

Über den Umgang mit Nachhaltigkeitszielen und ökonomischen Interessen in der Tourenplanung der Abfallwirtschaft.

Einleitung

insbesondere durch das prominente Thema der anthropogenen Erderwärmung, spielen Nachhaltigkeitsziele eine immer größere Rolle in Entscheidungsprozessen. Durch den Mehrzielcharakter und den daraus resultierenden Zielkonflikten, ist es für Entscheidungsträger umso schwieriger unterschiedliche Lösungsalternativen miteinander zu vergleichen und die Qualität der Entscheidungen zu überprüfen. Daher ist das Interesse an unterstützenden Werkzeugen und Methoden auch im wissenschaftlichen Sinn sehr groß.

In diesem Beitrag wird ein Praxisbeispiel vorgestellt und die unterschiedlichen Zielsetzungen vorgestellt. Mit Hilfe mathematische Modellierung und Optimierung werden mögliche Lösungen erzeugt und durch geeignete Reports visualisiert. Durch intuitiv verständliche Reports werden Abhängigkeiten und Zielkonflikte klarer dargestellt und eine konstruktive Diskussion wird dadurch angeregt. Von zentraler Bedeutung sind für alle komplexeren Probleme geeignete Modellierungen und Optimierungsverfahren um eine quantifizierbare und transparente Entscheidungsgrundlage zu erreichen.

Problembeschreibung

Die Entleerung von Müllcontainern (insbesondere der Restmülltonnen) wird durch sogenannte Touren (Sammeltouren) abgewickelt. Unter Berücksichtigung der Kapazitäten und der kundenseitig gewünschten Entsorgungshäufigkeit, werden die geplanten Entleerungstermine üblicherweise ein Jahr im Voraus bekanntgegeben.

Die entsprechende Vereinbarung spiegelt sich im sogenannten Entsorgungskalender wider. Meist wird vorab ein größeres Versorgungsgebiet derart in kleinere Teilbereiche (Rayone) zerlegt, dass der Tagesbedarf jedes Teilbereichs jeweils durch eine Tour (d.h. durch ein Müllfahrzeug) und innerhalb eines Arbeitstages versorgt werden kann. Die zugrundeliegende Planung ist der Tourenplanung zuzurechnen und sie beinhaltet folgenden Teilprobleme:

- die Zerlegung in kleinere Gebiete,
- die Bestimmung der Abholtermine,
- die Zuordnung zu den Fahrzeugen und
- die optimale Entleerungsreihenfolge innerhalb der Touren.

Die Lösung dieser Teilprobleme beeinflusst unter anderen die gefahrene Streckenlänge, den CO₂-Austoss, die Anzahl benötigter Fahrzeuge und die Ausgewogenheit der Arbeitsverteilung. Daher sind diese Probleme von wirtschaftlichen, ökologischem und sozialem Interesse.

Modellierung und Datengrundlage

Insbesondere das Vorhandensein unterschiedlicher Entsorgungshäufigkeiten erschwert die Tourenplanung, denn dadurch kann sich jede Woche ein anderes Arbeitspensum ergeben. Um dieses Problem zu beschreiben, wird ein mathematisches Optimierungsmodell dargestellt, das alle genannten Teilprobleme berücksichtigt. Daher umfasst das Modell neben der Gebietszerlegung auch variable Besuchsmuster und unterschiedliche Zielsetzungen. Anleihen werden aus der Operations-Research Literatur, im speziellen zum Thema „period-VRP“ genommen. Ein heuristischer Ansatz soll zeigen wie man größere Probleme lösen kann.

Neben dem Modell und seiner Implementierung, werden auch die Themen Grunddaten und Modellvalidierung besprochen. Eigens entwickelte Reports visualisieren die Lösungsgüte hinsichtlich unterschiedlicher Zielsetzungen und ermöglichen es die Diskussion von Zielkonflikten und Szenarien.

Für die Entsorgungslogistik ist die Tourenplanung ein entscheidender Kostenfaktor und bildet unter anderem auch eine Steuerungsmöglichkeit zur fairen Arbeitsverteilung [2]. Durch die strategische Einteilung in Versorgungsgebiete (sogenannte Rayone) wird üblicherweise der organisatorische Rahmen gebildet. Im nächsten Schritt wird die kundenseitig gewünschte Besuchshäufigkeit durch die geeignete Wahl der Besuchsmuster (Z.B.: jeden Montags, jeden zweiten Dienstag beginnend in KW 2, ...) abgedeckt. Im letzten Schritt wird die tatsächliche Besuchsreihenfolge festgelegt. Das Problem kann als Erweiterung des PVRP (period-VRP) wie in [4] beschrieben dargestellt werden.

Die Basis der Bewertung sind die einzelnen Auslastungen der Touren (in Anlehnung an eine OEE-Analyse). Zu ausgewählten Touren wurden Vergleiche zwischen Ist-Daten (Tracking-Daten) und geplanten (errechneten) Touren durchgeführt um eine ausreichende Prognosegüte sicherzustellen. Die anfangs beobachtete Abweichung von bis zu 50% der Streckenlänge (bezogen auf die Gesamtroute) kam hauptsächlich durch Fehler in der halbautomatischen Geokodierung zustande. Daneben sind Signalrauschen, Abweichungen in der Besuchsreihenfolge und Distanzmatrix weitere Fehlerquellen. Speziell können die Abweichungen in der Geokodierung und Besuchsreihenfolge durch geeignete Feedbackschleifen abgebaut werden.

