



**Bild 1** Gemeinsam mit Vertretern der Logistikbranche hat X-Integrate die Anforderungen an eine Software für automatische Tourenplanung, die auf linearer Optimierung basiert, evaluiert. Neben den technischen Anforderungen wurde hierbei auch der Faktor Mensch berücksichtigt. So haben manche Fahrer zum Beispiel bereits eine feste Region, an welche Sie sich gewöhnt haben und die sie auch in Zukunft befahren wollen. *Bild: PantherMedia/AndreyPopov*

**X-Integrate hat die Anforderungen an eine Software für automatische Tourenplanung evaluiert**

# Tourenoptimierung - kann doch jedes Navi?

DHL, UPS und Hermes geben sich auf unseren Straßen heute die Klinke – respektive den Parkplatz in zweiter Reihe – in die Hand. Der Paketversand boomt in Zeiten des Onlinehandels und die Dienstleister müssen sich angesichts des weiterhin wachsenden Geschäfts grundsätzliche Fragen zur Tourenoptimierung stellen: Wie kommt die Aufteilung der Boten auf einzelne Gebiete zustande? Woher weiß man, ob der Bote auch den kürzesten Weg nimmt? Wie schafft man es, dass er genau einen Arbeitstag beschäftigt ist?

**TEXT:** Maximilian Lorse, Paul Schal

**T**ourenoptimierung ist elementarer Bestandteil der Logistik, die mit einem Umsatz von 222 Milliarden Euro die drittgrößte Branche in Deutschland

ist. Es lässt sich also erahnen, welches Potenzial eine verbesserte Tourenplanung besitzt. Das gilt nicht nur aus monetärer, sondern auch aus umweltpolitischer Sicht, denn durch eine Optimierung der Touren wird auch weniger CO<sub>2</sub> ausgestoßen und

die Klimaziele können eher eingehalten werden. Per Definition ist Tourenoptimierung der Planungsvorgang, in welchem Transportaufträge zu Touren zusammengefasst werden und anschließend die Reihenfolge festgelegt wird. Gerne da-

mit verwechselt wird die Routenoptimierung, die aber nur das Ergebnis einer entsprechenden Anfrage an das Navigationsgerät ist. Tourenoptimierung hingegen bedeutet: Man muss bestimmte Punkte anfahren, wobei die beste Reihenfolge jene mit den kürzesten Durchlaufzeiten ist. Genau diese berechnet die Tourenoptimierung. Sie erfolgt im Wesentlichen in zwei Schritten:

- Zusammenfassung von Zwischenstoppen zu Touren (Clustering) und
- Optimierung der einzelnen Touren (Routenoptimierung).

Was die Planung erschwert ist die Tatsache, dass die zwei Schritte gegenseitig voneinander abhängen. Schlecht zusammengefasste Touren führen zu längeren Einzelstrecken, wohingegen es sich bei der Optimierung einer einzelnen Tour herausstellen kann, dass Zwischenstopps besser in einer anderen Tour enthalten sind. Je nach Lösungsansatz wird der Fokus eher auf den ersten oder den zweiten Schritt gelegt.

## Ein Universum an Möglichkeiten

Die der Tourenoptimierung zugrunde liegende Herausforderung nennt man auch Traveling Salesman Problem. Einst für den (mittlerweile aussterbenden) Beruf des Handlungsreisenden entworfen, lässt sich das Problem 1:1 auf die Paketdienstleister von heute übertragen. Diese müssen eine bestimmte Menge an Städten genau einmal besuchen und die zurückgelegte Strecke soll hierbei möglichst klein sein. Trotz der vermeintlichen einfachen Aufgabenstellung handelt es sich hierbei um eine der mathematisch schwersten Arten von Problemen, ein sogenanntes NP-schweres Problem (NP = nichtdeterministische Polynomialzeit). Vereinfacht ausgedrückt: Es gibt keine effektiven genauen Algorithmen, die das Problem für große Werte schnell lösen können. Zur Veranschaulichung der Größenordnung: Die Anzahl der verschiedenen Wege, auf denen der Paketbote 21 Städte besuchen kann, beträgt bereits über eine Trillion (eine Zahl mit 18 Nullen). Bei 80 Städten gibt es bereits mehr mögliche Wege als Atome im Universum. Auch ein Computer hat angesichts der Größe dieser Zahl Schwierigkeiten, alle Möglichkeiten einfach durchzuprobieren.

