



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Sharing in Verkehrsmodellen

Intégration du sharing dans les modèles de transport

Sharing in transport models

TransOptima GmbH
Claude Weis
Joseph von Sury
Milenko Vrtic

Forschungsprojekt SVI 2019/004 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)

Dezember 2021

1717

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Sharing in Verkehrsmodellen

Intégration du sharing dans les modèles de transport

Sharing in transport models

TransOptima GmbH
Claude Weis
Joseph von Sury
Milenko Vrtic

Forschungsprojekt SVI 2019/004 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)

Dezember 2021

1717

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Claude Weis

Mitglieder

Joseph von Sury

Milenko Vrtic

Begleitkommission

Präsident

Stefan Dasen

Mitglieder

Tobias Arnold

Christoph Baur

Joschka Bischoff

Maik Hömke

Jörg Jermann

Andreas Justen

Antragsteller

Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	11
Summary	15
1 Einleitung und Ziele	19
1.1 Begriffsdefinitionen und -abgrenzung	19
1.2 Stand der Forschung und Praxis	20
1.3 Ziele der Forschungsarbeit	21
2 Vorgehen	23
2.1 Schaffung der Grundlagen	23
2.2 Modellerweiterungen	23
2.3 Anwendungsbeispiele	23
2.4 Zusammenfassung	23
3 Datengrundlagen	25
3.1 Literaturrecherche	25
3.2 Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015	25
3.3 "Ideale" Verhaltensdaten für künftige Entwicklungen	28
3.4 Modul "Sharing" in <i>Visum</i>	29
4 Implementierung in Verkehrsmodell	31
4.1 Stationsgebundenes Sharing	31
4.1.1 Abbildung des Verkehrsangebots	31
4.1.2 Ermittlung der Verkehrsnachfrage	35
4.1.3 Ergebnisse	41
4.2 Free-floating	45
4.2.1 Abbildung des Verkehrsangebots	45
4.2.2 Ermittlung der Verkehrsnachfrage	46
4.2.3 Ergebnisse	50
4.3 Ride Pooling	54
4.3.1 Technische Umsetzung	54
4.3.2 Ergebnisse	59
5 Anwendungsfälle	65
5.1 Verdopplung der Anzahl verfügbarer Fahrzeuge	67
5.2 Reduktion der Kosten um 25%	73
5.3 Erhöhung Anzahl Fahrzeuge und Reduktion Kosten	79
5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse	85
6 Schlussfolgerungen, Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf	89
6.1 Ergebnisse und Zielerreichung	89
6.2 Weiterer Forschungsbedarf und Ausblick	90
Glossar	93
Literaturverzeichnis	95
Projektabschluss	97

Zusammenfassung

Einleitung

Als eine Auswirkung der Digitalisierung auf das Verkehrsverhalten sowie die daraus resultierenden Folgen für die Verkehrsinfrastruktur wird eine höhere Attraktivität von Car-Sharing- und Car-Pooling-Angeboten erwartet. Dies erfordert eine angemessene Abbildung dieser Angebote in Verkehrsmodellen. Die Erarbeitung von Möglichkeiten zu deren Umsetzung in den in der Schweiz grösstenteils im Einsatz stehenden makroskopischen Verkehrsmodellen ist Gegenstand der vorliegenden Forschungsarbeit.

Im Allgemeinen werden Car-Sharing-Angebote grob in folgende Kategorien unterteilt: stationsbasiert, free-floating, und peer-to-peer. Die ersten beiden Kategorien, welche auf Ausleihen von Betreibern an Einzelpersonen basieren, werden auch unter dem Begriff business-to-peer zusammengefasst.

Unter Car Pooling (häufig wird auch der Begriff Ride Sharing oder Ride Pooling verwendet) versteht man das Bilden von Fahrgemeinschaften mit einem privaten PW für einen spezifischen gemeinsamen Weg ohne kommerziellen Zweck.

Die Implementierung des Sharing-Angebots in Verkehrsmodellen verlangt vor allem eine Umsetzung der Verhaltensmerkmale des Angebotssystems Car Sharing / Car Pooling hinsichtlich deren Einbezug bei der Berechnung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl. Hier sind zwei Ebenen zu differenzieren:

- Umsetzung der Verkehrssysteme Car Sharing und Car Pooling;
- Parametrisierung der Einflussfaktoren und Verhaltensmerkmale.

Damit werden Berechnungen der Verkehrsströme für die Sharing-Angebote in klassischen Makromodellen möglich. Eine anschliessende Umlegung auf das Verkehrsangebot ist mit den bestehenden Umlegungsmodellen umsetzbar.

Verhaltensdaten

In Abwesenheit umfassender Nutzerdaten, welche für die Kalibration eines Nachfragemodells mit Sharing-Modi ideal wären, wurden verschiedene Kenngrössen aus der Literatur und dem Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) 2015 abgeleitet. Die Abbildung des Sharing im Verkehrsmodell basiert darüber hinaus teilweise auf begründeten und plausiblen Annahmen. Somit liegen beispielsweise Anhaltspunkte vor zur Anzahl Fahrten pro verfügbarem Sharing-Fahrzeug und zu den Weglängen, welche zur Validierung der späteren Modellergebnisse beigezogen werden können.

Umsetzung im Verkehrsmodell

Als Grundlage für die Modellarbeiten wird das neue Kantonale Verkehrsmodell Aargau (KVM AG) verwendet. Hier wurden separate Module für die Abbildung des stationsgebundenen Sharings, des free-floating Sharings sowie des Ride Poolings aufgebaut, getestet und validiert.

Sharing

Die Sharing-Angebote wurden als eigenständige Modi im Nachfragemodell abgebildet und wie die bereits vorhandenen Modi (Fuss, Velo, PW und ÖV) mit Nutzen- und Widerstandskenngrössen und entsprechenden Parametern versehen. Zusätzlich zu den gängigen Kenngrössen (Fahrzeit, Kosten etc.) wurden hier Kapazitätskenngrössen (welche die Auslastung der Sharing-Fahrzeuge an einem Standort beschreiben) einbezogen, um die Plausibilität der Ergebnisse sicherzustellen. Die Kosten für eine Fahrt wurden anhand mittlerer Kilometer- und Stundensätze sowie Auswertungen zu den Aufenthaltsdauern am Zielort und der damit einhergehenden längeren Nutzungsdauer des Fahrzeugs ermittelt.

Das gegenwärtige Angebot des Anbieters Mobility wurde vollständig ins Umlegungsmodell importiert, so dass die Verteilung der Nachfrage im Netz plausibel ausgehend von den vorhandenen Stationen und dort verfügbaren Fahrzeugen erfolgt.

Pooling

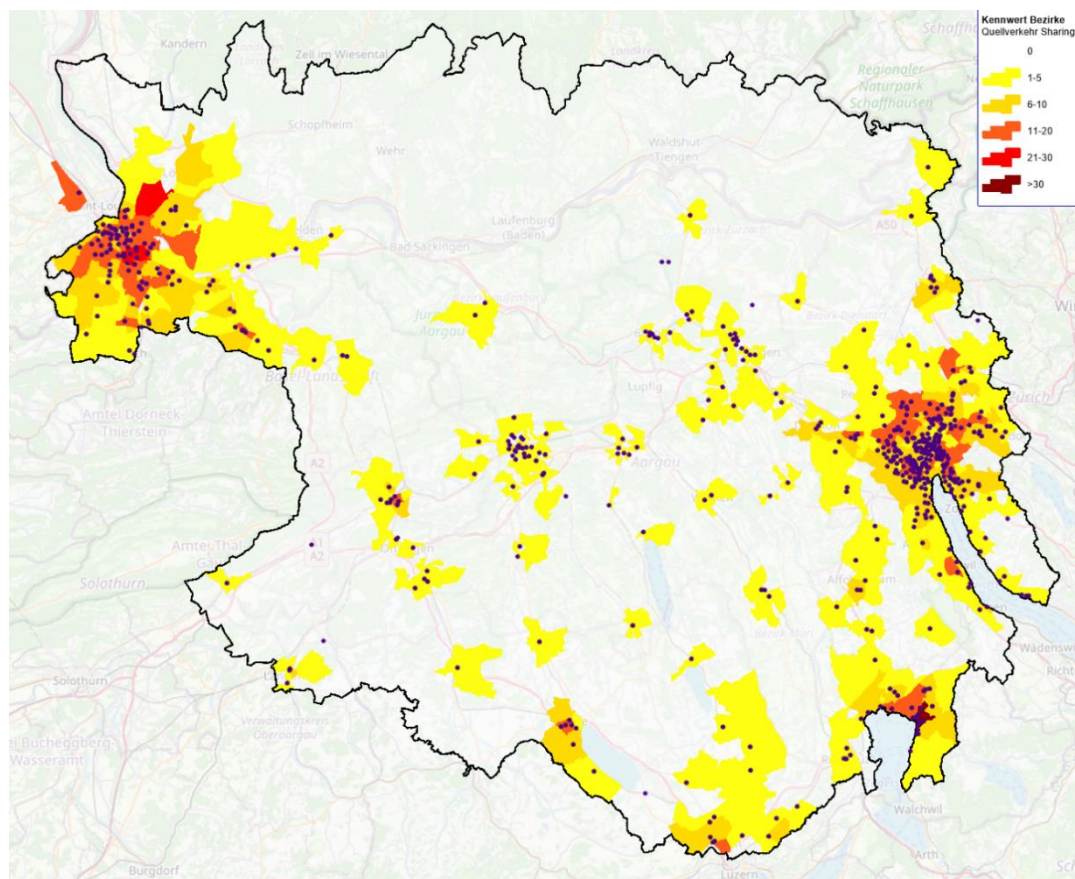
Beim Pooling wurde eine Methodik zur flexiblen Abbildung der Fahrzeug-Besetzungsgrade (Anzahl Personen pro Fahrzeug) abhängig vom Fahrtzweck und dem Nachfragepotenzial einer Quelle-Ziel-Beziehung entwickelt. Somit kann, im Gegensatz zur standardmässigen Verwendung konstanter mittlerer Besetzungsgrade aus dem MZMV 2015, die Nachfrage nach Fahrgemeinschaften eruiert und entsprechend im Modell dargestellt werden.

Ergebnisse

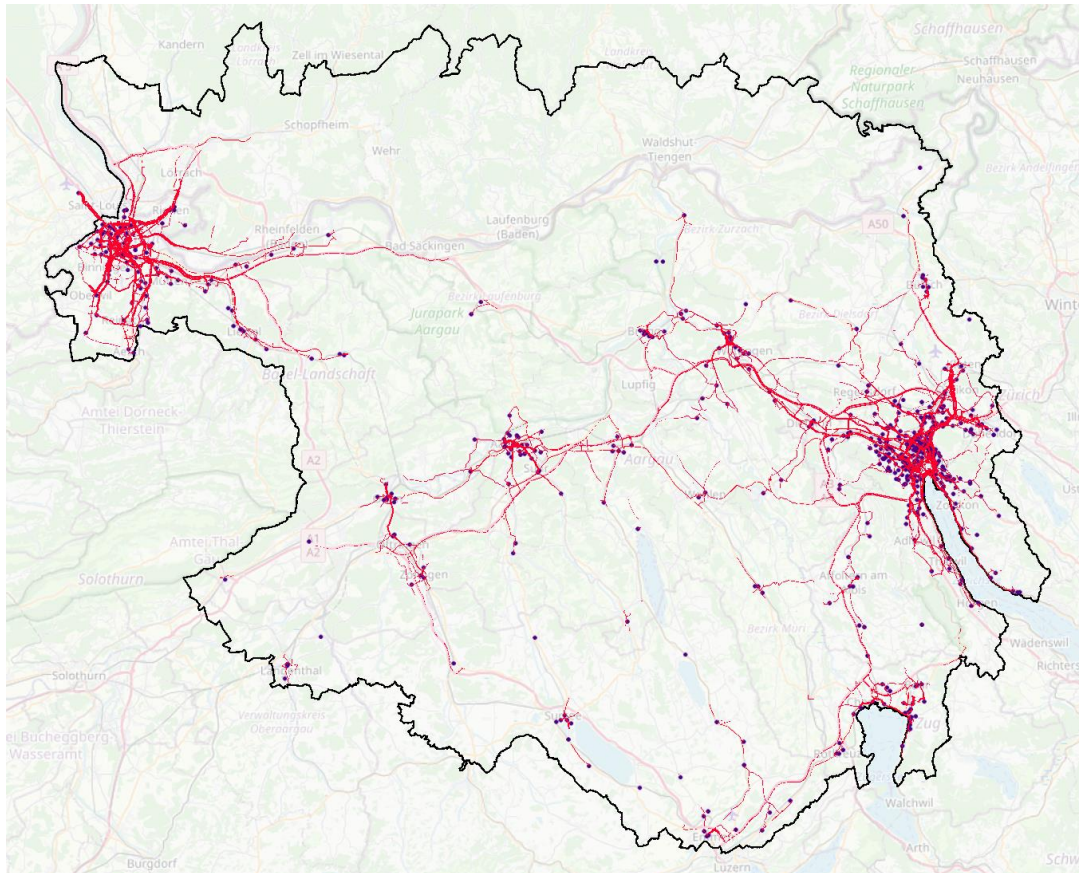
Die Ergebnisse der Modellläufe für den Ist-Zustand wurden analysiert und validiert. Insgesamt wurden die resultierenden Kennwerte durchgehend als sehr plausibel angesehen, könnten jedoch anhand einer besseren Datengrundlage weiter verfeinert und kalibriert werden.

