

# Optimierung der Technologie-Auswahl für ein elektrisches Linienbusnetzwerk

**Nathalie Frieß (\*) & Ulrich Pferschy**  
Institut für Operations und Information Systems  
Karl-Franzens-Universität Graz

17. Symposium Energieinnovation  
17.02.2022

[www.holding-graz.at/en/mobility/move2zero/](http://www.holding-graz.at/en/mobility/move2zero/)



move<sup>2</sup>zero

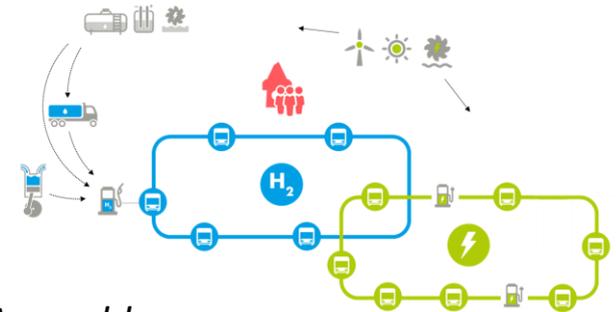


Joel Kernasenko



## move2zero Projektziele

- Zero-Emission Technologien für die Energiebereitstellung
- Zero-Emission Technologien für den Betrieb der Fahrzeuge und der Infrastruktur
  - gesamtheitliches **Konzept zur Dekarbonisierung** des Bustransportsystems
  - **Übertragbarkeit auf andere Städte**



### Problemstellung:

- verschiedene elektrische Technologie-Konzepte zur Auswahl
- unterschiedliche Vor- und Nachteile (Reichweite, Investitionen, lf. Kosten)
  - **Technologie-Mix** kann kostengünstigste Lösung darstellen
- städtischer Kontext



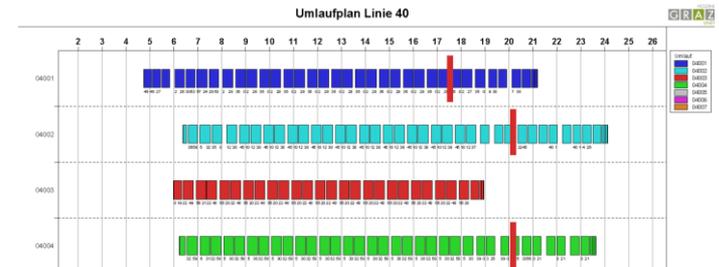
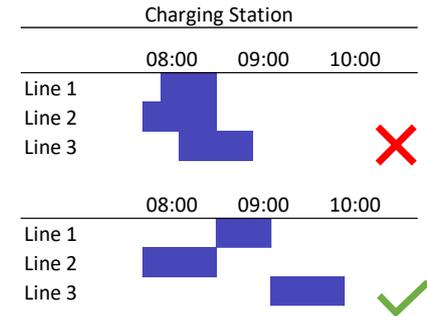
## Technologien – Overnight Charging (ONC)

- *Langsamladung über Nacht*

### Herausforderungen:

- *simultanes Laden* → hoher Leistungsbedarf
- *begrenzte Reichweiten* → zusätzliche Tagladung notwendig
  - *höherer Energiebedarf*
  - *mehr Personalstunden*
  - *reduzierte Verfügbarkeit* = **mehr Fahrzeuge**

**Option:** betriebseigene Standorte im Netz  
zur Verkürzung von Leerfahrten



## Technologien – Opportunity Charging (OPC)

- Schnellladung an Haltestellen
  - Auswahl und Dimensionierung der Ladestationen
- Häufige Nachladung mit hohen Ladeleistungen
  - Superkondensatoren (OPC+supercaps)