Glücklicherweise gibt es Ansätze, wie sich die Möglichkeiten in der Praxis



**Bild 2** Eine Trillion Wege bei 21 Städten: Die Tourenplanung stellt ein NP-schweres (NP = nichtdeterministische Polynomialzeit) Problem dar. Bild: X-Integrate

„Die Anzahl der verschiedenen Wege, auf denen der Paketbote 21 Städte besuchen kann, beträgt bereits über eine Trillion (eine Zahl mit 18 Nullen).“

deutlich reduzieren lassen. Man unterscheidet hierbei grundsätzlich zwischen exakten Algorithmen, die schlussendlich immer eine optimale Strecke finden, und Heuristiken. Letztere liefern zwar oft gute Ergebnisse, jedoch ist nicht sicher, dass die gefundene Lösung tatsächlich die Beste ist.

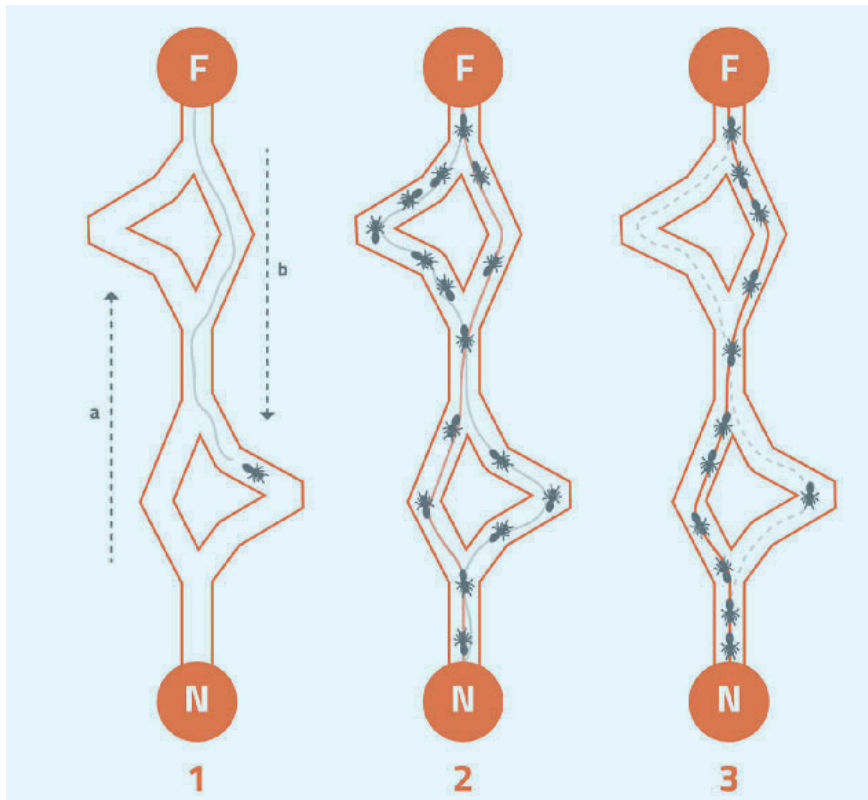
Obwohl exakte Algorithmen theoretisch die besseren Ergebnisse liefern, müssen in der Praxis meist Heuristiken benutzt wer-

den, da die Laufzeit eine entscheidende Rolle spielt. Niemand möchte schließlich Jahrzehnte lang warten, damit ein Programm die beste Route ausgibt. Bei Heuristiken sind die Ergebnisse zwar etwas schlechter, sie liegen dafür aber schneller vor.

Es werden auch hybride Ansätze genutzt, die exakte Algorithmen mit Heuristiken vereinen. Doch wie können solche Ansätze aussehen?

## Von Darwin und Ameisen

Exakte Algorithmen basieren meist auf mathematischer (linearer) Optimierung. Ein anschauliches Beispiel dafür ist die Standortplanung für Supermärkte. Bevor eine Filiale eröffnet wird, muss gesichert sein, dass sie auch profitabel sein wird. Die Standortplanung beginnt zum Beispiel damit, dass ein Unternehmen Filialen in einem bestimmten Gebiet (beispielsweise einer Stadt) eröffnen möchte. In der Planung werden anhand von Daten wie der Einwohnerverteilung und der Kaufkraft einzelner Kundengebiete potenziell gute Standorte ermittelt. Jemand aus der Planung müsste nun entscheiden, wie viele



**Bild 3** Ameisen laufen zunächst zufällig, schon bald aber werden die kürzeren Wege immer mehr genutzt – dort hinterlassen sie eine Duftspur aus Pheromonen. Bild: X-Integrate

Filialen und an welchen der möglichen Standorte diese eröffnet werden sollen und bedient sich dabei der Methodik der mathematischen Optimierung.