Untenstehende Abbildung zeigt am Beispiel des stationsgebundenen Sharings die Verteilung der Sharing-Stationen und -Fahrzeuge im Modellgebiet des KVM AG und die generierte Nachfrage nach Sharing-Fahrten. Hier ist ersichtlich, dass das Sharing sein Potenzial insbesondere in urbanen Räumen entwickelt, wo es als Ergänzung zur guten ÖV-Erschliessung für Nutzergruppen mit relativ tiefen Besitzraten eines eigenen PWs wirkt. In ländlichen Gegenden gibt es hingegen kaum entsprechende Angebote (betreffend sowohl ÖV als auch Sharing), wodurch die Attraktivität, auch in Anbetracht der Dominanz des privaten PWs, hier kaum gegeben ist.

Dies ist ebenfalls in der Darstellung der durch das Sharing in Anspruch genommenen Streckenbelastungen ersichtlich (cf. Abbildung auf nächster Seite). Es finden hier zwar ebenfalls Fahrten in den ländlichen Raum statt (da bei der Hinfahrt eines Sharing-Rundwegs auch Ziele ohne vorhandene Station angefahren werden können), es dominieren jedoch weiterhin die Fahrten in und um die grossen Städte.



Stationsgebundenes Sharing: Quell- bzw. Zielverkehr pro Bezirk [Fahrten pro Tag]



Stationsgebundenes Sharing: Streckenbelastungen [Fahrzeuge pro Tag] (max. Balkendicke = 100 Fahrzeuge)

Validierung und Empfehlungen

Die Modellergebnisse wurden anhand mehrerer Anwendungsfälle validiert, welche wie folgt definiert wurden:

- Verdopplung der Anzahl verfügbarer Fahrzeuge (1);
- Reduktion der Kosten um 25% (2);
- Kombination von (1) und (2).

In den ersten beiden Anwendungsfällen konnten die erwarteten Anstiege der Gesamtnachfrage nach Sharing-Wegen beobachtet werden. Die Reduktion der Kosten führt zudem zu einem leichten Anstieg der gefahrenen Distanzen pro Fahrt, da das Sharing hier auch für weitere Wege leicht attraktiver wird.

Insgesamt sind die Reaktionen des Modells auf die Angebotsveränderungen plausibel (korrekte Grössenordnungen der Nachfrageveränderungen und Elastizitäten), womit die Validierung der Modellergebnisse hier erfolgreich war und eine Anwendung entsprechend erweiterter Verkehrsmodelle für die Abbildung von Angebotsszenarien der verschiedenen Sharing-Modi empfohlen werden kann.

Zumindest für Aussagen über die allgemeine Nutzung auf städtischer oder regionaler Ebene konnte die Eignung des hier vorgestellten Ansatzes belegt werden. Er würde wie erwähnt zusätzlich von der Versorgung mit entsprechenden Datengrundlagen profitieren, um eine noch plausiblere Kalibration des hinterlegten Verhaltens zu erreichen. Derart verbesserte kalibrierte Modelle könnten und sollten dann auch für verlässliche Mittel- und Langfristprognosen der Nutzung von Sharing-Systemen angewandt werden. Bei den hier gezeigten Anwendungsfällen wurde der Fokus bewusst auf die Sharing-Angebote gelegt. An-

wendungen zum Ride Pooling bedürfen konkreter Angaben zur Ausgestaltung von Anreizen und Potenzialen für die Bündelung von Fahrten, welche in der vorliegenden Forschungsarbeit nicht im Vordergrund stehen.

Résumé

Introduction

Un des effets de la digitalisation sur le comportement en matière de transport, et les conséquences attendues au niveau de l'infrastructure, pourrait être une attractivité accrue des offres de car sharing et car pooling. Ces Nouvelles offres doivent donc être adéquatement représentés dans les modèles de transport. Le but du présent projet de recherche est de développer des approches pour avancer les modèles macroscopiques, utilisés en Suisse pour la plupart, sur ce plan.

En général, les offres de car sharing sont catégorisés en offres sur base de stations fixes, offres free floating (tous les deux sous le modèle business-to-peer) et offres peer-to-peer.

On entend par le car pooling (synonyme avec le ride sharing ou ride pooling) la formation de groupes de covoiturage en voiture privatisée pour un trajet commun spécifique.

L'implémentation des offres de sharing dans les modèles de transport nécessite surtout une représentation des propriétés du comportement en leur matière, en vue de leur implication dans le calcul du choix de destination et de mode de transport. On différencie deux niveaux:

- implémentation des systèmes de transport car sharing et car pooling ;
- paramétrisation des variables ayant un effet sur le comportement, et de leurs effets.

Ces démarches rendent possible le calcul des flux de trafic des systèmes sharing dans des modèles de transport macroscopiques. L'affectation du réseau routier peut être effectuée en utilisant les modèles d'affectation existants.

Données de base

En l'absence de données détaillées sur l'usage des systèmes de sharing, qui seraient idéales pour la calibration d'un modèle de demande en matière de transports, des nombres clés ont été dérivées de la littérature ainsi que du Microrecensement Mobilité et Transports (MRMT) 2015. La représentation du sharing dans les modèles de transport est basée en partie sur des hypothèses motivées et fondées. Par exemple, on peut dériver des points de repère concernant les nombres de trajets par véhicule de sharing et les longueurs de ces trajets, qui peuvent être utilisés pour valider les résultats de modélisations.

Implémentation dans le modèle

Le modèle cantonal de l'Argovie (KVM AG) est utilisé comme base pour les travaux. Des modules pour la représentation du sharing sur bases de stations, le free floating ainsi que le pooling ont été implémentés, testés et validés.

Sharing

Les offres de sharing ont été implémentés comme modes à part dans le modèle de demande et fournis de fonctions d'utilité et de paramètres, tout comme les autres modes présents dans le modèle (piétons, vélos, voitures privatisées et transport public). En outre des variables communes (temps de trajet, coûts etc.), des variables représentant la capacité du système et les véhicules disponibles à un emplacement ont été intégrées afin d'obtenir des résultats plus plausibles. Les coûts d'un trajet ont été calculés sur la base de tarifs moyens par heure et kilomètre ainsi que d'analyses des durées de séjour à la destination et des durées d'utilisation prolongée y liée des véhicules.

L'offre actuelle de la compagnie Mobility a été entièrement importée dans le modèle d'affectation, et la distribution de la demande dans le réseau est basée sur cette offre.

Pooling

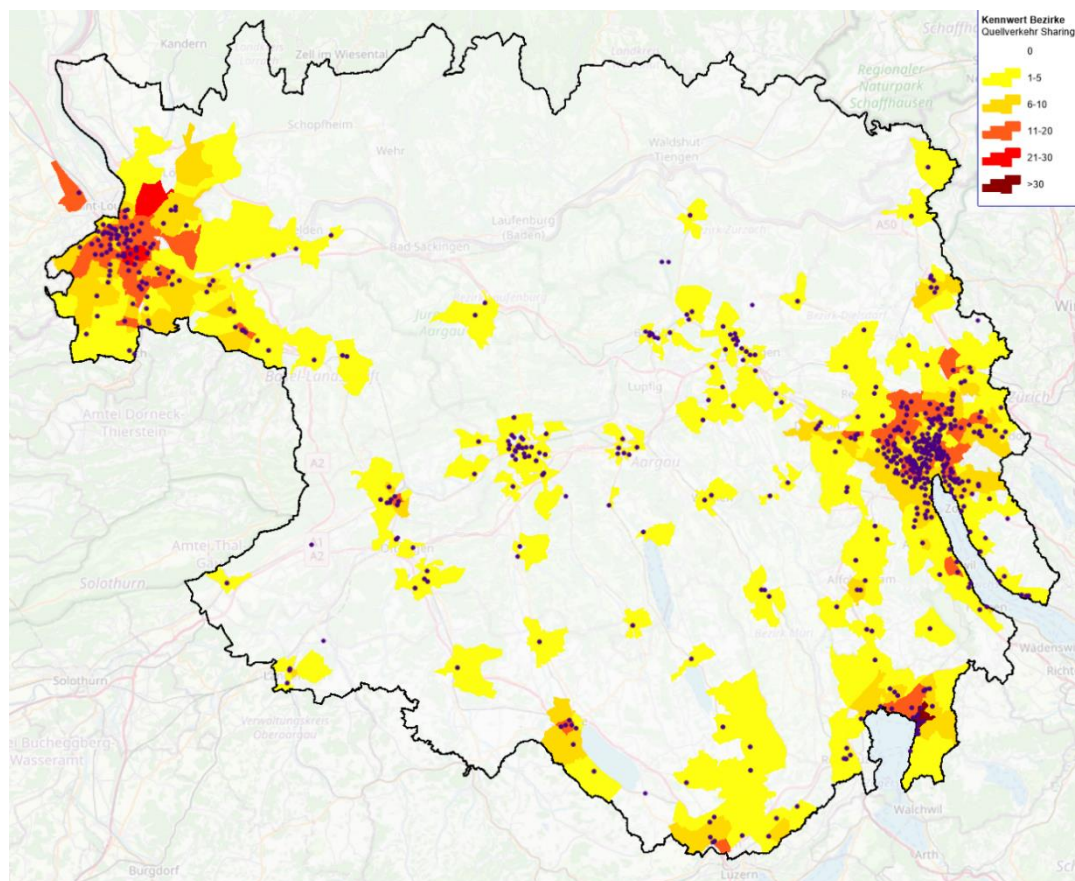
Le pooling a été implémenté par une approche basée sur les taux d'occupation (nombre de personnes par véhicule) flexibles et dépendant du motif du trajet et du potentiel de demande d'une relation. Ceci permet d'estimer la demande pour le covoiturage, contrairement à l'utilisation de taux d'occupation fixes dérivés du MRMT 2015.

Résultats

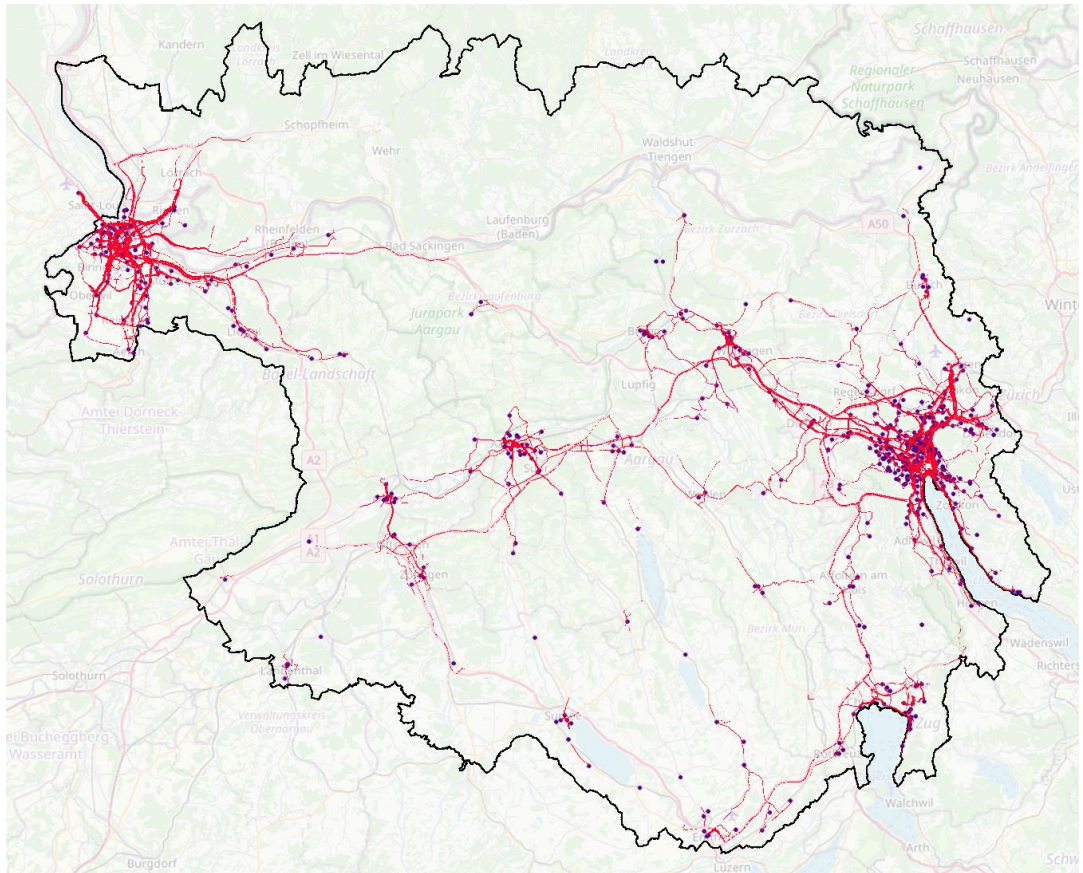
Les résultats des calculs de modèle de l'état présent ont été analysés et validés. En général, les nombres clés résultants sont très plausibles, mais bénéficieraient évidemment d'une base de données améliorée et permettant une calibration plus détaillée.

