die Pheromone upzudaten. In späteren Ansätzen wird beides kombiniert; die besten Ergebnisse werden dabei in Form der „elitären Ameisen“ als Zusatz zu den laufenden Pheromonspuren einbezogen.

Reale Ameisen haben eine implizite Lösungsqualität: bereits das Aufspüren der Pheromonspuren zieht bereits die Lösung nach sich, indem damit mehr Ameisen den kürzeren Weg benutzen. Bei künstlichen Ameisen ist dies nicht in allen Fällen so. Abhängig von der Problemstellung aber auch der Implementation wird diese implizite Lösung nachgebildet oder auch nicht. Auf Ameisensystemen beruhende Routinglösungen können z. B. auf diesem impliziten Mechanismus aufbauen, während statische Optimierungsprobleme davon nicht profitieren. Dieser Zusammenhang entsteht durch die Proportionalität zwischen der Ameisen- und der Lösungsgeschwindigkeit.

Zahlreiche Anwendungen der Ameisensysteme haben in unterschiedlichen Problemstellungen erwiesen, daß Ameisenalgorithmen gute Lösungen (nahe am Optimum) in einer angemessenen Rechenzeit finden können.

Während die Rechenzeit bei den meisten anderen heuristischen Ansätzen eine wichtige Größe ist, kann dies bei den Ameisensystemen gut in Griff gebracht werden, weil die Ameisenheuristik üblicherweise eine vordefinierte Anzahl an Iterationen durchläuft.

Neben Routenproblemen wurden Ameisenalgorithmen bereits für zahlreiche andere Optimierungsprobleme erfolgreich eingesetzt, z. B. Bemalungsprobleme, Optimierung von Industrierobotern etc.

5.3 Systemkombinationen

Weiters sind in der Arbeit Verbesserungen des Savingsalgorithmus beschrieben, die auf den Ameisensystemen beruhen. Wie bei natürlichen Ameisen wird der kürzeste Weg durch mit der Zeit verduftende Pheromonspuren gefunden. Dort, wo bereits die meisten Ameisen vorbeigegangen sind, ist der Duft am stärksten, und der Weg entlang dieser wird daher am wahrscheinlichsten eingeschlagen. Analog zu den SavingsAnts (der meines Erachtens einfachsten und wirkungsvollsten Kombination des Savingsalgorithmus mit den Ameisensystemen) und eventuell einer zusätzlichen Kombination mit genetischen Algorithmen im Bereich der Vorgabevariablen lassen sich damit wahrscheinlich noch weitere Annäherungen an die Realität erzielen.

6 LÖSUNGSANSATZ

Unter den untersuchten Algorithmen erscheinen – wie bereits zuvor angeführt – besonders die Savings-Verfahren, die mit Ameisenalgorithmen kombiniert werden, gut für dynamische Daten weiterentwickelbar. Auch die Kombination der Ameisensysteme mit genetischen Algorithmen erscheint als Weiterentwicklung interessant.

Zielführend erscheint mir für einen ersten Arbeitsansatz folgende Lösung:

1. Man errechne für jedes Zeitintervall (z. B. stündlich oder halbstündlich) eine eigene KW-Matrix und berechne die dazugehörigen Savings für diese Zeitperioden.
 - Grundsätzlich kann von einer Start-KW-Matrix ausgegangen werden, die auf einem Straßennetz mit vollkommen freiem Verkehrsfluß beruht.
 - Weiters kann davon ausgegangen werden, daß dynamische Verkehrsdaten nur für die wichtigsten Straßen vorliegen, daher kann sich die Neuberechnung der KW-Matrix auf Strecken beschränken, die Hauptstraßen benutzen; schließlich ist ja davon auszugehen, daß keine Strecken aus dem reinen Nebenstraßenbereich ins Hauptstraßennetz verlegt werden, wenn dort die Geschwindigkeiten sinken; wenn zusätzlich auch noch die Region bekannt ist, innerhalb derer sich die Geschwindigkeiten geändert haben, kann so die Anzahl der zu berechneten Matrixelemente zusätzlich verringert werden. Alternativ ist noch zu prüfen, ob nicht Algorithmen, die ganze KW-Matrizen in einem Durchgang errechnen, wie z. B. der Floyd-Algorithmus, die Neuberechnung der gesamten KW-Matrix rascher bewältigen als die oben beschriebenen Methoden.
2. Man beginne mit dem größten Saving s_{ijt} (also der Ersparnis beim Zusammenlegen der Touren zu Ziel i und Ziel j in der Zeitscheibe t), und verbinde zwei Einzeltouren miteinander, wobei stets darauf zu achten ist, ob aufgrund der aufzusummierenden Fahrzeiten nicht das nächste Saving aus der benachbarten Zeitperiode zu entnehmen ist. Durch sequentielle Abarbeitung der Savings werden Touren zusammengesetzt.