Reporting und Ergebnisse

Um die Auslastungen zu einer geplanten Einteilung aus den Plandaten zu schätzen, ist es ausreichend die Besuchsreihenfolge zu optimieren. Diese Optimierung muss für jedes Rayon und jeden Tag durchgeführt werden. In Abbildung 1 werden die Auslastungen für zwei stellvertretenden Rayone prognostiziert. Zu sehen sind die Auslastungen für jeden Wochentyp (1a:). Zur Bestimmung von Potentialen werden die Auslastung in drei Bestandteile zerlegt. Der erste Zeitbaustein beinhaltet die Fahrtzeit, der Zweite die geplanten Stopps (z.B: Stopp, Entleerung) und der Dritte beinhaltet ungeplante Verzögerungen wie beispielweise außerplanmäßiges Tanken oder technische Störungen.

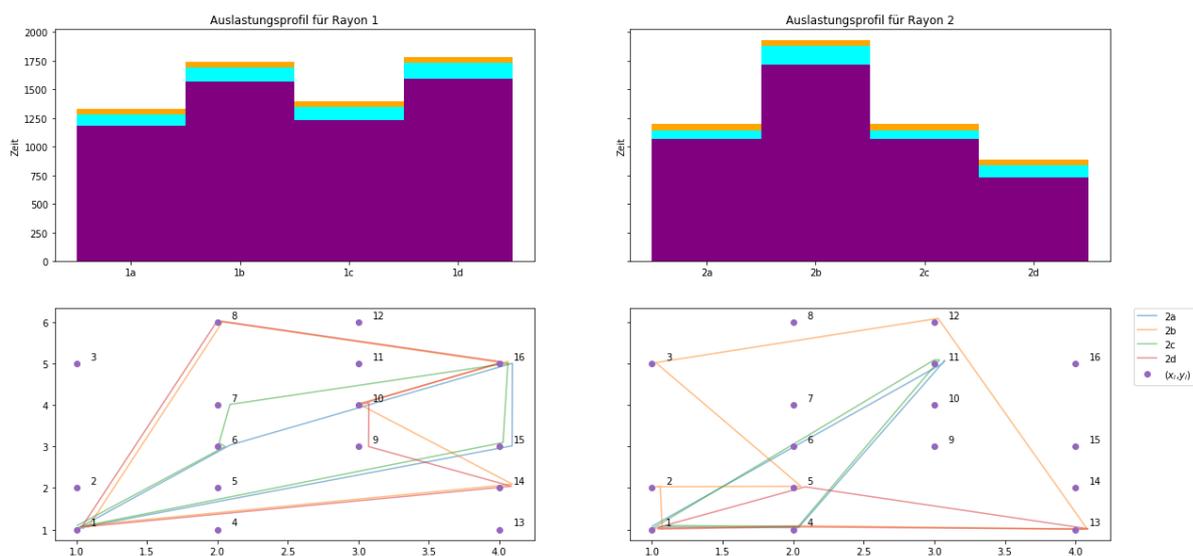


Abbildung 1 Auslastungsprofile für zwei stellvertretende Rayone nach erfolgter Optimierung der Besuchsreihenfolge für jeden Wochentyp (1a: alle vier Wochen ab KW1, 1b: alle vier Wochen ab KW2, ...)

Lässt man die Kundenzuordnung bestehen, kann man durch die Optimierung der Besuchsmuster Verbesserungen (Intra-Rayon-Optimierung) erzielen. Im Rahmen einer holistischen Planung (Inter-Rayon-Optimierung) wird auch die Zuordnung der Kunden zu den Rayonen freigestellt, wodurch sich weitere theoretische Verbesserungen erzielen lassen, die aber mit beträchtliche Änderungsaufwand verbunden sein können.

Zur Optimierung der Reihenfolge wurden exakte Verfahren und Heuristiken [5] für symmetrische Problem angewandt [1, 3]. Die entsprechenden Lösungen wurden auf die asymmetrischen Grunddaten übertragen.

Wie in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden**. sichtbar, kann man auf diesem Weg Auslastungsspitzen identifizieren und Potentiale orten. Nach erfolgter holistischer Planung (siehe Abbildung 2) wird sichtbar, dass man durch Umverteilung die Auslastungsspitzen generell senken und besser ausgleichen kann. Es sei auf den Mehrziel-Charakter hingewiesen: Minimierung der Gesamtkosten, Minimierung der maximalen Auslastung und Minimierung der Unterschiede in der Workload.