La figure ci-dessous montre la distribution des stations de sharing et des véhicules y présents dans le périmètre du KVM AG, ainsi que la demande générée en matière de trajets effectués par sharing. On peut voir que le sharing a du potentiel en particulier dans les régions urbaines, où il fonctionne en complément des réseaux de transports publics pour des groupes d'utilisateurs à taux relativement faibles de propriété de véhicules privés. Dans les régions urbaines par contre, il n'existe quasiment pas d'offre de sharing (ni de transport public), et l'attractivité est moindre par rapport à l'utilisation dominante des véhicules privés.

Ceci est visible également par la représentation des charges du réseau (cf. page suivante). Tant qu'il existe également des trajets vers les régions urbaines (donnée la possibilité de joindre des endroits sans stations de sharing sur la première partie du trajet aller-retour), les trajets autour des grandes villes sont néanmoins dominantes.



Sharing à stations fixes : Demande par zone du modèle [trajets par jour]



Sharing à stations fixes : charges du réseau [véhicules par jour] (épaisseur max. = 100 véhicules)

Validation et recommandations

Les résultats des modèles ont été validés lors de plusieurs applications, définies comme suit:

- doublement du nombre de véhicules disponibles (1);
- réduction des coûts de 25% (2);
- combinaison de (1) et (2).

Les deux premières applications mènent aux augmentations de la demande en matière de sharing qu'on attendait. De plus, la réduction des coûts amène une augmentation légère des distances parcourues par trajet, en raison de l'attractivité plus importante du sharing pour ces trajets.

En général, les réactions du modèle aux changements de l'offre sont plausibles (ordres de grandeur corrects des changements en matière de demande et des élasticités), et la validation des résultats peut être considérée comme réussie. Par conséquent, l'application de modèles étendus comme celui présenté ici peut être recommandé pour la représentation de scénarios d'offre des différents modes de sharing.

Au moins pour des informations sur l'usage général au niveau de villes ou régions, l'approche ci-décrite est valable. Elle profiterait néanmoins d'une alimentation en données plus détaillées, qui permettraient la calibration des différents nombres clés concernant le comportement des usagers. Des modèles améliorés ainsi pourraient alors être utilisés pour obtenir des pronostics fiables à moyen et à long terme sur l'utilisation des systèmes de sharing. Les applications se concentrent sur le sharing, comme pooling nécessite de données concrètes sur les mesures et les potentiels, qui ne sont pas au premier plan du projet de recherche.

Summary

Introduction

As an effect of digitalisation on travel behaviour and, consequently, transportation infrastructure, an increased attractiveness of car sharing and pooling systems can be expected. Those circumstances necessitate an adequate implementation of those systems in transport models. The present research project aims to develop methods for their implementation in macroscopic transport models, which are preponderantly used in Switzerland.

In general, car sharing systems are categorized as either station based, free floating, or peer-to-peer. The first two categories, based on an operator providing services to individuals, can be summarised under the term business-to-peer.

Car pooling (the terms ride sharing or ride pooling may be used interchangeably) is the formation of groups of individuals who share a private vehicle for a specific common trip.

The primary requirement for modelling sharing schemes is the implementation of the behavioural properties of the system's users, in view of their inclusion in the calculation of the destination and mode choice steps. The implementation broadly happens on two levels:

- implementation of the relevant transport systems on the supply side;
- parametrisation of the relevant attributes and their relative influences on behaviour.

Thus, the derivation of traffic flows of sharing systems in classical transport models are enabled. The subsequent assignment of those flows to the road network can be carried out using the existing modelling framework.

Behavioural Data

In the absence of comprehensive user data, which would be ideal for calibrating a transport demand model including sharing modes, various key figures were derived from literature and the Mobility and Transport Microcensus (MTMC) 2015. Beyond these values, the implementation of sharing in the model is based in part on well-founded and plausible assumptions. For example, reference points are available for the number of trips per shared vehicle and for the trip distances, which can be used for the later validation of the model results.

Implementation in the transport model

The new transport model of the Canton of Aargau (KVM AG) is used as an instrument for the work described herein. Separate modules were conceived, tested and validated for the implementation of station based and free floating car sharing as well as ride pooling.

Sharing

The sharing systems are implemented as stand-alone modes in the demand model, and utility functions and their parameters are set up accordingly, in the same way as for the other modes (walk, bicycle, private car and public transport). In addition to the usual variables (travel times, costs etc.), capacity restraint attributes were implemented for the new modes, as to describe the influence of the availability of shared vehicles at a certain location on use, and thus to ascertain the plausibility of the results. The costs for a trip were derived from average kilometre and hourly rates as well as analyses of the time spent at the trip destination and the ensuing longer utilisation time of the shared vehicle.

The current supply of the Swiss operator Mobility was entirely imported into the network model, so that the distribution of the demand over the network is carried out plausibly starting from the existing stations and the vehicles that are available there.

Pooling

Ride pooling was implemented using an approach allowing a flexible definition of vehicle occupation rates (number of people riding in a vehicle) depending on the trip purpose and

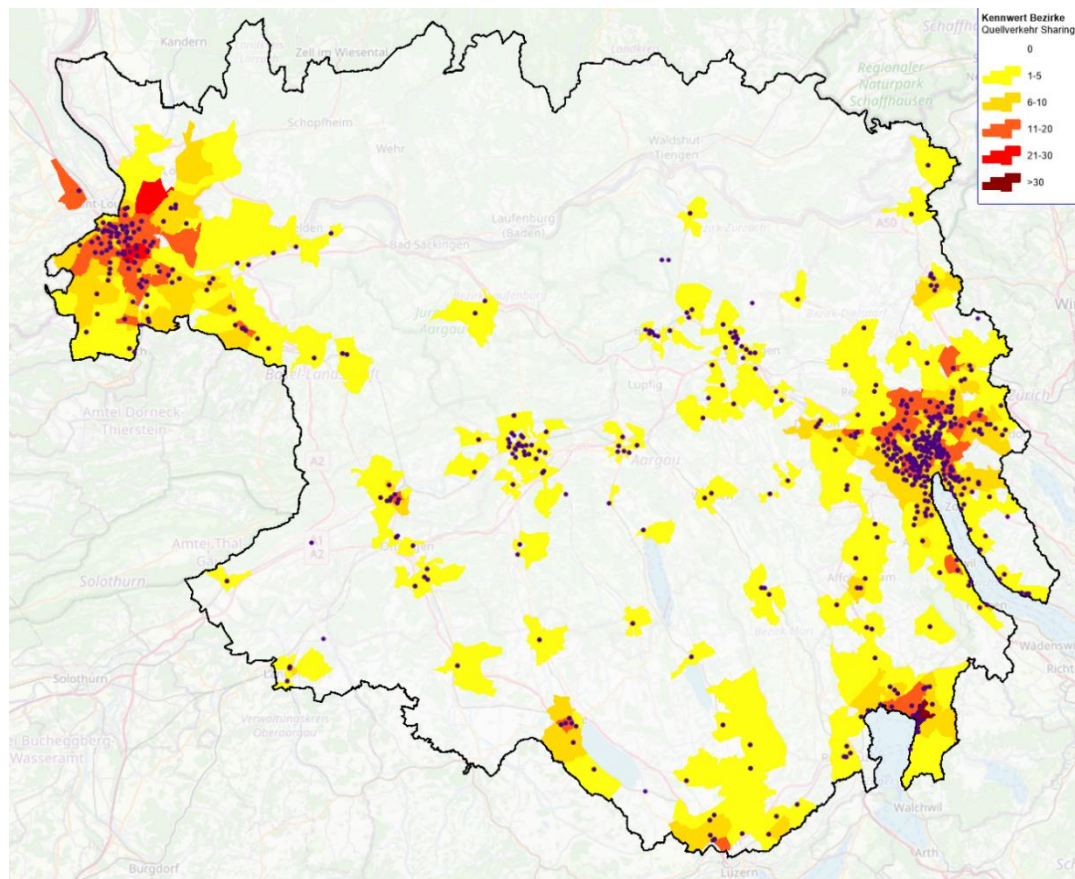
the demand potential of an origin-destination pair of model zones. Thus, rather than using fixed average values derived from the MTMC, the demand for pooling can be evaluated and implemented in the model accordingly.

Results

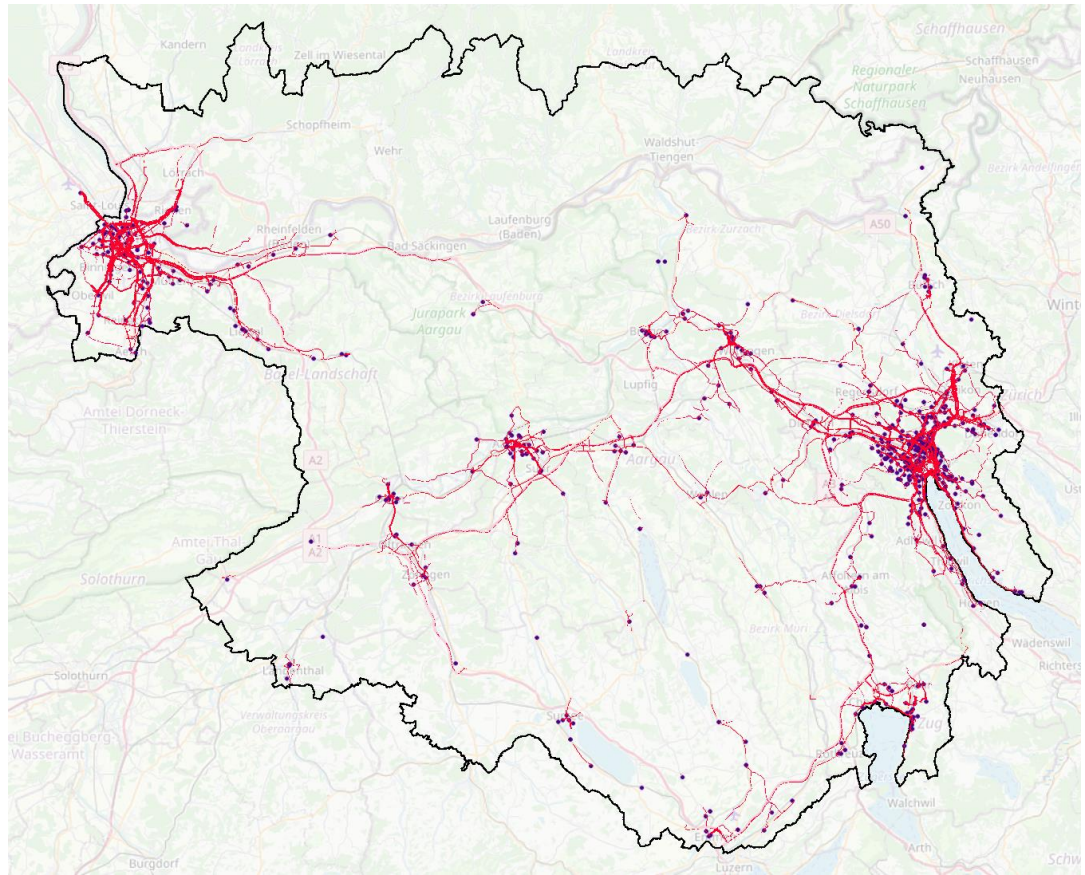
The results of the model runs for the current state were analysed and validated. Overall, the resulting values can be considered as plausible, but could of course be further refined and calibrated if better empirical data were available.

The figure below shows the distribution of the existing stations and shared vehicles in the model perimeter of the KVM AG, as well as the generated demand for sharing trips. It can be seen that the sharing mode has the most potential in urban regions, where it acts as a supplement to the provision with a good public transport supply for user groups with below average rates of private vehicle ownership. In rural regions on the other hand, there is a much lower supply (of shared vehicles as well as public transport), leading to a decreased attractiveness of the sharing mode, demand being dominated mainly by trips in private vehicles.

An analysis of road network loads generated by the sharing mode reinforces this view – while a few tips are made in rural regions as well (as the outbound portion of a station based round trip can be made independently of the availability of a station at the destination), trips are nevertheless centred around the large urban agglomerations.



Station based sharing: Origin and destination traffic per model zone [trips per day]



Station based sharing: Network loads [vehicles per day] (max. bar width = 100 vehicles)

Validation and recommendations

The model results were validated by the means of several use cases, which were defined as follows:

- doubling the number of available vehicles (1);
- reducing the costs by 25% (2);
- combination of (1) und (2).