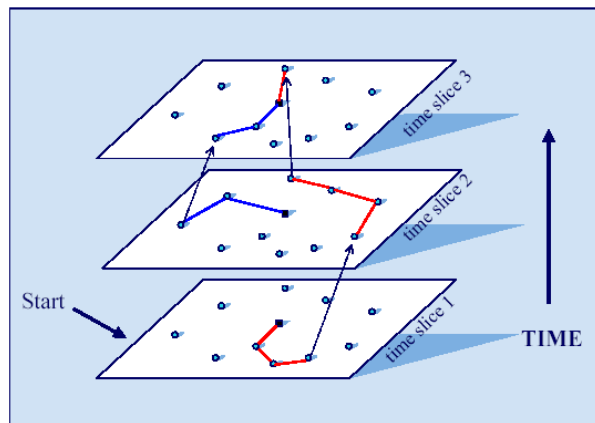


Abbildung 20: Die Aufteilung des Modellraums in Zeitscheiben und der Routingprozess zweier Touren durch die Zeit [DONATI 2003]

Alternativ kann auch mit Zielen mit hohem Ladevolumen begonnen werden bzw. diese bevorzugt werden; dadurch lassen sich bei sehr unterschiedlichen Liefermengen – mit Einschränkungen – auf einfachem Wege Touren einsparen.

- Da diese extrem suboptimal sein könnten, wird einerseits versucht, diese mit einem TSP-Algorithmus nachzubearbeiten (wobei natürlich ebenfalls auf die tageszeitabhängigen Reisezeiten zu achten ist), andererseits durch Iterationen nach dem Vorbild der Ameisensysteme und genetischen Algorithmen das Ergebnis zu verbessern.

Durch Vergleiche mit tatsächlich gefahrenen Touren kann die Lösungsqualität aufgezeigt werden.

7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß sowohl passende dynamische Daten verfügbar sind, als auch grundlegende Algorithmen. Im Bereich der Datenerfassung als auch der Clearingstellen sind noch einige organisatorische Verbesserungen möglich, die einem solchen Projekt zum Erfolg verhelfen könnten. Die dynamischen Tourenalgorithmen stehen zwar im Prinzip bereits zur Verfügung, bedürfen jedoch noch eingehender Weiterentwicklung. Es kann jedoch eine weitgehende Optimierungsmöglichkeit erwartet werden.

In den nächsten Monaten sollen die Forschungen erweitert werden und eine Versuchsanordnung errichtet werden, mit der Rechenergebnisse mit realen Flotten verglichen werden können.

