

# MAKROSKOPISCHES MOBILITÄTSMODELL ZUR IDENTIFIZIERUNG VON ENERGIEEFFIZIENZPOTENZIALEN IM ÖPNV

Lukas SPENGLER<sup>1(\*)</sup>, Marius MADSEN<sup>1</sup>, Marc GENNAT<sup>1</sup>

## Einleitung und Motivation

Um europäische und nationale Klimaziele im Verkehrssektor einhalten zu können muss neben einer Antriebsenergieumwälzung auch eine Mobilitätswende durch einen Modal Shift mittels Pull-Faktoren vom MIV zum Umweltverbund forciert werden. Im Jahr 2021 betrug der gesamte Primärenergieverbrauch des Verkehrssektors ca. 3.386 Petajoule, wovon 61 Prozent auf den Personenverkehr zurückzuführen sind [1]. Um das Verkehrsaufkommen und damit den Energiebedarf zu reduzieren, sollten Fahrzeuge effizienter genutzt und Mobilitätsbedarfe durch attraktive ÖPNV-Angebote gebündelt werden. Der Besetzungsgrad im MIV betrug 1,4 Personen pro Fahrzeug in 2017 [2].

Neben dem Modal Shift lässt sich zu Randzeiten und in Randgebieten auch die energetische und wirtschaftliche Effizienz durch einen Wechsel von Omnibus zu Kleinbus steigern. Elektrische 12-Meter Solobusse haben einen Stromverbrauch von ca. 1,4-2,0 kWh/km [3]. Im Vergleich dazu hat ein VW ID. Buzz einen Verbrauch von 0,2 bis 0,3 kWh/km [4].

Sowohl aus energetischer als auch aus volkswirtschaftlicher Sicht sollte der MIV möglichst vollständig durch den ÖPNV ersetzt werden und dieser die Fahrzeugkapazität entsprechend des Bedarfes wählen. Zu Randzeiten und in Randgebieten könnte ein flächendeckendes hochautomatisiertes Ridepooling-Angebot mit durchschnittlichen Besetzungsgraden von drei Personen pro Shuttle den Energieverbrauch signifikant senken.

Verkehrsbetreiber sind in der Lage Besetzungsgrade zu erfassen und ein Überangebot vorhandener Linien zu identifizieren. Schwieriger ist es jedoch Relationen zu identifizieren, auf denen ein zusätzliches oder erweitertes Angebot sinnvoll ist. Hierfür ist eine Mobilitätsbedarfsmatrix erforderlich.

In diesem Beitrag wird ein makroskopisches Mobilitätsmodell vorgestellt, basierend auf [5] am Beispiel der Stadt Krefeld. Das Modell bewertet das vorhandene ÖPNV-Angebot durch Reisewiderstände und stellt diese dem Mobilitätsbedarf gegenüber, mit dem Ziel Energieeffizienzpotenziale zu identifizieren.

## Makroskopisches Verkehrsmodell

Das diesem Beitrag zugrundeliegende makroskopische Modell [5] nutzt öffentlich verfügbare Datenquellen, wie z.B. OpenStreetMap, ÖPNV-Sollfahrplandaten und Mobilitätsbefragungen, aber auch kommerziell erworbene Datensätze, wie z.B. Mobilfunkdaten. Die Verkehrsinfrastruktur wird mit einem zeitabhängigen gerichteten und gewichteten Graphen, bestehend aus Knoten und Kanten, abgebildet. Knoten repräsentieren Haltestelle und Kanten stellen ÖPNV-Verbindungen dar. Jeder Knoten und jede Kante beinhalten Informationen, die für die Berechnung von Reisewiderständen relevant sind, wie z.B. Abfahrtszeiten, Fahrzeiten, Fahrzeug- und Stationsausstattung. Anmarschwege und eventuelle Fußwege beim Umsteigen werden durch den OpenStreetMap-Graphen abgebildet. Hierbei wird vereinfacht eine konstante Gehgeschwindigkeit von 4,5 km/h angenommen, die Verzögerungen durch Ampeln oder Straßenüberquerungen mittelt.

Der Betrachtungsraum ist in einem ca. 400 Meter-Raster diskretisiert, was für die Beispielregion Krefeld 1023 Verkehrszellen ergibt. Es wird ein einzelner Standardwerktag, d.h. Montag bis Donnerstag außerhalb der Ferienzeit, betrachtet in einer minütlichen Auflösung, also 1440 Zeitintervallen. Es ergeben sich zwei Matrizen für die Reisewiderstände und die Mobilitätsbedarfe mit jeweils der Größe 1023 x 1023 x 1440.