The first two use cases both led to the expected increases in total demand for trips by sharing modes. The cost reduction additionally leads to an increase of the distances covered per trip, as the sharing modes become slightly more attractive also for longer trips in this case.

Overall, the model's reactions to the changes in supply may be considered as plausible (correct orders of magnitude for the demand changes and resulting elasticities). As such, the validation of the model results was successful, and an application of transport models extended as described herein can be recommended for the implementation of supply scenarios for the various sharing modes.

At least for assertions on the general use on a city or regional level, the applicability of the chosen approach could be demonstrated. As mentioned above, the model would benefit from a further alimentation with more detailed usage data, in order to obtain a more plausible calibration of the implemented behavioural components. Models that are improved this way could and should then also be used for reliable mid and long term forecasts of the use of sharing systems.

The applications shown here are focused on sharing, as applications on pooling would require concrete data on the implemented measures and their influence on the potential for trip bunching, which is not the primary subject of the research project.

1 Einleitung und Ziele

Die Auswirkungen der Digitalisierung auf das Verkehrsverhalten sowie die daraus zu erwartenden Folgen für die Verkehrsinfrastruktur sind in den letzten Jahren sowohl in der Verkehrspolitik als auch in der Verkehrsplanung ein sehr wichtiges Thema geworden. Es wird erwartet, dass einerseits durch die Entwicklung von autonomen Fahrzeugen und andererseits durch weitere Möglichkeiten der Digitalisierung der Telekommunikations- und der Internetdienste eine sicherere, sauberere und effizientere Mobilität möglich wird. Es wird eine bessere Ausnutzung der verfügbaren Kapazitäten, eine erhöhte Automobilität für neue Nutzergruppen (wie Betagte, Menschen mit Behinderungen und Kindern) sowie eine höhere Attraktivität von Car-Sharing- und Car-Pooling-Angeboten erwartet.

Letzteren Angeboten dürfte angesichts deren erwarteten gesteigerten Attraktivität auch bei verkehrspolitischen Betrachtungen eine grössere Rolle zugesprochen werden als bisher. Dies erfordert eine angemessene Abbildung in den gängigen Evaluationsinstrumenten, und insbesondere in Verkehrsmodellen. Die Erarbeitung von Möglichkeiten zu deren Umsetzung in den in der Schweiz grösstenteils im Einsatz stehenden makroskopischen Verkehrsmodellen ist Gegenstand der vorliegenden Forschungsarbeit.

1.1 Begriffsdefinitionen und -abgrenzung

Im Allgemeinen werden Car-Sharing-Angebote grob in folgende Kategorien unterteilt: stationsbasiert, free-floating, und peer-to-peer. Die ersten beiden Kategorien, welche auf Ausleihen von Betreibern an Einzelpersonen basieren, werden auch unter dem Begriff business-to-peer zusammengefasst. Die Angebotsformen sind wie folgt ausgelegt:

- Beim *stationsbasierten* Car Sharing stehen die Autos auf einem festen Stellplatz. Kunden holen den Wagen dort ab, nach der Fahrt bringen sie ihn dorthin zurück (dies entspricht dem in der Schweiz am weitesten verbreiteten Angebot der Firma Mobility).
- Beim Car Sharing nach dem *free-floating*-Ansatz stehen die Autos auf beliebigen Parkplätzen innerhalb des Nutzungsgebiets (in der Regel eine Stadt oder deren Umgebung). Nach der Fahrt stellen die Kunden den Wagen wiederum irgendwo im Gebiet wieder ab (in der Regel auf einem öffentlichen Parkplatz). In der Schweiz existiert ein solches Angebot (*Mobility Go*) in Basel.
- Beim Car Sharing des Typs *peer-to-peer* werden nicht Flottenfahrzeuge eines Car-Sharing-Anbieters geteilt, sondern Fahrzeuge privater Halter. Meist organisiert eine Internet-Plattform die Vermittlung und Vermietung der privaten PW an Autosuchende.

Unter Car Pooling (häufig wird auch der Begriff Ride Sharing oder Ride Pooling verwendet) versteht man das Bilden von Fahrgemeinschaften mit einem privaten PW für einen spezifischen gemeinsamen Weg. Der Fahrzeugbesitzer bestimmt, ob und mit welchem Ziel eine Fahrt unternommen wird. Die Fahrt findet auch statt, wenn keine dritte Person mitfährt oder wenn nur Personen mitfahren, die nicht über eine Ride-Sharing-Plattform vermittelt wurden. In der Regel werden die Fahrtkosten geteilt oder über abwechselnde Fahrten gegenseitig verrechnet.

Mit fortschreitender Digitalisierung ist zu erwarten, dass die Attraktivität der verschiedenen Sharing-Angebote weiter zunehmen wird und das Teilen der Fahrzeuge durch die höhere zeitliche und räumliche Flexibilität sowie die dadurch veränderten Kostenkomponenten an Bedeutung gewinnen wird. Auch die bessere Verfügbarkeit der notwendigen digitalen Lösungen (Apps mit dank Standortdaten auf die aktuelle Situation zugeschnittenen Angeboten) für die Buchung dürften zur Erhöhten Attraktivität beitragen. In der Schweiz ist mit Mobility ein Sharing-Anbieter mit langjähriger Erfahrung im Hinblick auf die Nutzung und das Verhalten beim Car Sharing etabliert. Leider fehlt es hier an ausreichenden und statistisch signifikanten Grundlagendaten, um die Verhaltensmerkmale sowie die Einflussfaktoren auf die Nutzung von Car Sharing zu erklären. Auch eine Analyse der Daten aus dem Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) wurde hier bis jetzt nicht publiziert. Aufgrund der relativ kleinen Modal-Split-Anteile des Car Sharing und Car Pooling (schätzungsweise weniger als 1%; cf. auch Abschnitt 3.2) an der Gesamtnachfrage (Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistungen) wurde auch bei der Erstellung von Planungsgrundlagen in der Regel keine differenzierte Betrachtung des Sharing vorgenommen. Dadurch waren bisher auch

keine Anforderungen an eine Umsetzung der Car-Sharing- und Car Pooling-Angebote in strategischen Verkehrsmodellen vorhanden. In den in der Schweiz gängigen Verkehrsmodellen wird sowohl bei den Analysen als auch den Prognosen die Nutzung des Car Sharing in der Regel den PW-Fahrten zugeordnet.

1.2 Stand der Forschung und Praxis

Car Sharing hat sich in westeuropäischen Ländern als Konzept erfolgreich durchgesetzt. In der Schweiz ist Mobility in den letzten Jahren stetig gewachsen. Auch in Deutschland ist dieser Markt regional sehr dicht besetzt. In den letzten Jahren versuchen mehrere Autohersteller, u.a. mit Elektrofahrzeugen das Angebot attraktiver und nachhaltiger zu machen, wobei der Schwerpunkt vor allem auf die Grossstädte gelegt wird.

Die Wirkung von Car Sharing und Car Pooling wurde in den letzten Jahren auch empirisch dokumentiert.

Loose (2010) bietet eine Zusammenfassung der Car-Sharing-Entwicklung in Europa und eine Bewertung der erreichten Standards in 14 europäischen Ländern. Dabei zeigt sich, dass bisher lediglich in der Schweiz eine Teilnehmerquote von mehr als einem Prozent der Bevölkerung am Car-Sharing erzielt wurde. Alle anderen entwickelten Car-Sharing-Länder in Europa bleiben unter der 0.2 Prozent-Marke. Eine vergleichbare Zusammenstellung aktuellerer Zahlen konnte nicht ausfindig gemacht werden, die Grössenordnungen sollten sich jedoch nicht wesentlich verändert haben, da die Angebote in Ihrer Struktur seither stabil geblieben sind.

Weigl und Bogenberger (2015) stellen beim Mobilitätskonzept Car Sharing einen bemerkenswerten Kundenzuwachs fest, der vor allem auf die Entwicklung der free floating Car-Sharing-Systeme zurückzuführen ist. Diese neuen Systeme ermöglichen dem Kunden Ein-Weg-Fahrten und zeichnen sich somit durch eine höhere Flexibilität aus. Andererseits führt dieses System zu einem Ungleichgewicht zwischen Car-Sharing-Angebot und -Nachfrage, da der Kunde nicht an eine Station gebunden ist und damit Zonen mit Fahrzeugmangel und andere Zonen mit einem Fahrzeugüberschuss entstehen. Die zeitliche und räumliche Asymmetrie der Car-Sharing-Nachfrage wird mit Hilfe einer Clustermethode analysiert und ähnliche Nachfragemuster identifiziert. Solche Asymmetrien sind bei der Modellierung des Car Sharing zu beachten.

Deutsch (2018) analysiert die veröffentlichten Studien zum Ride Hailing (bzw. Ride Selling), also Taxis ähnelnden Angeboten von Unternehmen, um festzustellen, ob die gefahrenen Fahrzeugkilometer in den Städten durch diese sinken oder steigen und damit zu nachhaltigen Verkehrslösungen in den Städten führen. Die Ergebnisse der Studie sind eher ernüchternd: In den Vereinigten Staaten werden durch digitale Verkehrsangebote wie Uber, Lyft & Co und ohne ordnungspolitische Massnahmen zusätzliche Fahrzeugkilometer in den besonders sensiblen Innenstadtbereichen generiert, und die Verkehrsqualität nimmt dadurch ab. Die Fahrdienste wirken öffentlichen Verkehrsinteressen entgegen, da sie Neuverkehr induzieren, Nutzer des ÖV-Angebots herausziehen und die Verkehrsqualität für den Strassenverkehr verschlechtern (etwa die Hälfte der Ride-Hailing-Fahrten ist entweder induziert oder substituiert ÖV, Fuss- und Veloverkehr, die andere Hälfte stammt folglich vom Taxi bzw. vom privaten PW-Verkehr).

In der Schweiz analysiert eine Studie des Bundesamtes für Energie BFE (Haefeli *et al.*, 2006) die Nutzung der Angebote von Mobility in der Schweiz. Ciari (2012), Ciari *et al.* (2013) und Balac *et al.* (2016) zeigen Möglichkeiten zur Abschätzung des Car-Sharing-Potenzials in Zürich auf. Ciari *et al.* (2015) zeigen ebenfalls am Beispiel von Zürich auf, wie die Verteilung von Fahrzeugstationen die Mitgliedschaft von Sharing-Verbünden beeinflussen kann.

Auch in Deutschland und Frankreich ist eine Vielzahl von empirischen Studien zu verschiedenen Varianten von Car Sharing vorhanden. Weitere internationale Studien (z.B. de Lormier und El-Geneidy, 2013, in Montréal, Kanada; Kortum, 2014, in Austin, Texas, USA; Schmöller und Bogenberger, 2014, in München, Deutschland) kommen stets zu ähnlichen Schlüssen. Die wesentlichen Schlussfolgerungen sind:

- Durch Car Sharing wird teilweise (ca. ein Fünftel der Sharing-Abonnenten) auf den Kauf eines eigenen Autos verzichtet oder auch eigene Autos abgeschafft.
- Car Pooling führt zu einem höheren Besetzungsgrad, aber auch zum Verzicht auf Autofahrten mit dem eigenen Auto oder dem öffentlichen Verkehr.

Des Weiteren ist festzustellen, dass die Nutzung von Car-Sharing-Angeboten zwar auch bei Verkehrsteilnehmern zunimmt, die ein eigenes Auto besitzen; andererseits weisen die Car-Sharing-Kunden aber auch eine überdurchschnittliche Nutzung des öffentlichen Verkehrs auf (z.B. Catch-a-Car-Kunden) und fahren im Durchschnitt deutlich seltener mit dem eigenen Auto als PW-Besitzer (siehe Becker *et al.*, 2016). Des Weiteren ist der PW-Besitz der Car-Sharing-Nutzer nach Car-Sharing-Varianten sehr unterschiedlich (die Nutzer stationsbasierter Angebote weisen einen sehr tiefen PW-Besitz auf). Es wird auch festgestellt, dass die Entwicklung der PW-Besitzrate während der Nutzung von Car Sharing in Abhängigkeit der Nutzungsvariante unterschiedliche Entwicklungen aufweist (stationsbasiert: Abnahme, free floating und peer-to-peer: Zunahme; siehe auch STARS, 2018).

Jermann (2019) zeigt einen Ansatz auf, wie Ride Pooling über die Erzeugung sogenannter Routenbündel abgebildet werden kann. Die vorgeschlagene Methodik ist für die Betrachtung konkreter örtlich konzentrierter Fragestellungen gut geeignet. Sie wirkt sich jedoch jeweils nur auf einen ausgewählten Querschnitt aus. Zudem verlangt deren Anwendung einen Umweg über externe Software (GIS), um die erzeugten Ride-Pooling-Fahrten im Verkehrsmodell abbilden zu können. Für die hier angestrebte Modellierung flächendeckender (modellgebietsübergreifender) Effekte direkt in der Modellsoftware muss also ein anderer Ansatz gesucht werden.

