

KI Routenoptimierung

Routenoptimierung für städtische Logistik

Mobilität Verkehr & Logistik



City of Helsinki mit Kuljetusrinki
sami.repo@kuljetusrinki.com

<https://helsinkismart.fi/case/ai-and-robots-in-waste-management/>
<https://www.routesmart.com/client-success-stories/case-studies/recology/>



© Routesmart.com

TRL ●●●●●●●●

Datenkomplexität	●●●
Kosten & Energie	●●
Umfang	●●●
Wirkung	●●●
Machbarkeit	●●●

● Gering, ●● Mittel, ●●● Hoch

Emissionsverringern, Kosten sparen, Verbesserung der Prozesse in der städtischen Logistik, Vorhersage von optimalen Abholzeitpunkten.

ANWENDER

Abfallwirtschaft der Stadt, externe Dienstleister



Die KI-gestützte Routenoptimierung löst das komplexe Vehicle Routing Problem (VRP) für städtische Flotten, indem sie heuristische und exakte (u.a. graphentheoretische) Verfahren mit Machine Learning kombiniert, um Fahrzeiten zwischen Stops präziser zu prognostizieren.

Auf dieser Basis erzeugt die Software dynamische Tourenpläne und passt sie laufend an, wobei statische Rahmenbedingungen (z.B. Depotstandorte, Öffnungszeiten, Einbahnstraßen) ebenso einfließen wie dynamische Informationen (aktueller Verkehr, Störungen/Ereignisse).

Die Lösung umfasst eine zentrale Planungssoftware für Disposition/Logistik sowie eine Fahrer-App für Navigation und Feedback; Kernfunktion ist die automatische Routenberechnung und -anpassung unter Beachtung von Zeitfenstern und Kapazitätsgrenzen. Erforderlich sind statische Daten wie GIS-/Straßennetz- und Standortdaten, Behälter- und Fahrzeugparameter sowie Depots; dynamisch werden Echtzeit-Verkehrsdaten via API genutzt, optional IoT-Füllstandsdaten (z.B. JSON/MQTT). Für die rechenintensive Optimierung wird eine Server-Infrastruktur (On-Prem oder Cloud) benötigt, Fahrer verwenden Tablets bzw. Bordcomputer.

Der Energieverbrauch der Berechnung ist vergleichsweise gering, während die Einsparungen durch kürzere Fahrwege typischerweise deutlich überwiegen. Aufwandstreiber sind Lizenzierung und ERP-Integration; Finanzierung kann über Smart-City-Förderungen (z.B. EU) oder durch Betriebskosteneinsparungen erfolgen.



VERWENDETE KI-TECHNOLOGIE

- Digitaler Zwilling & simulationsgestützte KI
- KI-gestützte Datenanalyse und Optimierung
- KI-gestützte IoT und Sensorik





IMPLEMENTIERUNG

Die Einführung erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen den technischen und operativen Abteilungen, da die KI tief in die täglichen Abläufe eingreift.

Organisatorische Einbettung: Die Fachabteilung (Entsorgungslogistik) ist der primäre Nutzer und sollte die Anforderungen definieren. Die IT-Abteilung ist für die Integration der Lösung in die Backend-Systeme (ERP, GIS) und die Datenpipelines verantwortlich. Ein initialer Forschungspilot in einem begrenzten Stadtgebiet ist ratsam.

Kooperation mit externen Dienstleistern: Hochwahrscheinlich, da spezialisierte Anbieter (z.B. PTV, ORTEC, spezifische Waste-Management-Lösungen) komplexe Optimierungsalgorithmen als Marktprodukt anbieten.

Verwendete Technologie: Proprietäre Optimierungssoftware ist üblich, oft gehostet in Cloud-Umgebungen (z.B. Azure, AWS) wegen der benötigten Rechenleistung für dynamisches Routing.

IT-Strategie: Individuelle Lösung (adaptiert). Es wird ein Standard-Softwareprodukt verwendet, das jedoch mit eigenen Trainings- und Geodaten (Stadtplan, spezifische Stopps) adaptiert und kalibriert werden muss.