8 LITERATUR

- ASFINAG 2003; Das österreichische Mautsystem. Informationsfolder, Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (Hrsg.), Wien 2003
- BELL 1994; A stochastic user equilibrium (S. U. E.) path flow estimator for urban road networks, Michael G. H. Bell und Caroline M. Shield, in: How to control mobility - les cahiers du MET collection Trafics novembre 1994, Namur (B) 1994 (<http://www.met.be/metpub/src/traffic06/p21.html>)
- BOCK 2004; Einsatz wechselseitig asynchron und synchron kommunizierender Agenten in der Transportplanung, Stefan Bock, Wilhelm Dangelmaier und Hubertus Franke, Paderborn 2004 (<http://www.whni.uni-paderborn.de/publikationen/download.php3?id=1704&filename=paper.pdf&paper=BDF2004.pdf&parent=%2Fprojekte%2Fprojekt.php3%3Fid%3D71>)
- BOYSEN 2004; Schwarmintelligenz und das Hochzeitsproblem - Ameisenalgorithmen zur Lösung kombinatorischer Optimierungsprobleme, Nils Boysen, Hamburg 2004 (<http://www.ameisenalgorithmus.de/downloads/hochzeitsproblem.pdf>)
- BOYSEN 2004a; Ameisenalgorithmen, Nils Boysen, Hamburg 2004 (<http://www.ameisenalgorithmus.de/downloads/ameisenalgorithmen.pdf>)
- BULLNHEIMER 1997; Applying the Ant System to the Vehicle Routing Problem, Bernd Bullnheimer, Richard F. Hartl und Christine Strauss, 2nd international Conference on Metaheuristics – MIC 97, Sophia-Antipolis (F) 1997 (<http://osiris.tuwien.ac.at/~wgarn/VehicleRouting/neo/data/articles/bullnheimer97AS.pdf>)
- BULLNHEIMER 1999; An improved Ant system Algorithm for the Vehicle Routing Problem, Bernd Bullnheimer, Richard F. Hartl, Christine Strauss, 6th Viennese workshop on Optimal Control, 1997, publiziert in Annals of Operations Research 89 (Dawid, Feichtinger und Hartl (Hrsg.)): Nonlinear Economic Dynamics and Control, S. 319-328, 1999
- CAR 1993; Hierarchisches Straßennetz – Konzept für effiziente Wegesuche, Adrijana Car, in Norbert Bartelme (Hrsg.): Grazer Geoinformatiktage 93, Mitteilungen der geodätischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge 76, Graz 1993
- DIJKSTRA 1959; A note on two problems in connexion with graphs, E. W. Dijkstra, Numer. Math., 1:269–271, 1959
- DOERNER 2002; SavingAnts for the Vehicle Routing Problem, Karl Doerner, Manfred Gronalt, Richard F. Hartl, Christine Strauss, Michael Stummer, in Proceedings of the EvoWorkshops 2002 EuroGP 2002, Kinsale, Ireland 2002 (<http://www.wu-wien.ac.at/am/Download/report63.pdf>)
- DOMSCHKE 1997; Logistik, Bd. 2 Rundreisen und Touren, Wolfgang Domschke, Verlag Oldenbourg, München 1997
- DONATI 2003; Time Dependent Vehicle Routing Problem with a Multi Ant Colony System, Alberto V. Donati, Roberto Montemanni, Norman Casagrande, Andrea E. Rizzoli und Luca M. Gambardella, Manno (CH) 2003 (<http://www.idsia.ch/idsiareport/IDSLA-17-03.pdf>)
- DORIGO 1996; Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents, Marco Dorigo, V. Maniezoo und A. Colomi, IEEE Trans. Sys., Man, Cybernetics 26 (1996) 1, S. 29-41
- DORIGO 1997; Ant Colonies for the traveling Salesman Problem, Marco Dorigo und Luca Maria Gambardella, BioSystems 43, S. 73 –81, 1997
- FLEISCHMANN 2004; Time-Varying Travel Times in Vehicle Routing, Bernhard Fleischmann, Martin Gietz und Steffen Gnutzmann, Transportation Science 38 (2), S. 160-173, 2004 (<http://www.extenza-eps.com/INF/doi/pdf/10.1287/trsc.1030.0062>)
- FLOYD 1962; Algorithm 97, Shortest path, Robert W. Floyd, Communications of the ACM, 5(6), S. 345, 1962
- FUTTER 2000; Internet Mapping mit Business to Business Daten, Nikolaus Futter und Wolfgang W. Wasserburger, in J. Strobl (Hrsg.), Business Geographics, Salzburg 2000