Die in der Praxis heute eingesetzten makroskopischen Verkehrsmodelle basieren in der Regel auf den Aktivitäten oder Wegen einzelner Verkehrsmittel (PW, ÖV, Fuss und Velo). Verschiedene Softwarepakete bieten zudem z.B. die Möglichkeit für die Umlegung von P+R-Wegen, welche von der Nachfragestruktur her ähnlich sein könnten wie Sharing-Wege. Diese Ansätze, sind aber auf der Ebene der Nachfrageberechnung (Verkehrserzeugung, Ziel- und Verkehrsmittelwahl) zu wenig detailliert. Hier müssen die Modellanwender in der Regel auf externe und eigene Modellerweiterungen (Skripte, Pivot-Point-Ansätze etc.) zurückgreifen. In der Schweiz wurde eine solche Modellerweiterung mit einem P+R-Modell durch Vrtic und Fröhlich (2019) für das Gesamtverkehrsmodell des Kantons Tessin (GVM TI) erstellt.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass praxistaugliche Ansätze für die Abbildung von Car Sharing innerhalb der makroskopischen Verkehrsnachfragemodellierung bis dato nicht vorhanden sind (cf. auch den Exkurs in Abschnitt 3.4). Zwar gibt es diverse Ansätze in der Wissenschaft (z.B. Jorge und Correia, 2013), welche allerdings den Sprung in die Praxis nicht geschafft haben. Hauptursache hierfür ist, dass diese Ansätze sehr spezielle Daten der untersuchten Gebiete benötigen bzw. verwenden, die bei praktischen Standard-Anwendungen nicht vorhanden sind bzw. nicht erhoben werden können. Hier setzt die vorliegende Forschungsarbeit an, um diese Lücke zumindest für Anwendungen in der Schweiz so weit wie möglich zu schliessen.

1.3 Ziele der Forschungsarbeit

Makroskopische Verkehrsmodelle sind in der Schweiz seit Jahren als Instrument für die Beantwortung und Unterstützung vielfältiger Fragestellungen im Einsatz. Für die strategische Verkehrsplanung stellen vor allem die mit Verkehrsmodellen ermittelten Verkehrsprognosen eine zentrale Planungsgrundlage dar. Hier gewinnen vor allem Langfristprognosen infolge der Digitalisierung und technischer Entwicklungen, sowie die damit verbundenen Veränderungen des Verkehrsverhaltens, an Bedeutung. Aufgrund der Erwartung, dass infolge der Digitalisierung der Anteil der Car-Sharing- und Car-Pooling-Fahrten an der Gesamtverkehrsleistung in den letzten Jahren zugenommen hat und dies auch künftig wird, wird auch der Bedarf für die Abbildung von solchen Angebotssegmenten in den Verkehrsprognosen grösser. Für die planerische Praxis stellt somit die Abbildung von solchen Angeboten in Verkehrsmodellen und die entsprechende Ableitung von Nachfrageprognosen eine Herausforderung dar, deren Relevanz weiter zunehmen dürfte.

Die Implementierung des Sharing-Angebots in Verkehrsmodellen verlangt vor allem eine Umsetzung der Verhaltensmerkmale des Angebotssystems Car Sharing / Car Pooling hinsichtlich deren Einbezug bei der Berechnung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl. Hier sind zwei Ebenen zu differenzieren:

- Umsetzung der Verkehrssysteme Car Sharing und Car Pooling;
- Parametrisierung der Einflussfaktoren und Verhaltensmerkmale.

Damit werden Berechnungen der Verkehrsströme für die Sharing-Angebote in klassischen Makromodellen möglich. Eine anschließende Umlegung auf das Verkehrsangebot ist mit den bestehenden Umlegungsmodellen umsetzbar. Die Umlegung beschränkt sich dabei auf vollständig per Sharing durchgeführte Wege, welche auch im Nachfragemodell abgebildet werden. Für die Abbildung multimodaler Wege müssten die entsprechenden Modellstrukturen zunächst erstellt und mit entsprechenden empirischen Daten kalibriert werden (cf. auch Abschnitt 6.2).

Die hier eingesetzten makroskopischen Verkehrsmodelle bilden naturgemäss eine relativ hohe Flugebene ab und werden in erster Linie für die Unterstützung der strategischen Entscheidungsfindung bei der Planung eingesetzt. Entsprechend sollte auch die teilweise fehlende Abbildung der detaillierten Ausgestaltung von Sharing-Angeboten (insbesondere aus Betreibersicht) hier nicht überbewertet werden, da für solche Fragestellungen andere Ansätze zum Einsatz kommen. Das Hauptziel der Forschungsarbeit ist somit auch, die technische Umsetzbarkeit von Sharing-Angeboten in solchen Modellen aufzuzeigen; die Abbildung des konkreten Verhaltens (der Betreiber und der Nutzer) Bedarf einerseits der Verfügbarkeit deutlich detaillierterer Grundlagendaten (cf. Kapitel 3) und andererseits konkreter, auf den einzelnen Anwendungsfall zugeschnittener, Modellansätze, die sich ohne die Kenntnis der entsprechenden Anwendung nicht pauschal festlegen lassen.

2 Vorgehen

Die Hauptaufgabe der vorliegenden Forschungsarbeit ist es, die Lücke zwischen der zunehmenden planerischen Relevanz der Sharing-Angebote und deren bisher nicht ausreichend detaillierte Umsetzung in den Verkehrsmodellen so weit wie möglich zu schliessen. Aufbauend auf den bestehenden Personenverkehrs-Nachfragemodellen mit deren Verkehrssystemen Fuss, Velo, PW und ÖV werden Erweiterungen mit den zusätzlichen Verkehrssystemen Car Sharing und Car Pooling implementiert und validiert.

Das Vorgehen der Forschungsarbeit und die Struktur des vorliegenden Berichts gliedern sich in folgende Arbeitsschritte:

- Sichtung und Schaffung der (Daten-)Grundlagen und Annahmen;
- Implementierung der *Modellerweiterungen*;
- Validierung der Modelle anhand von *Anwendungsbeispielen*;
- Interpretation und *Zusammenfassung* der Ergebnisse.

Diese werden im Folgenden kurz erläutert und dabei der Aufbau des Berichts durch die Zuordnung der einzelnen Kapitel aufgezeigt.

2.1 Schaffung der Grundlagen

Neben der in Kapitel 3.1 dargestellten Literaturrecherche zur Beschreibung des *state of the art* erfolgt eine Analyse der vorhandenen Datenquellen. Neben vorhandenen Quellen zu verschiedenen Car-Sharing-Angeboten und deren Preisstruktur wurde nach Daten gesucht, welche das Verhalten von Car-Sharing-Nutzenden aufzeigt.

2.2 Modellerweiterungen

In diesem Arbeitspaket geht es konkret um die Implementierung des stationsgebundenen (Kapitel 4.1) und des free-floating (Kapitel 4.2) Car Sharings ins Gesamtverkehrsmodell des Kantons Aargau (KVM AG; Vrtic *et al.*, 2019). Diese Umsetzung beinhaltet sowohl die Abbildung des neuen Angebots im Modell, die Nachfragemodellierung (Ziel- und Verkehrsmittelwahl) als auch die Routenwahl. Zusätzlich wurden Erweiterungen zur verbesserten Abbildung von Ride Pooling umgesetzt (Kapitel 4.3).

2.3 Anwendungsbeispiele

Im Kapitel 5 sind die ausgearbeiteten Anwendungsfälle sowie deren Resultate beschrieben. Diese Anwendungsbeispiele beinhalten abgeänderte Rahmenbedingungen für die verschiedenen Car-Sharing-Modi (stationsgebunden und free-floating) und zeigen auf, wie sich die Nachfrage unter diesem veränderten Grundgerüst verhält. Die Reaktionsfähigkeit der vorgenommenen Modellerweiterungen und getroffenen Modellannahmen wurde geprüft und plausibilisiert bzw. validiert.

2.4 Zusammenfassung

Im letzten Arbeitsschritt erfolgt die Zusammenfassung der Ergebnisse (Kapitel 6). Dabei werden die Erkenntnisse der vorherigen Arbeitspakete gesamthaft interpretiert. Anschliessend werden Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen für die Abbildung von Car Sharing in makroskopischen Verkehrsmodellen abgegeben. Der vorliegende Schlussbericht dokumentiert sämtliche durchgeführten Arbeiten und dient interessierten Planern als Grundlage für die Erarbeitung entsprechender Anwendungen im Rahmen existierender oder neuer Verkehrsmodelle.

3 Datengrundlagen

Um die verschiedenen unter dem Begriff Car Sharing zusammengefassten Modi in ein makroskopisches Verkehrsmodell implementieren zu können, sind einige Datengrundlagen notwendig. Anhand dieser lassen sich – wie bei den anderen Verkehrsmodi – gewisse Kenngrößen wie Reiseweiten, Modal-Split-Anteile etc. auf die vorhandenen Erhebungswerte kalibrieren. Die Erweiterungen zum Ride Pooling basieren vollumfänglich auf bereits im KVM AG enthaltenen Daten und werden in Abschnitt 4.3 beschrieben).

3.1 Literaturrecherche

Eine wichtige Kenngrösse ist die Anzahl Fahrten pro Tag, welche je verfügbares Sharing-Fahrzeug in einem bestimmten Gebiet durchgeführt werden. Anhand dieser Grösse lässt sich das Nachfragemodell und der Modal-Split-Anteil des Car Sharings auf eine plausible Grössenordnung kalibrieren. Aus Haefeli *et al.* (2006) ist zu entnehmen, dass pro Privatkunde 16 Fahrten pro Jahr durchgeführt werden. Der Jahresbericht 2019 von Mobility (Mobility Genossenschaft, 2019) sagt aus, dass sich 224'000 Kunden 2'860 "Return-Fahrzeuge" teilen. Aus den beiden Werten ergibt sich die Anzahl von ca. 3.4 Fahrten pro Fahrzeug und Tag:

$$\frac{224'000 [\text{Kunden}] \cdot 16 \left[\frac{\text{Fahrten}}{\text{Jahr} \cdot \text{Kunde}} \right]}{2'860 [\text{Fahrzeuge}] \cdot 365 \left[\frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}} \right]} = 3.43 \left[\frac{\text{Fahrten}}{\text{Fahrzeug} \cdot \text{Tag}} \right]$$

Wie gross der Anteil von Car-Sharing (stationsbasiert oder free floating) am Gesamtverkehrsaufkommen ist, lässt sich trotz verschiedenster Quellen zum Thema Sharing nicht ableiten. Aus diesem Grund mussten für die Modal-Split-Werte dieser Modi Annahmen getroffen werden.

Gemäss Haefeli *et al.* (2006) beträgt die durchschnittliche Fahrtlänge pro Privatkunde 43km. Dieser Wert ist allerdings mit Vorsicht zu interpretieren, da eine Fahrt gemäss dieser Definition den gesamten Zeitraum von Ausleih-Beginn bis -Ende, und somit – bei einer durchschnittlichen Ausleihdauer von ca. 6 Stunden – mindestens zwei Etappen (Fahrt von Ausleihstandort zum Ziel und Rückfahrt zum Rückgabestandort) enthält. Selbst bei einer entsprechenden Teilung durch den Faktor 2 erscheint der Wert jedoch eher hoch, da die Fahrtkosten des Sharing bei langen Wegen doch deutlich über jenen der übrigen Verkehrsmittel liegen (cf. Abschnitt 4.1.2) und dieses somit für längere Wege eigentlich nicht konkurrenzfähig sein dürfte.

3.2 Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015

Da der Anteil an Sharing-Wegen gemessen am Gesamtverkehr sehr gering ist, sind im Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) 2015 (BFS und ARE, 2017) nicht genügend Sharing-Wege vorhanden, um belastbare Aussagen treffen zu können. Im MZMV 2015 sind insgesamt 1'545 Mobility-Mitglieder erfasst. Der Anteil an Mobility-Mitgliedern an der Gesamtstichprobe des MZMV 2015 ist somit in etwa gleich wie jener der Schweizer Gesamtbevölkerung (2.7% vs. 2.6%).

Die MZMV-Befragten legen jedoch an ihren Stichtagen nur 69 Wege (als Fahrer) mit dem Modus Car Sharing zurück, was eine für statistische Auswertungen ungenügend Stichprobe darstellt. Die entsprechende Rate von 0.045 Fahrten pro Mobility-Mitglied und Tag deckt sich aber mit der oben genannten Anzahl von 16 Fahrten pro Person und Jahr (welche 0.044 Fahrten pro Tag ergeben). Eine erste Validierung der täglichen Anzahl Fahrten liegt hiermit also zumindest vor. Daraus ergeben sich bei einer Hochrechnung der MZMV-Zahlen 3.5 Fahrten pro Mobility-Fahrzeug und Tag.

Tab. 1 zeigt den Vergleich zwischen den in Haefeli *et al.* (2006) und Mobility (2019) ausgewiesenen Zahlen und den Ergebnissen der Auswertung des MZMV 2015.