OPC+supercaps Ladeplan

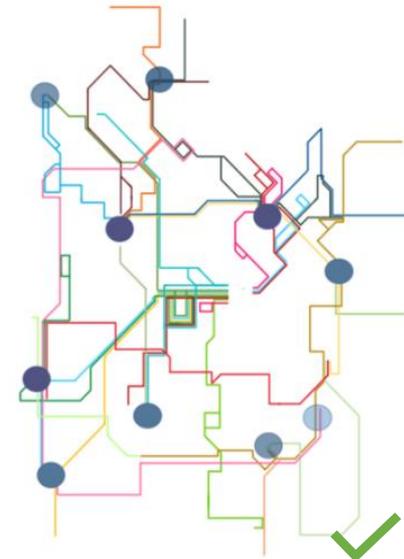


- Traktionsbatterien (OPC+batteries)

OPC+batteries Ladeplan

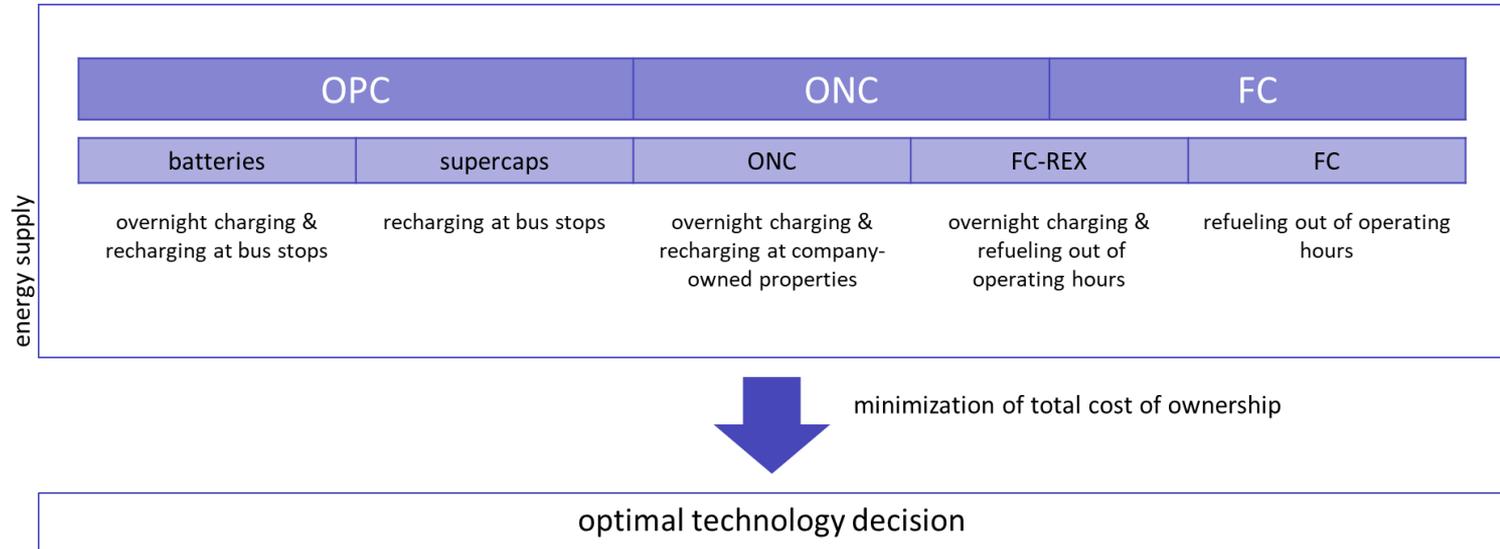


untersch. Auswirkungen  
Frühspitze & Ladedauer



→ Anzahl der Busse steigt leicht

## Technologie-Optionen im Überblick



# Decision-Support System

## Optimierungsmodell – Integer Linear Program (ILP)

Planungsebenen: *strategisch & operativ*

- *strategisch:* **Technologie-Auswahl**

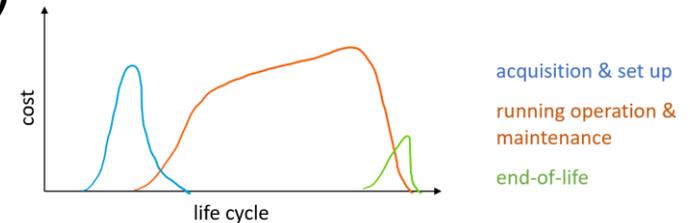
*Flottenzusammensetzung*

*Standorte & Dimensionierung von Infrastruktur*

- *operativ:* **Umlaufplanung**

*Ladeplanung*