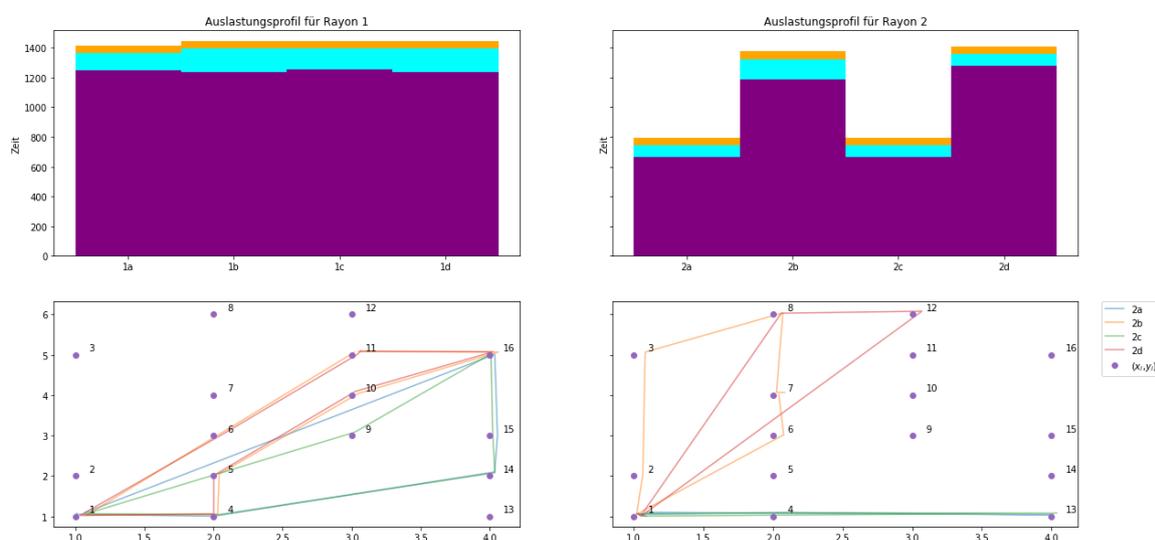


Abbildung 21a Auslastungsprofile nach erfolgter holistischer Planung

Es wurden exakte Modelle (Lösung mit CPLEX) entwickelt und eine Heuristik vorgeschlagen, die bereits bei der Einteilung der Rayone ansetzt, welche die Kosten sowie die Aufteilungsgerechtigkeit berücksichtigt. Die Grundidee um eine Startlösung zu finden, ist die sukzessive Einteilung der Aufträge zu den Rayonen, beginnend bei Besuchsmustern mit niedrigem Freiheitsgrad (alle zwei Wochen). Die Aufteilungsgerechtigkeit wird durch (ansteigende) Strafkosten eingefordert. Durch einen VNS-Ansatz wird die Güte der Lösung verbessert (Intra- und Inter-Rayon). Die Aufteilung der Rayone und die Besuchsreihenfolge werden iterativ optimiert.

Schlußfolgerung

Es konnte einerseits gezeigt werden, dass für einzelne Rayone die Datenqualität ausreichend gut ist um die Ist-Daten durch Planungsdaten abzubilden und die erarbeiteten Ergebnisse und Reports konnten die Planung dabei unterstützen Entscheidungen zu Routenplanung abzuleiten. Um Fehlerquellen auszuschließen wurden geeignete Prozesse vorgeschlagen. Es wurde bestätigt, dass die in den Reports aufgezeigten Potentiale realistisch. Der Gesamtlösungsansatz durch die skizzierte Heuristik ist vielversprechend, muss aber weiter evaluiert werden um flächendeckend eingesetzt zu werden.

Insgesamt zeigt sich, dass bei komplexeren Probleme der Mehrzielcharakter eine große Herausforderung für die Entscheidungsfindung darstellt, da Nachhaltigkeitsziele von Natur aus

Zielkonflikte verursachen und ein Vergleich ungleich schwieriger ist. Einfache Reports zu möglichen Entscheidungsvarianten können sehr hilfreich sein, aber die Komplexität und insbesondere der Aufwand der dafür notwendigen Entwicklungsarbeit ist leicht zu unterschätzen. Es ist hinlänglich belegt, dass gute Entscheidungen Zeit brauchen, daher ist darauf hinzuweisen, dass erhöhter Zeitdruck und eine steigende Komplexität von Problemen eine gute Entscheidungsfindung (insbesondere für KMUs) zur Herausforderung werden können. Allgemein zugängliche Forschungsergebnisse bekommen dadurch eine besondere Bedeutung.

Literatur

- [1] *Aarts E. H. L., Lenstra J. K.* Local search in combinatorial optimization. Chichester: Wiley; 1998.
- [2] *Bilitewski B., Härdtle G.* Abfallwirtschaft. Handbuch für Praxis und Lehre, 4. Aufl. Berlin: Springer; 2013.
- [3] *Das S., Bhattacharyya B. K.* Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. Waste management (New York, N.Y.). 2015; 43: 9–18.
- [4] *Francis P. M., Smilowitz K. R., Tzur M.* The period vehicle routing problem and its extensions. The vehicle routing problem: latest advances and new challenges: Springer; 2008, 73–102.
- [5] *Lin S., Kernighan B. W.* An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling-Salesman Problem. Operations Research. 1973; 21: 498–516.