Tab. 1 Vergleich der Auswertungen zur Anzahl Sharing-Wege pro Person und Tag

Kenngrosse	Publizierte Zahlen	MZMV 2015
Personen	8.6 Millionen	57'090
Mobility-Mitglieder	224'000	1'545
Anteil an Bevölkerung	2.6%	2.7%
Mobility-Wege pro Tag	10'004	69
pro Mitglied und Tag	0.044	0.045
pro Mitglied und Jahr	16	16
Mobility-Fahrzeuge (stationsbasiert)	2'860	
Fahrten pro Fahrzeug und Tag	3.43	3.50

Quellen: Haefeli *et al.* (2006), Mobility (2019), MZMV 2015 (eigene Auswertungen)

Die im MZMV 2015 berichteten Sharing-Wege weisen eine durchschnittliche Distanz von 8.8km auf. Wenngleich die Vorbehalte gegenüber der sehr geringen Stichprobengrösse auch hier nicht ausser Acht gelassen werden dürfen, erscheint dieser Wert jedoch gegenüber jenem aus Haefeli *et al.* (2006) aus den oben genannten Gründen deutlich plausibler.

Aus dem MZMV 2015 konnten zudem für den Modus PW für jeden Fahrtzweck (Arbeit, Ausbildung, Einkauf, Nutzfahrt, Freizeit) lineare Regressionsmodelle für die Ermittlung der Aufenthaltsdauer am Zielort in Abhängigkeit von der Reiseweite geschätzt werden. Die resultierenden Parameter ermöglichen im Verkehrsmodell die relationsfeine (quell-ziel-spezifische) Bestimmung der mittleren Aufenthaltsdauer und daraus der Kosten für das stationsbasierte Sharing, da bei diesem die Dauer des Aufenthalts am Zielort ebenfalls bezahlt werden muss. Das Bestimmtheitsmass (R^2) des Regressionsmodells beträgt 0.56; 56% der Streuung in den Aufenthaltsdauern der einzelnen Fahrtzwecke wird also durch die Fahrtweite erklärt.

Die aus den Regressionsmodellen resultierenden Abhängigkeiten zwischen Distanz und Aufenthaltsdauer für die einzelnen Zwecke sind aus Abb. 1 ersichtlich. Die längsten mittleren Aufenthaltsdauern liegen für den Fahrtzweck Arbeit vor, die kürzesten für Einkaufsaktivitäten. Die daraus hervorgehende Ermittlung der Kostensätze für Sharing-Fahrten ist Gegenstand von Abschnitt 4.1.

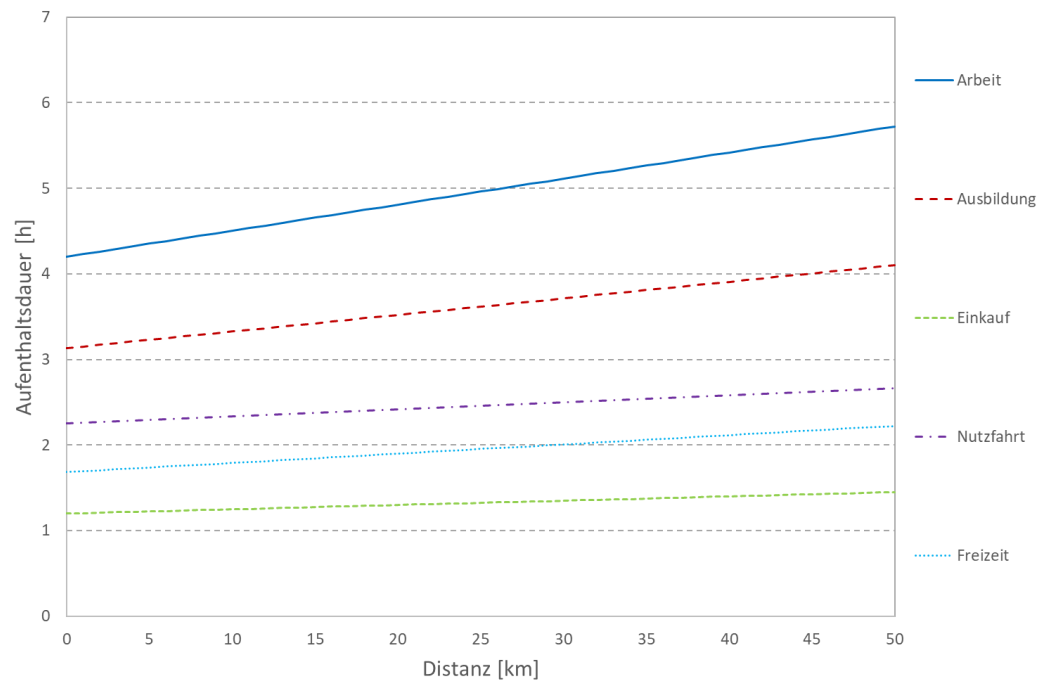


Abb. 1 Abhängigkeit der Aufenthaltsdauer von der Reisedistanz, nach Fahrtzweck

3.3 “Ideale” Verhaltensdaten für künftige Entwicklungen

Die beschriebenen Auswertungen der vorliegenden Literatur und des MZMV 2015 erlauben eine angemessene Abstützung und zumindest grobe Validierung der Modellergebnisse. Um die Sharing-Modi in einem Verkehrsnachfragemodell vollständig, also entsprechend den übrigen Modi (Fuss, Velo, PW und ÖV) kalibrieren zu können, wären aber weitere Kenngrößen notwendig. Diese würden idealerweise aus einer Vollerhebung der Nutzungsdaten bei einem grossen Sharing-Betreiber (z.B. Mobility) oder aus einer spezialisierten Stichprobenerhebung entnommen werden. Untenstehend eine Übersicht der aus einer solchen Erhebung resultierenden Größen, welche für die Modellkalibration sinnvoll wären:

- Gesamtanzahl an Fahrten pro Tag und Nutzung bzw. Auslastung einzelner Fahrzeuge und Stationen;
- Verteilung der Fahrtzwecke für Sharing-Fahrten;
- mittlere Reiseweiten und Reiseweitenverteilungen der Sharing-Fahrten, gegliedert nach Fahrtzweck;
- mittlere Aufenthaltsdauern am Zielort der (stationsgebundenen) Sharing-Fahrten, gegliedert nach Fahrtzweck;
- mittlere Wartezeit, bis am gewünschten Standort ein Fahrzeug verfügbar ist (stationsgebundenes Sharing);
- mittlere Zugangszeit zur Station/zum Fahrzeug;
- mittlere Anzahl Fahrten pro Fahrzeug und (Werk-)Tag;
- mittlerer Fahrzeug-Besetzungsgrad (Anzahl Mitfahrer), gegliedert nach Fahrtzweck.

Im Anschluss an die Erhebung der Ist-Zustandes sollte im optimalen Fall zudem eine Stated-Preference-Befragung (SP) (unter Einbezug heutiger Nutzer, aber auch von nicht-Nutzern, um das Gesamtpotenzial abzuschätzen) durchgeführt werden, um die Reaktion der Verkehrsteilnehmer auf Veränderungen der Sharing-Angebote zu eruieren. Eine solche SP-Befragung würde die differenzierte Parametrisierung (relative Einflüsse auf die Entscheidung für ein Verkehrsmittel) der Bewertungskenngrößen im Verkehrsmodell erlauben; diese sind z.B.:

- Kosten des Sharing-Angebots;
- Verfügbarkeit des Sharing-Angebots (Anzahl Fahrzeuge pro Einwohner in einem Einzugsgebiet);
- Wartezeit, bis ein Fahrzeug verfügbar ist bzw. Wahrscheinlichkeit, eines zu erhalten;
- Reisezeit;
- Distanz bzw. Zugangszeit zur Station/zum Fahrzeug;
- Angebot eigener oder vergünstigter Parkplätze für Sharing-Fahrzeuge.

Anfragen der Projektbearbeiter und verschiedener Mitglieder der Begleitkommission der vorliegenden Forschungsarbeit bei Betreibern von Sharing-Angeboten führten leider stets zu negativen Bescheiden betreffend die Verfügbarkeit entsprechender Daten; dies einerseits aus Datenschutz- bzw. Betriebsgeheimnis-, andererseits aus Aufwandsgründen bei der Datenaufbereitung für die Weitergabe an die Forschungsstelle. Somit konnten die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen Modelle nicht vollständig auf Erhebungsdaten kalibriert werden, sondern mussten notwendigerweise mit – bestmöglich validierten und anhand von Auswertungen sekundärer Datenquellen und dem Fachwissen der Forschungsstelle und Begleitkommission abgestützten – Annahmen versorgt werden. Die entsprechenden Abstraktionen bei der Modellerstellung und -anwendung werden in den betreffenden Kapiteln in der Folge jeweils dargelegt.

Seit Anfang 2021 gibt es die Plattform sharedmobility.ch, über welche die Verfügbarkeiten von Sharing-Fahrzeugen verschiedener Anbieter (inklusive geteilte Velos, E-Scooter etc.) abgerufen werden können. Mit geeigneten Skripten könnte diese Datenbank allenfalls genutzt werden, um auch Nutzungszahlen (Anzahl Ausleihen der Fahrzeuge) zu ermitteln, direkt nutzbare Daten liegen jedoch auch hier nicht vor.

3.4 Modul “Sharing” in *Visum*

In der Verkehrsmodellsoftware *Visum* (PTV, 2018), in welchem auch das hier verwendete KVM AG aufgebaut ist gibt es ein Zusatzmodul “Mobility Sharing”, mit welchem Verleihsysteme modelliert werden können. Dieses Zusatzmodul hat jedoch die Besonderheit, dass Sharing-Wege als Bestandteil der ÖV-Nachfrage behandelt und umgelegt werden und nicht als eigenständiger Modus mit einem eigenen Modal Split und weiteren Kalibrationskenngrößen modelliert werden. Da der Fokus der vorliegenden Forschungsarbeit hauptsächlich auf der Ermittlung der Nachfrage nach Sharing-Angeboten (und der Reaktionen dieser Nachfrage auf Veränderungen des Angebots) liegt, wurde die Verwendung dieses Moduls als nicht zielführend für die Beantwortung der Forschungsfragen betrachtet. Auf dessen Einsatz wurde in diesem Forschungsprojekt also bewusst verzichtet.

4 Implementierung in Verkehrsmodell

Die Modellarbeiten im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden im neuen Gesamtverkehrsmodell des Kantons Aargau (KVM AG) durchgeführt. Die Arbeitsschritte sind jedoch auf andere Modelle mit ähnlichem Aufbau übertragbar und somit in den allermeisten in der Schweiz im praktischen Einsatz stehenden Verkehrsmodelle (z.B. Nationales Personenverkehrsmodell und kantonale Modelle Zürich, Zug, Bern, Solothurn, Luzern, Tessin etc.) analog implementierbar.

Das KVM AG ist ein makroskopisches Verkehrsmodell mit einem Nachfragemodell, in dem die ersten drei Stufen (Erzeugung, Ziel- und Verkehrsmittelwahl) des Vier-Stufen-Ansatzes berechnet werden. Die Nachfrage wird auf 33 sogenannte Quelle-Ziel Gruppen (QZG; Abbildung von Aktivitätenpaaren) und die vier Modi Fuss, Velo, PW und ÖV aufgeteilt, und Umlegungsmodelle liegen für den MIV (PW und Schwerverkehr) und ÖV vor. Für eine detaillierte Beschreibung des KVM AG siehe Vrtic *et al.* (2019).

Im KVM AG wurden folgende Erweiterungen des Verkehrsangebots- und Nachfragemodells umgesetzt, um die Modellierung des Car Sharings in all seinen gängigen Ausprägungen zu ermöglichen:

- stationsgebundenes Car Sharing;
- free-floating Car Sharing;
- Ride Pooling.

Die nachfolgenden Kapitel beschreiben für je eine dieser Erweiterungen die spezifischen Anforderungen, getroffenen Annahmen und Ergebnisse.

Wie bereits oben erwähnt, mussten für die im Verkehrsmodell greifenden Gesetzmässigkeiten (insb. Parametrisierung der Bewertungsfunktionen) mangels geeigneter Grundlagendaten teilweise Annahmen getroffen werden. Es ist also zu betonen, dass die hier gezeigten Implementierungen in erster Linie die technische Machbarkeit der Umsetzung von Sharing-Modi in makroskopischen Verkehrsmodellen belegen sollen, die resultierenden Nachfrageverhältnisse (sowohl im Ist-Zustand als auch in den Anwendungsfällen) jedoch nicht für künftige Anwendungen übernommen werden sollten, ohne dass zunächst eine Validierung dieser Werte durch Erhebungsdaten oder andere empirische Grundlagen stattgefunden hat.

Verlässliche Grundlagendaten liegen für die Ausgestaltung des Angebots (Verteilung der Fahrzeuge und Ermittlung der Kosten beim stationsgebundenen Sharing) vor; für die Verhaltensgesetzmässigkeiten (Nachfrageverhältnisse, Bewertung der Angebotskenngrößen) mussten jedoch beinahe durchgehend entsprechende Annahmen getroffen werden.