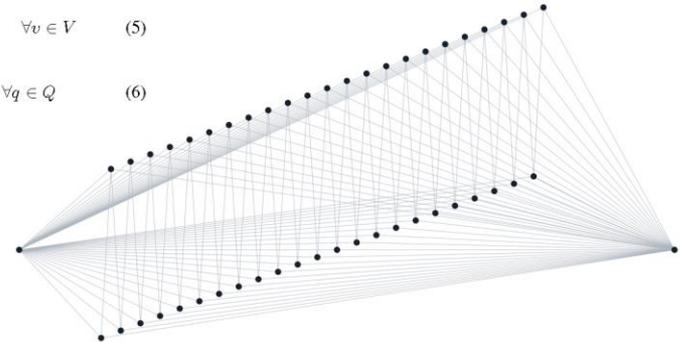
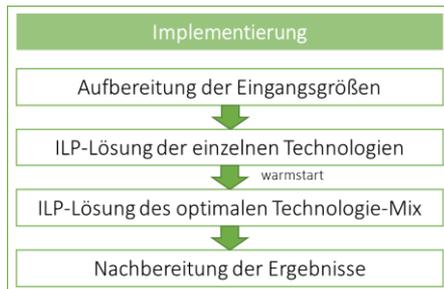
*Personalkosten*



$$\sum_{v \in A^-(t)} a_{(v,t)} = t_{(q,l)} \quad \forall q \in Q, l \in L, t \in V_l \quad (4)$$

$$\sum_{s \in A^-(v)} a_{(s,v)} = \sum_{t \in A^+(v)} a_{(v,t)} \quad \forall v \in V \quad (5)$$

$$x_q^\beta = \sum_{t \in A^+(d^{out},t)} a_{(d^{out},t)} \quad \forall q \in Q \quad (6)$$

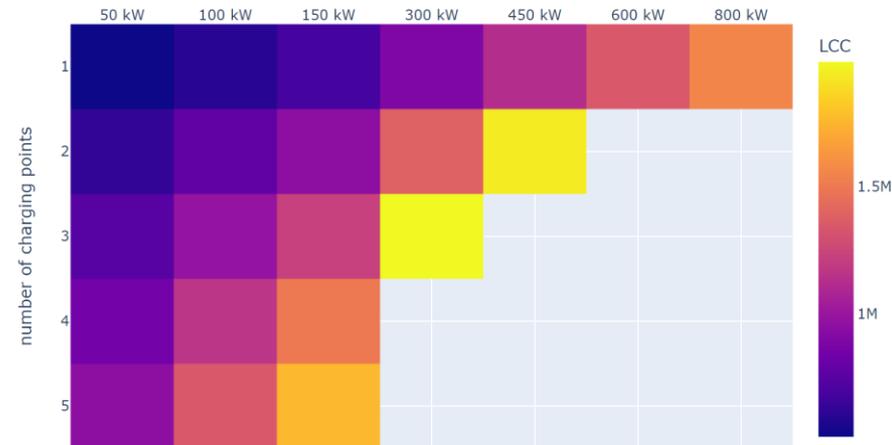


## Decision-Support System

Aufbereitung der Eingangsgrößen

- umfangreiche Datenbasis als Input erforderlich
- ausgewählter Teilbereich → **potentielle Standorte & Kosten für Ladestationen:**