Anforderung: Cloud-Lösungen sind für dynamische Optimierung vorteilhaft, können aber langfristige KI-Lösungen darstellen, da die Umstellung des Betriebsablaufs tiefgreifend ist.



LESSONS LEARNED

Die Risiken und Herausforderungen sind hoch: Entscheidend sind eine sehr hohe Datenqualität, insbesondere bei Echtzeit-Verkehrsdaten und aktuellen Geodaten, sowie die Akzeptanz der Fahrer:innen für KI-generierte Routen.

Ein weiteres Risiko sind Systemausfälle oder Instabilitäten im Echtzeitbetrieb, gerade wenn dynamisches Routing laufend neu optimiert wird. Zu den wichtigsten Erfolgsfaktoren zählen auf technischer Seite eine stabile, leistungsfähige Cloud-Infrastruktur und qualitativ hochwertige, stets aktualisierte GIS-Daten.

Organisatorisch ist eine frühzeitige Einbindung der Logistiker:innen und Fahrer:innen samt Schulung zentral, um Vertrauen aufzubauen und reibungslose Prozesse sicherzustellen. Das Transferpotenzial in andere Städte ist sehr hoch, da die grundlegenden Optimierungsalgorithmen generisch sind und primär an das lokale Straßennetz sowie spezifische Abhol- und Betriebsregeln angepasst werden müssen.

Eine nachhaltige Nutzung ist durch eigene Trainingsdaten gut möglich: Durch den kontinuierlichen Abgleich tatsächlich gefahrener Zeiten mit Prognosen kann das ML-Modul laufend kalibriert werden, wodurch sich die Vorhersagegenauigkeit schrittweise verbessert. Als ergänzende Informationsquellen eignen sich Studien und Whitepaper von Anbietern smarter Abfall- und Logistiklösungen bzw. Verkehrsoptimierungssoftware.





REGULIERUNGEN

Datenschutz-Grundverordnung (EU) 2016/679 (DSGVO)¹

Die DSGVO ist immer dann relevant, wenn personenbezogene Daten verarbeitet werden. Das betrifft insbesondere Bewegungsmuster, Standortdaten, Kennzeichenerfassung die einen Rückschluss auf Personen zulassen. Für die Verarbeitung kommen unterschiedliche Rechtsgrundlagen nach Art 6 DSGVO in Betracht. Daten dürfen nur für klar definierte Zwecke verarbeitet und nicht über das erforderliche Maß hinaus erhoben werden (Zweckbindung und Datenminimierung, Art 5 DSGVO). Ebenso verpflichten Privacy by Design und Privacy by Default nach Art 25 DSGVO dazu, Datenschutz bereits in die Systemarchitektur zu integrieren und datenschutzfreundliche Voreinstellungen zu wählen. Schließlich verlangt Art 32 DSGVO angemessene technische und organisatorische Maßnahmen zur Sicherheit der Verarbeitung, etwa Verschlüsselung, Zugriffsbeschränkungen und Protokollierung. Insgesamt ist damit sicherzustellen, dass die Verarbeitung personenbezogener Energiedaten transparent, zweckgebunden und sicher erfolgt.

Verordnung über künstliche Intelligenz (EU) 2024/1689 (KI-VO)²

KI-gestützte Routenoptimierungssysteme gelten in der Regel als KI-Systeme mit begrenztem Risiko, da sie primär analysieren, prognostizieren und Empfehlungen aussprechen, ohne selbst sicherheitsrelevante Entscheidungen zu treffen oder kritische Infrastruktur unmittelbar zu steuern. Die letztverantwortliche Entscheidung über die tatsächliche Fahrroute, das Fahrverhalten oder operative Anpassungen verbleibt bei menschlichen Disponent:innen oder Fahrer:innen. Für Systeme dieser Risikokategorie gelten dennoch bestimmte Pflichten nach der KI-VO. Nutzer:innen müssen klar darüber informiert werden, dass KI eingesetzt wird, und es ist nachvollziehbar zu dokumentieren, auf welchen Datenquellen, Annahmen und Modellgrenzen die Optimierung beruht. Zudem verlangt Art 4 KI-VO, dass Organisationen, die solche Systeme einsetzen, ihre Mitarbeitenden entsprechend schulen, damit sie Funktionsweise, Grenzen und typische Fehlerquellen der KI verstehen und Ergebnisse sachgerecht einordnen können. Eine Hochrisikoeinstufung kommt nur dann in Betracht, wenn die KI unmittelbar sicherheitsrelevante Fahrzeugsteuerungen übernimmt, etwa bei autonomen