4.1 Stationsgebundenes Sharing

Das stationsgebundene Sharing entspricht dem klassischen Car Sharing beim grössten Schweizer Anbieter von geteilter Mobilität, Mobility. Ein ausgewähltes Fahrzeug wird für eine bestimmte Zeitdauer reserviert und muss am Ende der Ausleihdauer wieder am Ausgangsstandort abgestellt werden. Die Kosten setzen sich aus Stunden- und Kilometertarifen zusammen, welche je nach Fahrzeugtyp variieren.

4.1.1 Abbildung des Verkehrsangebots

In einem ersten Schritt wurden als georeferenzierte Punktdaten vorliegenden Fahrzeug-Standorte der Mobility-Flotte in die Geoinformations-Software QGIS eingelesen und mit dem Modellgebiet des KVM AG verschnitten. Die Verteilung der Standorte der 1'244 Fahrzeuge im Modellgebiet ist aus Abb. 2 ersichtlich. Es zeigt sich eine Konzentration in den grossen Städten (Zürich: 581 Fahrzeuge, Basel: 132, Aarau: 43, Zug: 38, Baden: 25; Olten:

23), in welchen die Sharing-Angebote aufgrund des relativ tiefen Anteils an Eigentümern eigener PWs attraktiver sind und als Ergänzung zum gut ausgebauten ÖV-Netz fungieren.

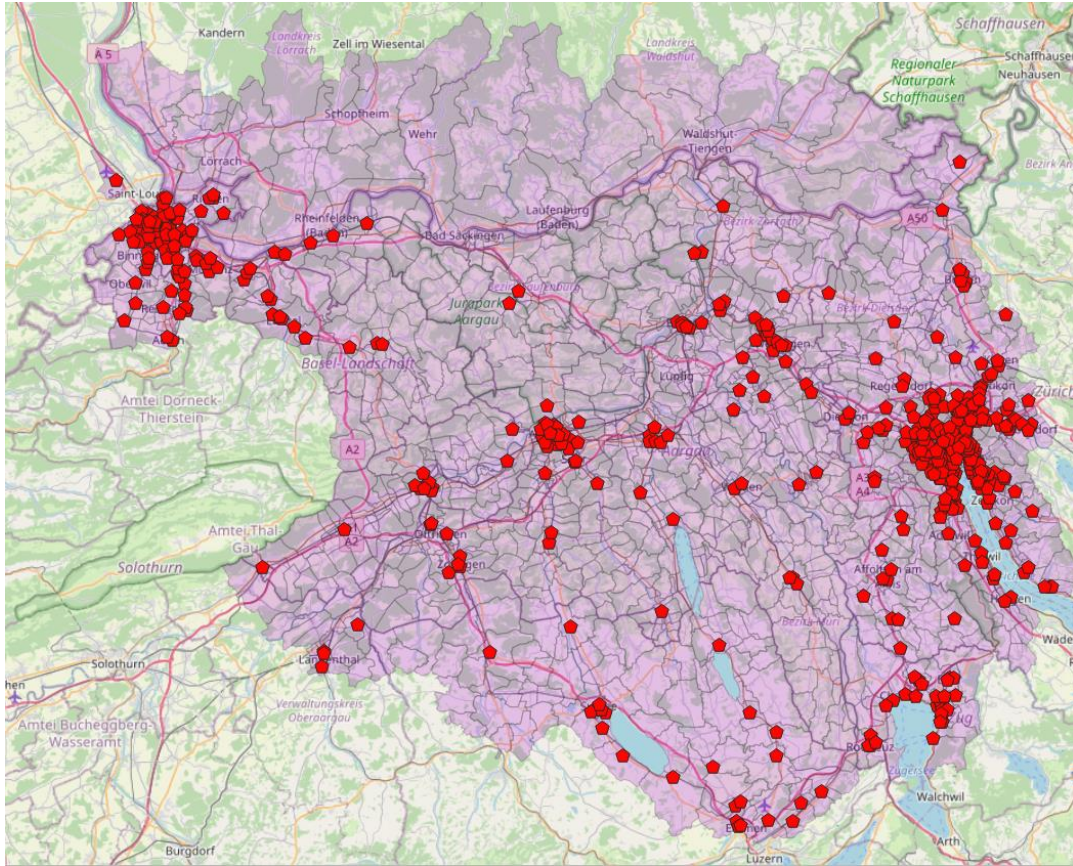


Abb. 2 Mobility Standorte im GVM AG

In einem nächsten Schritt wurden die Knoten aus dem MIV-Netzmodell, welche folgende Anforderungen erfüllen, aus dem KVM AG in QGIS eingelesen:

- nicht Bestandteil der Autobahn;
- maximale zulässige Geschwindigkeit der angrenzenden Strecken: 50 km/h;
- angrenzende Strecken mit maximal 2 Fahrstreifen;
- angrenzende Strecken mindestens in eine Richtung mit dem PW befahrbar.

In QGIS wurden dann die Mobility-Stationen (inkl. aller Attribute) mit der “nearest neighbour”-Methode den nächstgelegenen Knoten aus dem Netzmodell zugeordnet. Diese Knoten dienen bei der späteren Umlegung der Sharing-Nachfrage aufs MIV-Netz als Zugangs- bzw. Anbindungsknoten, über welche die Nachfrage ins Netz geleitet wird.

Abb. 3 zeigt die Verteilung der Mobility-Standorte in der Stadt Aarau und die Zuordnung zum jeweils nächstgelegenen Knoten aus dem Netzmodell.

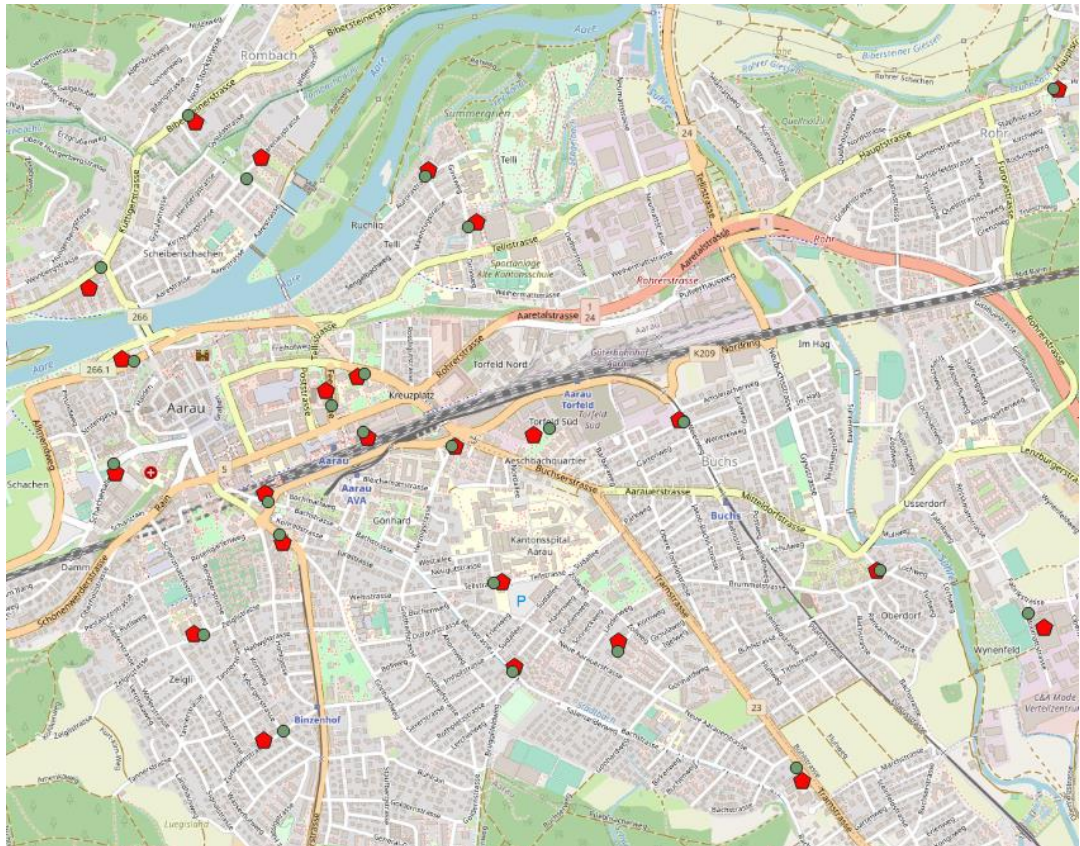


Abb. 3 Mobility-Standorte in Aarau (rot) und der jeweilige nächstgelegene Knoten (grün) im Netzmodell des KVM AG

Um die Verfügbarkeit des Mobility-Angebots als Kenngrösse in die Bewertungsfunktion des Modus im Nachfragemodell aufnehmen zu können, war es in einem nächsten Schritt nötig, die einzelnen Fahrzeuge den GVM-Bezirken bzw. Verkehrszellen zuzuordnen. Dazu wurde in QGIS um den Schwerpunkt jedes Bezirks herum ein Radius von zwei Kilometern generiert (ergibt bei einer Gehgeschwindigkeit von 4 km/h eine maximale Anbindungszeit von 30 Minuten) und die in diesem Kreis enthaltenen Mobility-Fahrzeuge wurden dem entsprechenden Bezirk zugeordnet. Dies hat gegenüber dem einfachen Verschneiden der Bezirke mit den Mobility-Standorten den Vorteil der konsistenteren Zuweisung verfügbarer Fahrzeuge bzw. verhindert, dass ein Fahrzeug knapp jenseits einer Bezirksgrenze für dessen Einwohner nicht verfügbar ist, obwohl es sich in Gehdistanz befindet. Zu jedem der zugewiesenen Knoten wurde schliesslich eine Anbindung an den Bezirk generiert. Diese Informationen wurden aus QGIS exportiert und in *Visum* eingelesen.

Abb. 4 veranschaulicht dieses Vorgehen anhand einiger Bezirke im Raum Liestal. Die Zahlen neben den grün eingezeichneten Mobility-Stationen geben jeweils an, wie viele Fahrzeuge an diesem Standort ihren Stellplatz haben.

Abb. 5 zeigt die Anzahl so ermittelter verfügbarer Mobility-Fahrzeuge für jeden Bezirk im Modellgebiet. Der bereits erwähnte Eindruck der Konzentration in urbanen Gebieten wird durch diese Darstellung verdeutlicht.

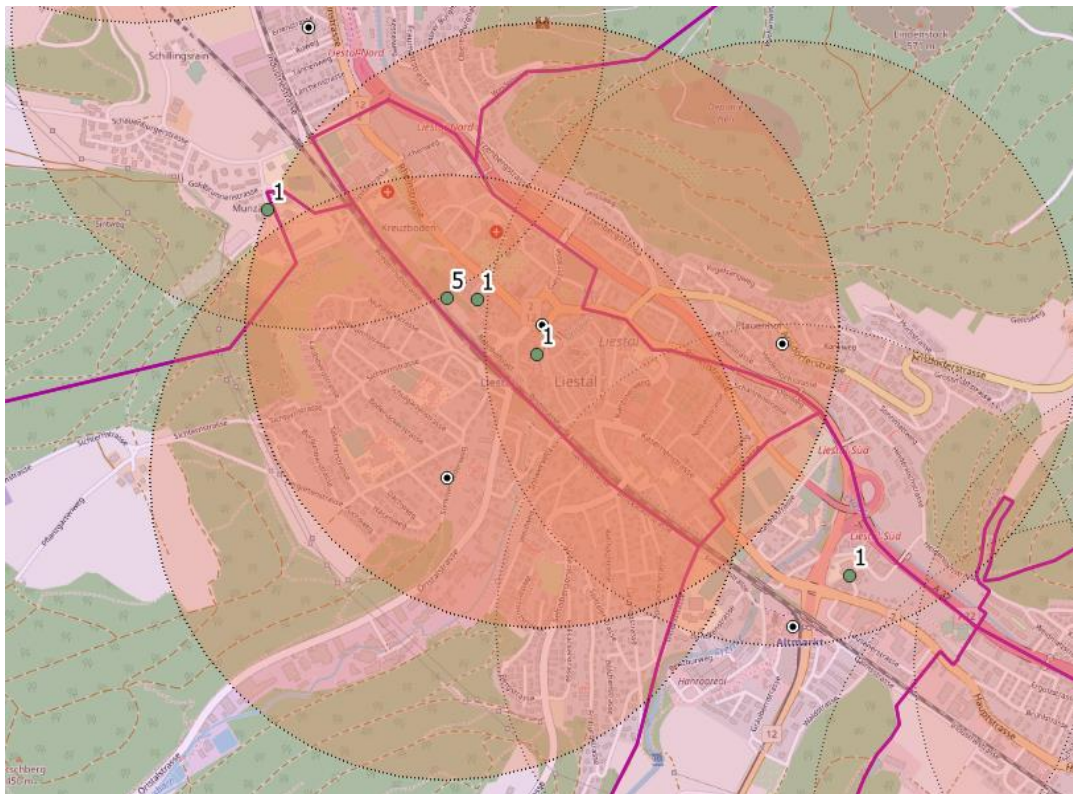


Abb. 4 Schwerpunkte der VISUM-Bezirke (schwarz) mit 2km Radius und den darin enthaltenen Mobility- Fahrzeugen (grün)