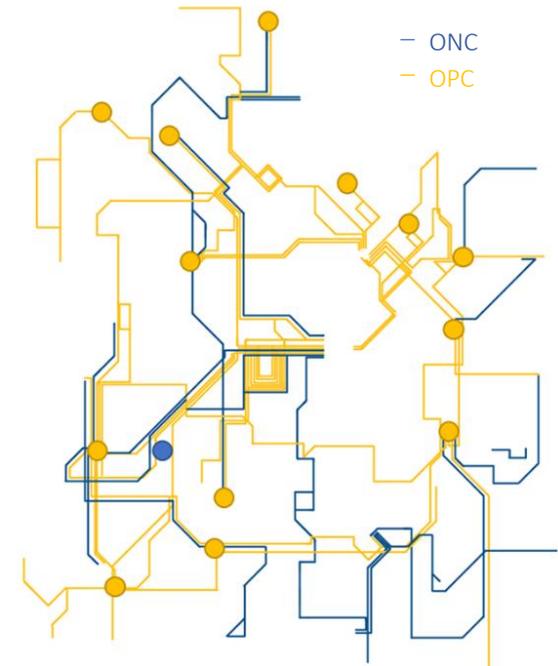
1. Endstationen & Knotenpunkte
2. Infrastrukturelle Vorbehalte
3. max. Anzahl möglicher Ladeplätze
  - Anschaffungskosten: Grundstücks-Netzanschluss- und Stationskosten
  - Laufende Kosten: Wartungs- und Instandhaltungskosten



## Vorläufige Ergebnisse

- **Technologie-Mix** liefert **minimale Life Cycle Cost (LCC)**
- Augenmerk auf **weitere kritische Faktoren** (Anzahl Busse, Anschlussleistung Depot, Verfügbarkeit pot. Ladestationen) entscheidend
- Reihung einzelner Technologien nach LCC
  1. **ONC**
  2. **FC-REX**
  3. **FC**

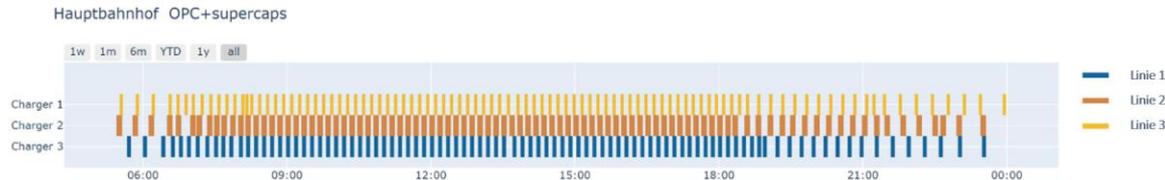
*OPC+batteries & OPC+supercaps  
nicht direkt vergleichbar, da nicht  
alle Linien bedient werden können!  
ABER: geringe Kostenunterschiede  
zwischen den beiden Technologien*



## Vorläufige Ergebnisse

- Umfangreicher Output als Planungsunterlage
  - gew. Standorte und Infrastruktur
  - detaillierte Kostenaufschlüsselung
  - Umlauf- und Ladepläne

