



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Departement Umweltsystemwissenschaften

Energie und Ressourcen Zürich

# Modellierung und Optimierung der Entleerungsrouten der öffentlichen Mülleimer in der Stadt Zürich.

Eine Machbarkeitsstudie basierend auf ArcGIS.

Bachelorarbeit

vorgelegt von

**Benjamin Plüss**

betreut durch

**Monika Niederhuber**

Zürich, 12. Februar 2015

# 1 Einleitung

Für die Entleerung der öffentlichen Mülleimer im Raum Zürich ist die Dienstabteilung „Entsorgung & Recycling Zürich“ (ERZ) des Tiefbau- und Entsorgungsdepartement (TED) zuständig. Auf dem Stadtgebiet von 92.6 km<sup>2</sup> befinden sich 3891 Mülleimer. Um die Entleerung der öffentlichen Mülleimer zu koordinieren, wurde das Stadtgebiet in die drei Zonen Nord, Süd und West unterteilt. Innerhalb der jeweiligen Zone ist die Entleerung der Mülleimer in Routen organisiert, welche mit unterschiedlichen Fahrzeugen abgefahren werden.

In dieser Machbarkeitsstudie soll überprüft werden, ob Geographische Informationssysteme (GIS) in der Lage sind, die Entleerung von öffentlichen Mülleimern zu modellieren und optimierte Entsorgungsrouten zu berechnen. Folgende Probleme sind diesbezüglich genauer zu betrachten:

- Simulation des Einsatzes differenter Fahrzeugtypen zur Entleerung der Mülleimer  
Die unterschiedlichen Fahrzeugtypen haben unterschiedliche Bewegungsradien auf dem Verkehrsnetzwerk der Stadt Zürich. Dies führt dazu, dass nicht jeder Fahrzeugtyp in der Lage ist, alle Mülleimer zu erreichen. So können kleinere Fahrzeuge auch in der Fussgängerzone eingesetzt werden, während grössere Fahrzeuge diese Zonen nicht passieren dürfen. Das Modell soll die Mülleimer dem Fahrzeugtypen mit dem grösstmöglichen Füllvolumen zuordnen.
- Aufteilung des Stadtgebietes in verschiedene Zonen zur Reduktion der Problemgrösse  
Um eine effiziente Optimierung der Entleerungsrouten zu ermöglichen, ist es Standard, dass grössere Gebiete in unterschiedliche Entleerungszonen aufgeteilt werden. Dadurch wird die Anzahl der Mülleimer pro Optimierung erheblich reduziert und das Optimierungs-Problem in kleinere Teilprobleme unterteilt. Ein weiterer positiver Effekt dieser Unterteilung ist, dass auf diese Art und Weise verhindert wird, dass einzelne Entleerungsrouten durch das ganze Stadtgebiet führen und die Fahrer deshalb eine zu komplexe Route abfahren müssen. Im Modell soll eine Möglichkeit gefunden werden das Stadtgebiet Zürich in verschiedene Zonen zu unterteilen, sodass die Mülleimer effizient entleert werden können.
- Implementierung der Vorgaben des ERZ  
Die Entleerungsrouten müssen bestimmten Vorgaben der ERZ entsprechen, damit sie alltagstauglich sind und von den Entleerungsfahrzeugen abgefahren werden können. Es soll überprüft werden, welche Vorgaben der ERZ in das Modell integriert werden können.

Mathematisch betrachtet handelt es sich bei der Koordination der Leerung von Mülleimern um ein kombinatorisches Optimierungsproblem, das unter dem Fachnamen Vehikel Routen Problem (*Vehicle Routing Problem*, VRP) in verschiedensten Variationen diskutiert wurde. Es wurde erstmals 1959 von G. B. Dantzig und J. H. Ramser beschrieben und kann als Verallgemeinerung des Handlungsreisenden Problem (*Travel Sales Man Problem*) betrachtet werden (G. B. Dantzig' und J. H. Ramser, 1959).

Bei der Travel Sales Mann Problematik gilt es, eine Route durch eine Anzahl von Punkten so zu wählen, dass die Gesamtroute möglichst kurz ist. Das VRP verallgemeinert dieses Problem, indem mehrere Handelsreisende unterwegs sind und nur eine bestimmte Kapazität an Waren mit sich führen können (Dantzig, G., Fulkerson, R., & Johnson, S., 1954).

Im Originalbeispiel handelte es sich dabei um Gaslieferungen, welche mit einer Flotte von Tankfahrzeugen an eine Vielzahl von Kunden ausgeliefert werden müssen. Bei einer optimalen Lösung dieses Problems würde jeder Kunde mit der bestellten Menge Gas beliefert werden und die Kosten für die Auslieferung wären minimal. Die Schwierigkeit des Problems besteht darin, dass die Tankfahrzeuge eine begrenzte Kapazität an Gas mitführen können und nach einer gewissen Anzahl Entleerungen wieder zurück fahren müssen, um den Gastank aufzufüllen (G. B. Dantzig' und J. H. Ramser, 1959).

Um eine Lösung des Problems zu erstellen, wurde eine Vielzahl von Algorithmen entwickelt. Ziel ist es dabei nicht die optimalste, sondern eine genügende Lösung zu finden. Die optimale Lösung kann nur durch Kombination aller möglichen Lösungsvarianten herausgefunden werden. Bei einer genügenden Lösung, wird durch Restriktionen die Anzahl der Lösungsvarianten eingeschränkt, sodass nicht alle Lösungsvarianten berechnet werden müssen. Dies führt dazu, dass der Rechenaufwand reduziert wird und die benötigte Zeit zur Berechnung der Route geringer ist. Der Nachteil dieser Methode ist, dass die Restriktionen auch die optimale Route aus der Lösungsmenge ausklammern können und nur eine genügende Lösungsvariante vorgeschlagen wird (ArcGIS Help 2015).

Als Plattform wurde Windows 8.1 mit der GIS-Software ESRI ArcGIS 10.2.2 inklusive aller offiziellen Erweiterungen und die Programmiersprache Python 2.7.5 ausgewählt.

Die Software und Fachbegriffe liegen in englischer Sprache vor. Wenn möglich wird eine deutsche Übersetzung verwendet. Der englische Begriff wird bei der Erstnennung in Klammern und kursiver Schrift angegeben.