Bei den Heuristiken haben einige interessante Ansätze ihre Inspiration in der Natur: Sie orientieren sich beispielsweise daran, wie Ameisen den kürzesten Weg zu einer Futterstelle finden. Denn Ameisen hinterlassen auf ihrem Weg eine Duftspur aus Pheromonen, denen weitere Ameisen folgen. Während die Ameisen zu Beginn der Futtersuche mehr oder weniger zufällig durch die Gegend laufen, werden die kürzeren Wege mit der Zeit immer mehr genutzt, da Ameisen dort schneller wieder zurück sind und die Pheromonspur somit weiter verstärken. Ein weiteres Vorbild aus der Natur beruht auf der Evolutionstheorie von Darwin. Touren werden bei diesem Ansatz evolutionär über mehrere Generationen entwickelt, wobei nur die besten Touren „überleben“.

Der zurzeit beste Solver des Traveling Salesman Problems, der „Concorde TSP Solver“, ist ein solcher hybrider Ansatz, indem er mathematische Optimierung mit verschiedenen Heuristiken (unter anderem auch evolutionären Algorithmen) kombiniert.

## Aus der Theorie zur Praxis

Nun ist Tourenplanung in der Realität deutlich komplexer als das Traveling Salesman Problem. Bezogen auf das Beispiel des Paketdienstes, wird es sehr viele Fahrten mit unterschiedlichen Fahrzeugen und Fahrern geben. Die Fahrzeuge haben eventuell unterschiedlich viel Platz im Laderaum und die Anzahl der Pakete, die sie mitnehmen können, ist beschränkt. Außerdem müssen eventuell Arbeitszeiten der Fahrer und Öffnungszeiten auf Empfangsseite (Lieferfenster) beachtet werden. Es gibt also noch eine Reihe an zusätzlichen Bedingungen, die bei der Tourenoptimierung erfüllt werden müssen und welche die ohnehin schon herausfordernde Aufgabe weiter erschweren. Die beschriebenen Methoden der linearen Optimierung sowie hybride Modelle bleiben zwar im Grunde gleich, müssen jedoch auf die individuellen Gegebenheiten angepasst werden.

Gemeinsam mit Vertretern der Logistikbranche hat X-Integrate die Anforderungen an eine Software für automatische Tourenplanung, die auf linearer Optimierung basiert, evaluiert. Neben den technischen Anforderungen wurde hierbei auch der Faktor Mensch berücksichtigt. So haben manche

Fahrer zum Beispiel bereits eine feste Region, an welche Sie sich gewöhnt haben und die sie auch in Zukunft befahren wollen. Des Weiteren sollte eine Software schnell Ergebnisse liefern und flexibel sein, sodass neue Aufträge in die bestehende Tour eingefügt werden können. Auch Öffnungszeiten oder Kapazitäten der Fahrzeuge sollen spontan berücksichtigt und Pakete innerhalb der Tour sowohl eingesammelt als auch abgeliefert werden können.

Die Applikation für Tourenoptimierung wurde initial für eine Baumarktkette entwickelt, um die tägliche Belieferung aller Filialen sowohl lang- als auch kurzfristig planen zu können. Bislang basierte die dortige Planung auf Excel-Tabellen, wobei die Erstellung der Touren aufgrund langer Lösungszeiten in Excel und der Tatsache, dass die Optimierung ohne Softwareunterstützung – quasi per Kopfrechnung – stattfand, nur langfristig möglich war. Die Applikation basiert auf dem IBM Decision Optimization Center (DOC) mit IBM ILOG CPLEX als Solver. Sie löst die Standardfragen der Branche:

- Was ist die kürzeste mögliche Gesamtdistanz aller Touren?
- Wie sollen die verfügbaren Fahrzeuge auf die Touren aufgeteilt werden?
- Kann man Zeitfenster (Öffnungszeiten) beachten und Lieferungen priorisieren?
- Wie sollen die Lieferungen auf die Fahrzeuge aufgeteilt werden, gibt es Einschränkungen in der Fahrzeugkapazität?

Die entwickelte Lösung verbindet zwei Modelle miteinander: Ein Modell zur Tourenoptimierung mit statischen Daten sowie ein selbstlernendes Modell mit statistischen Prognosen (Vorhersage, der Standzeiten, Fahrzeiten anhand Daten aus der Vergangenheit). Die Nutzung eines Solvers für Lineare Optimierung erlaubt es an dieser Stelle sehr leicht, weitere Nebenbedingungen oder andere Algorithmen (Heuristiken) zum aktuellen Solver hinzuzufügen. Des Weiteren lassen sich dank des Szenario Managements in DOC sehr schnell neue Lösungen für veränderte Eingabeparameter berechnen (z.B. wenn kurzfristig Lieferungen hinzukommen oder ausfallen, wenn ein Fahrzeug ausfällt usw.). Für kleinere Touren erzielt die Lösung auf der Grundlage mathematischer Optimierung bereits gute Ergebnisse. ■

**Maximilian Lorse**, Optimization & SCM Engineer der X-Integrate GmbH aus Köln.  
**Paul Schall**, Data Scientist bei X-Integrate