Müllfahrzeugen oder Systemen, die ohne menschliche Kontrolle in das Fahrverhalten eingreifen. In solchen Fällen würde die KI als Sicherheitskomponente gelten, deren Fehlfunktion erhebliche Gefahren verursachen könnte, und müsste daher die umfassenden Anforderungen der Art 9 ff KI-VO erfüllen.

NIS-2-Richtlinie³

Umsetzung durch Netz- und Informationssystemsicherheitsgesetz (NISG)

verpflichtet Betreiber kritischer Infrastrukturen wie etwa den Verkehrssektor, der zu den „Sektoren mit hoher Kritikalität“ zählt, zu umfassenden Maßnahmen im Bereich Cybersicherheit;

Risikomanagementmaßnahmen (Incident Reporting), Konzepte zum Risikomanagement und zur Sicherheit von Netz- und Informationssystemen, Dokumentation und regelmäßige Aktualisierung der Nachweise zur Einhaltung der Vorgaben;

Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002⁴

Digitale Systeme unterstützen effiziente Erfüllung der gesetzlichen Aufgaben;

KI-gestützte Routenoptimierung fällt unter die organisatorische Gestaltung der Abfalllogistik;

INSPIRE-Richtlinie 2007/2/EG⁵

Geodateninfrastrukturgesetz (GeoDIG)⁶

Fragen bzgl. Datenbeschaffung;

Bei Verarbeitung von öffentlichen Geodaten gelten Vorgaben zur Interoperabilität, Formaten und Nutzungsbedingungen;

Bereitgestellte Daten müssen mit der INSPIRE-RL konform sein;

Straßenverkehrsordnung 1960 (StVO 1960)⁷

Einrichtung die den Verkehrsfluss steuert, muss sicher, zuverlässig und vorhersehbar sein;

Diese Angaben stellen keine abschließende rechtliche Beurteilung dar. Sie dienen ausschließlich der allgemeinen Orientierung. Insbesondere können, abhängig vom konkreten Sachverhalt und der detaillierten Ausgestaltung der jeweiligen Use Cases, weitere rechtliche Regelungen einschlägig sein.

¹ Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-Grundverordnung), ABl L 2016/119, 1.

² Verordnung (EU) 2024/1689 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Festlegung harmonisierter Vorschriften für künstliche Intelligenz und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 300/2008, (EU) Nr. 167/2013, (EU) Nr. 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 und (EU) 2019/2144 sowie der Richtlinien 2014/90/EU, (EU) 2016/797 und (EU) 2020/1828 (Verordnung über künstliche Intelligenz), ABl L 2024/1689, 1.

³ Richtlinie (EU) 2022/2555 des Europäischen Parlaments und Rates vom 14. Dezember 2022 über Maßnahmen für ein hohes gemeinsames Cybersicherheitsniveau in der Union, zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 910/2014 und der Richtlinie (EU) 2018/1972 sowie zur Aufhebung der Richtlinie (EU) 2016/1148 (NIS-2-Richtlinie), ABl L 2022/333, 80.

⁴ Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002) BGBl I 2002/102.

⁵ Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE), ABl L 2007/108, 1.

⁶ Bundesgesetz über eine umweltrelevante Geodateninfrastruktur des Bundes (Geodateninfrastrukturgesetz – GeoDIG) BGBl I 2010/14.

⁷ Bundesgesetz vom 6. Juli 1960, mit dem Vorschriften über die Straßenpolizei erlassen werden (Straßenverkehrsordnung 1960 – StVO. 1960) BGBl I 1960/159.