---

<sup>1</sup> SWK E<sup>2</sup> Institut Hochschule Niederrhein, Reinarzstr. 49, 47805 Krefeld, Tel. +49 2151 822-5122, Fax. +49 2151 822-6689, [lukas.spengler@hs-niederrhein.de](mailto:lukas.spengler@hs-niederrhein.de), [www.e2.hsnr.de](http://www.e2.hsnr.de)

(\*) Nachwuchsautor

## Ergebnis

Der Vergleich der Reisewiderstandsmatrix mit der Mobilitätsbedarfsmatrix führt zu den in Abbildung 1 dargestellten Erkenntnissen.

Wo der Reisewiderstand niedrig und somit das ÖPNV-Angebot groß sowie auf derselben Relation der Mobilitätsbedarf hoch ist, deckt das Angebot den Bedarf. Hier ist kein Verbesserungspotenzial zu erwarten. Analog dazu besteht wenig bis kein Verbesserungspotenzial, wo der Reisewiderstand hoch ist, aber auch kaum Bedarf besteht. Auf diesen Relationen könnte der geringe Bedarf durch hochautomatisierte Mobility on Demand-Angebote ökologisch effizient gedeckt werden, sobald dieser aus den aktuellen Reallaboren in die Verstetigung übergegangen ist.

Auf Relationen, wo der Bedarf und auch der Reisewiderstand hoch sind, sollte eine Ausweitung des ÖPNV-Angebots zeitnah überprüft werden. Hier können voraussichtlich Fahrzeuge mit mittleren bis hohen Fahrgastkapazitäten ergänzt werden, um eine Alternative zum MIV zu bieten. Die Betriebszeiten lassen sich durch die zeitliche Auflösung der Matrix erkennen.

Wo der Mobilitätsbedarf und auch der Reisewiderstand niedrig sind, gibt es wahrscheinlich ein Überangebot an konventionellen Linienverkehren. Ob hier leere Busse und damit ohne Nutzen fahren oder bestimmte Haltestellen ausgelassen werden können, lässt sich im nächsten Schritt anhand der Besetzungsgrade prüfen. Auch hier kann ein hochautomatisiertes Mobility on Demand-Angebot effizienter und attraktiver sein, als der konventionelle Linienbetrieb.

		Bedarf	
		niedrig	hoch
Widerstand	niedrig	Überangebot? → Besetzungsgrade prüfen	gut
	hoch	gut	Ausweitungspotential

Abbildung 1: Auswertung Reisewiderstand des ÖPNV vs. Mobilitätsbedarf.

## Ausblick

Das vorgestellte Modell lässt ebenso Änderungen des Graphen zu. Dadurch kann es zum Beispiel bei der Planung von zukünftigen Angeboten genutzt werden und bietet eine objektive Bewertungsmethodik für die zuvor vorgeschlagenen Maßnahmen.

Durch eine Erweiterung des Modells um Ridepooling-Angebote und die Berechnung des Modal Splits, können durchschnittliche Besetzungsgrade von Ridepooling berechnet werden und der Modal Shift vom MIV zum Umweltverbund abgeschätzt werden.

## Referenzen

- [1] Umweltbundesamt. "Energieverbrauch und Kraftstoffe." <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/endenergieverbrauch-energieeffizienz-des-verkehrs#kraftstoffedominieren> (accessed 23.11.2023).
- [2] B. f. V. u. d. Infrastruktur, "Mobilität in Deutschland - Zeitreihenbericht 2002 - 2008 - 2017," 2019. [Online]. Available: [https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/archive/pdf/MiD2017\\_Zeitreihenbericht\\_2002\\_2008\\_2017.pdf](https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/archive/pdf/MiD2017_Zeitreihenbericht_2002_2008_2017.pdf)
- [3] M. Benz. "DER eCITARO - Alle technischen Daten und Ausstattungen im Überblick." [https://www.mercedes-benz-bus.com/de\\_DE/models/ecitaro/facts/facts-ecitaro.pdf](https://www.mercedes-benz-bus.com/de_DE/models/ecitaro/facts/facts-ecitaro.pdf) (accessed 25.11.2023).
- [4] Volkswagen. "ID. Buzz - Technische Daten." <https://www.volkswagen-nutzfahrzeuge.de/de/modelle/id-buzz/technische-daten.html> (accessed 25.11.2023).
- [5] L. Spengler et al., "From Modeling to Optimizing Sustainable Public Transport: A New Methodological Approach," Sustainability, vol. 15, no. 10, p. 8171, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/10/8171>.