Technologie-Mix & Einzeltechnologien



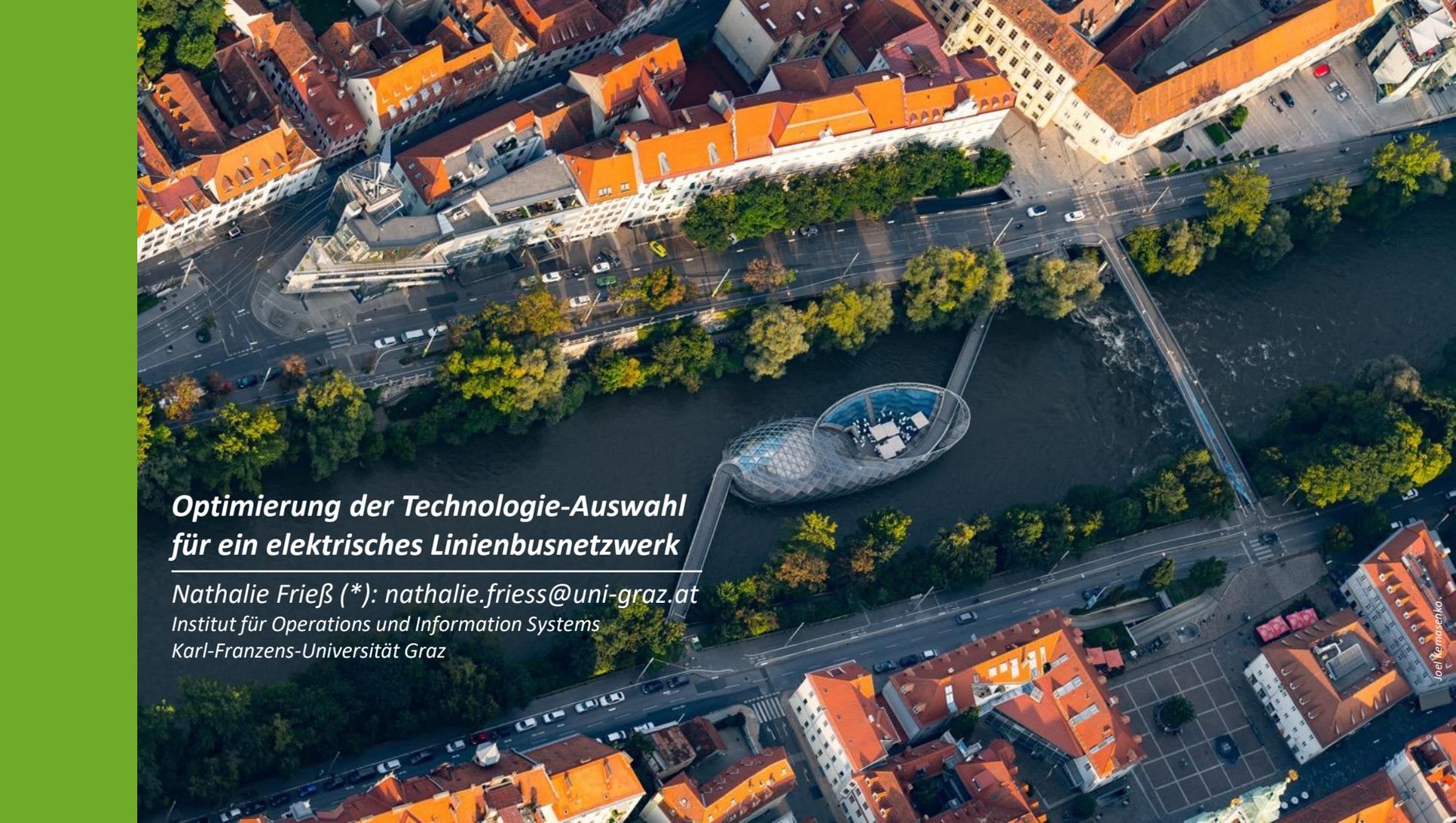
### **Laufende Entscheidungsunterstützung:**

*langer Planungshorizont & in Entwicklung befindliche Technologien → unsichere Datenlage → Neuberechnungen bei aktualisiertem Datenstand  
Szenarienanalyse: Einzelsenstivitäten & Faktorkombinationen*



+ ADVISORY COUNCIL





***Optimierung der Technologie-Auswahl  
für ein elektrisches Linienbusnetzwerk***

*Nathalie Friess (\*): [nathalie.friess@uni-graz.at](mailto:nathalie.friess@uni-graz.at)  
Institut für Operations und Information Systems  
Karl-Franzens-Universität Graz*