- GAMBARDELLA 1999; MACS-VRPTW: A multiple Ant Colony System for Vehicle Routing Problems with Time Windows, Luca Maria Gambardella, Éric Taillard und Giovanni Agazzi, Technical Reports IDSIA 06-99, Lugano (CH) 1999 (<http://osiris.tuwien.ac.at/~wgarn/VehicleRouting/neo/data/articles/MACS-VRPTW.pdf>)
- GHIANI 2003; Real-Time Vehicle Routing: Solution Concepts, Algorithms and Parallel Computing Strategies, Gianpaolo Ghiani, Francesca Guerriero, Gilber Laporte und Roberto Musmanno, Rende (I) 2003 (<http://www.hpcc.unical.it/papers/06.01.02.pdf>)
- GROSSO 2000; Path Flow Estimator, Sergio Grosso, Newcastle upon Tyne 2000 (<http://www.staff.ncl.ac.uk/sergio.grosso/PFE/pfe.html>)
- HANSMANN 2004; Karl-Werner Hansmann und Nils Boysen, Ameisensysteme, Hamburg 2004 (<http://www.ameisenalgorithmus.de/>)
- HASELBERGER 2005; Das Projekt VEMA – Stand Jänner 2005, Rainer Haselberger, in: Manfred Schrenk (Hrsg.), 10. Symposium Computergestützte Raumplanung, Wien 2005 (http://mmp-tk1.kosnet.com/corp/archiv/papers/2005/CORP2005_HASELBERGER.pdf)
- HASSELBERG 2000; Some results on heuristical algorithms for the shortest path problems in large road networks, Stephan Hasselberg, Köln 2000 (<http://www.ub.uni-koeln.de/ediss/archiv/2000/11v3933.pdf>)
- JUNG 1998; A genetic algorithm for the vehicle routing problem with time-dependent travel times, Soojung Jung und Ali Haghani, Maryland 1998 (<http://152.99.129.29/its/cdrom/4139.pdf>)
- JUNG 2001; Flottenmanagementsysteme – Grundlegende Technologien, Funktionen und Marktüberblick, Jürgen Jung und Bodo L. van Laak, Koblenz 2001
- KERBACHE 2004; Planning and Scheduling Transportation Vehicle fleet in a Congested Traffic Environment, Laoucine Kerbache und Tom van Woensel, Paris 2004 (http://www.hec.fr/hec/fr/professeurs_recherche/upload/cahiers/CR803kerbache.pdf)
- KIM 2004; Optimal Vehicle Routing with Real-Time Traffic Information, Seongmoon Kim, Mark E. Lewis und Chelsea C. White III, Michigan 2004 (<http://www.orie.cornell.edu/~melewis/pubs/real-time.pdf>)
- KLEIN 2001; Ameisensysteme, Seminararbeit zu „Moderne Heuristiken“, Arno Klein, Clausthal 2001 (<http://www2.student-online.net/Publikationen/680/seminararbeit.pdf>)
- LINAUER 2005; Generierung streckenbezogener Verkehrsdaten als Basis für den Einsatz in Verkehrstelematiksystemen, Martin Linauer, Wien 2005
- RATLIFF 1999; Estimating Traveling Time/Speed, Donald H. Ratliff und Xinglong Zhang, Atlanta 1999 (<http://www.isye.gatech.edu/research/files/misc9716.pdf>)
- SCHÄFER 2005; Neue Ansätze im Verkehrsmonitoring durch Floating Car Daten, Ralf-Peter Schäfer, Astrid Gühneemann, Kai-Uwe Thiessenhusen, 19. Verkehrswissenschaftliche Tage "Mobilität und Verkehrsmanagement in einer vernetzten Welt", 22. bis 23. September 2003, Technische Universität Dresden, Dresden 2005 (<http://eprints.vf.ba.dlr.de/191/02/VWT%5FDresden%5FSchaefer.pdf>)
- SCHECHTNER 2002; Auswirkungen von Verkehrstelematiksystemen auf Stadt- und Regionalräume, Katja Schechtner, in Manfred Schrenk (Hrsg.): Computer gestützte Raumplanung 2002, Wien 2002 (http://www.corp.at/corp_relaunch/papers_txt_suche/CORP2002_Schechtner.pdf)
- STÜCKLBERGER 1993; GIS und „Multilevel“-Routensuche, Anton Stücklberger und Manfred Wieser, in Norbert Bartelme (Hrsg.): Grazer Geoinformatiktage 93, Mitteilungen der geodätischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge 76, Graz 1993
- VANDAELE 2000; A queueing based traffic flow model, Nico Vandaele, Tom van Woensel und A Verbruggen, Transportation Research-D: Transport and environment, January, vol. 5 no 2, S. 121-135
- van WOENSEL 2003; A vehicle routing problem with stochastic travel times, Tom van Woensel, Laoucine Kerbache, Herbert Peremans und Nico Vandaele, Samos 2003 (<http://www.icsd.aegean.gr/aic2003/Papers/vanWoensel-Kerbache.pdf>)