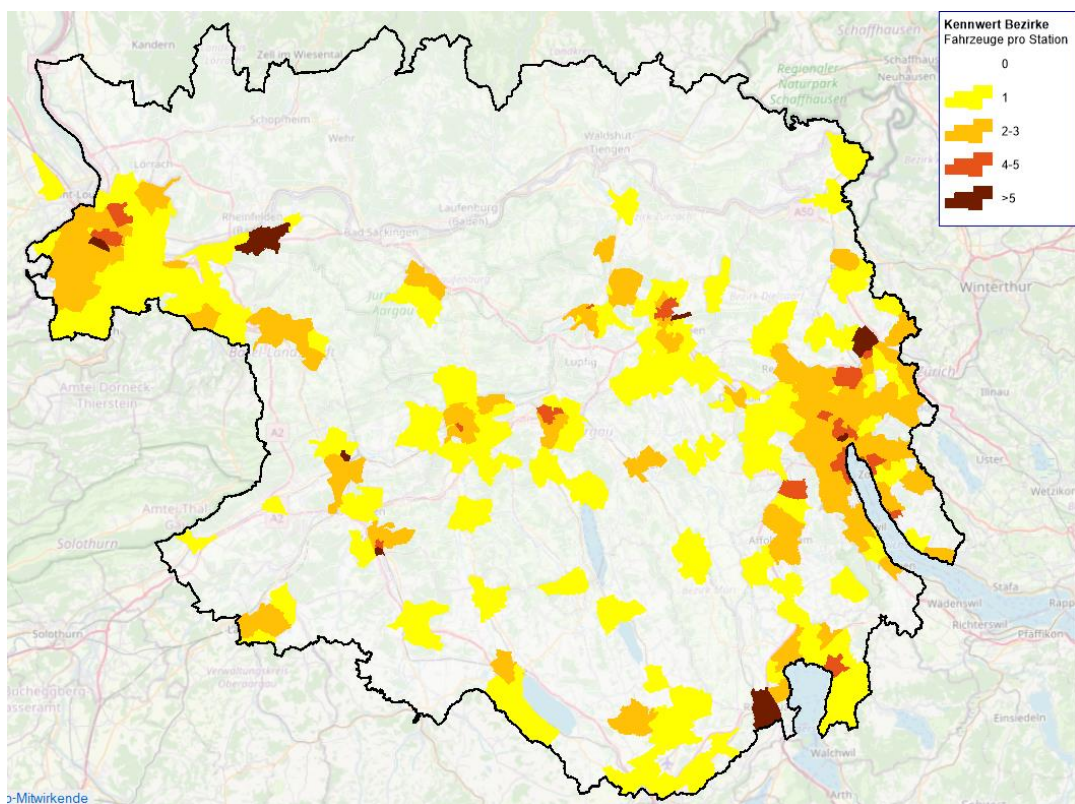


Abb. 5 Anzahl Mobility-Fahrzeuge pro Bezirk

4.1.2 Ermittlung der Verkehrsnachfrage

Aufbau des Modus "Sharing" in Visum

Die im KVM AG ursprünglich vorhandenen Nachfragemodi sind Fuss, Velo, PW und ÖV. Das stationsgebundene Car Sharing wurde als zusätzlicher Modus eingefügt, auf den bei der Verkehrsmittelwahl ein Teil der Nachfrage entfällt. Dazu wurde in *Visum* ein neuer Modus "Sharing" eingefügt. Die Netzattribute wurden – da davon ausgegangen wird, dass Sharing-Fahrzeuge dieselben Routen befahren wie private Personenwagen und deren Fahrer sich nicht systematisch anders verhalten (d.h., im Mittel gleich schnell fahren) – vom Modus PW übernommen. Allfällige Netzprivilegien für Sharing-Fahrzeuge wurden somit nicht berücksichtigt, könnten aber in entsprechenden Anwendungsfällen eingebaut werden.

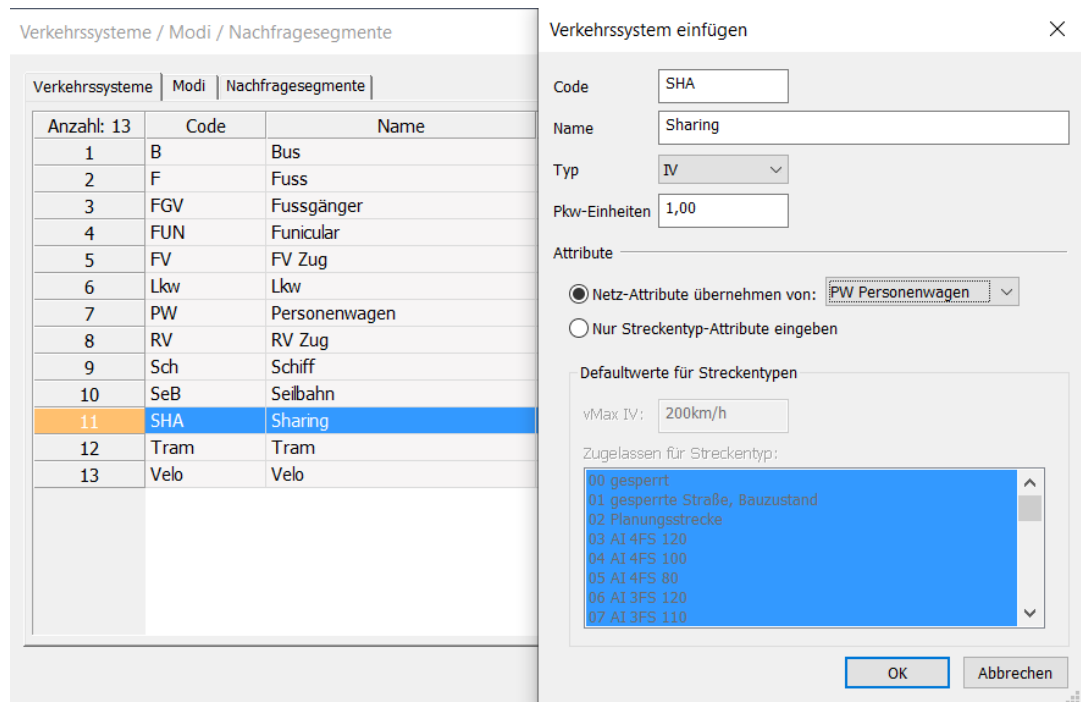


Abb. 6 Visum: Einfügen des Modus "Sharing" und Übernahme der Attribute vom Modus "PW"

Analog zu den anderen Verkehrsmodi wird die Umlegungsmatrix mit dem Nachfragemodell des KVM AG berechnet. Dies erfolgt in *Visum* mithilfe des integrierten Moduls EVA, welcher eine Erweiterung des klassischen Vier-Stufen-Ansatzes (mit simultaner Berechnung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl) ist; die durchgeführten Schritte sind dabei:

- Verkehrserzeugung,
- Bewertung und
- Verteilung/Moduswahl.

Verkehrserzeugung

Die Erzeugung basiert auf den aus dem MZMV 2015 abgeleiteten Mobilitätsraten für den betrachteten Perimeter. Da im KVM AG die Sharing-Wege bereits als Teil der PW-Wege bei der Erzeugung miteinbezogen wurden, können die Mobilitätsraten (cf. Vrtic *et al.*, 2019) unverändert übernommen werden.

Bewertung

Bei der Bewertung des Modus "Sharing" mussten die für die Verkehrsmittelwahl relevanten Angebotskenngrößen und Aufwandsarten festgelegt werden. Diese sind in Tab. 2 aufgelistet.

Tab. 2 Abbildung des stationsgebundenen Car Sharings in Visum: Angebotskenngrößen, Aufwandsarten und deren Funktion

Kenngrösse	Herleitung
Verfügbarkeit von Fahrzeugen	Für jeden Bezirk wird die Anzahl angebundener Fahrzeuge (cf. Abschnitt 4.1.1) geteilt durch den Mittelwert aus Einwohner und Beschäftigten. Korrekter wäre eine Teilung durch die Anzahl Mobility-Mitglieder pro Bezirk (am Wohn- und Arbeitsort), deren Verteilung ist jedoch dem Forschungsteam nicht bekannt (da keine entsprechenden Daten dazu öffentlich verfügbar sind).
Zugangszeit	Für jede Bezirksbeziehung wird die Zeit vom Schwerpunkt zur nächsten Station (min. 2 Minuten, max. 30 Minuten) betrachtet. Nur für Quell-Ziel-Gruppen mit "Wohnen" auf der Quell- bzw. mit "Sonstiges" auf der Zielseite. Keine Wege von Bezirken ohne angebundene Sharing-Station.
Auslastung	Für jeden Bezirk wird die Anzahl Fahrten mit Sharing-Fahrzeugen durch die Anzahl vorhandener Fahrzeuge geteilt.
Reisezeit	Für jede Bezirksbeziehung wird die PW-Reisezeit betrachtet.
Abgangszeit	Für jede Bezirksbeziehung wird die Zeit zum Schwerpunkt von der nächsten Station (min. 2 Minuten, max. 30 Minuten) betrachtet. Nur für Quell-Ziel-Gruppen mit "Wohnen" auf der Ziel- bzw. mit "Sonstiges" auf der Quellseite. Keine Wege zu Bezirken ohne angebundene Sharing-Station.
Kosten	Die Kosten werden abhängig vom Fahrtzweck und der gefahrenen Distanz berechnet; siehe detaillierte Beschreibung im Text.

Die Aufwandsart **Zu- und Abgangszeit** musste für das stationsbasierte Sharing neu berechnet werden, da Fahrzeuge nur in Bezirken ausgeliehen bzw. zurückgebracht werden können, welche eine Anbindung an eine Sharing-Station haben.

Somit beträgt die **Zugangszeit** für einen Bezirk, der an min. eine Sharing-Station angebunden ist, die aktuelle Anbindungszeit (Gehgeschwindigkeit von 4km/h); für Bezirke ohne Anbindung wird der Wert auf 99'999 gesetzt. Diese Zugangszeitenmatrix wurde bei allen Quell-Ziel-Gruppen mit "Wohnen" am Quellort als Bezugsmatrix gesetzt. So wird verhindert, dass für Quell-Ziel-Gruppen mit "Wohnen" am Quellort Fahrten aus Bezirken starten, die nicht an eine Sharing-Station angebunden sind.

Im Gegensatz dazu beträgt die **Abgangszeit** für einen Bezirk, der an min. eine Sharing-Station angebunden ist, die aktuelle Anbindungszeit (Gehgeschwindigkeit von 4km/h) ansonsten ist sie 99'999. Diese Abgangszeitenmatrix wurde bei allen Quell-Ziel-Gruppen mit "Wohnen" am Zielort als Bezugsmatrix gesetzt. So wird verhindert, dass für Quell-Ziel-Gruppen mit "Wohnen" am Zielort Fahrten in Bezirken enden, die nicht an eine Sharing-Station angebunden sind.

Für die **Kosten** wurde aus dem MZMV 2015 eine Auswertung der durchschnittlichen Aufenthaltsdauer in Abhängigkeit der gefahrenen Kilometer je Zweck (Arbeit, Bildung, Einkauf,

Nutzfahrt, Freizeit) gemacht (cf. Abschnitt 3.2). Daraus ergeben sich mit mittleren Kostensätzen von Mobility (CHF 2.50 pro Stunde und CHF 0.65 pro Kilometer¹) für jede Bezirksbeziehung die entsprechenden Fahrkosten.

Abb. 7 zeigt exemplarische Verläufe der Kosten in Abhängigkeit der Distanz (und implizit damit einhergehend der Aufenthaltsdauer) für die verschiedenen Fahrtzwecke. Da die Kosten jeweils pro angebrochener halber Stunde verrechnet werden, steigen die Kurven nicht kontinuierlich linear an, sondern weisen stellenweise leichte Sprünge auf. Für die Berechnung der Fahrtzeiten wurde durchgehend eine mittlere Geschwindigkeit von 40km/h angenommen. Diese Vereinfachung gilt für die hier dargestellten Kurven und dient der exemplarischen Visualisierung derer Verläufe; bei der späteren Verwendung der Funktionen im Verkehrsmodell werden die tatsächlich gefahrenen Zeiten aus der MIV-Umlegung verwendet, dort können die Kosten pro Quelle-Ziel-Beziehung also, abhängig von der Qualität des Verkehrsangebots und der damit einhergehenden Variation der Fahrtzeiten für gleiche Distanzen, von den hier dargestellten vereinfachten Kurven abweichen.

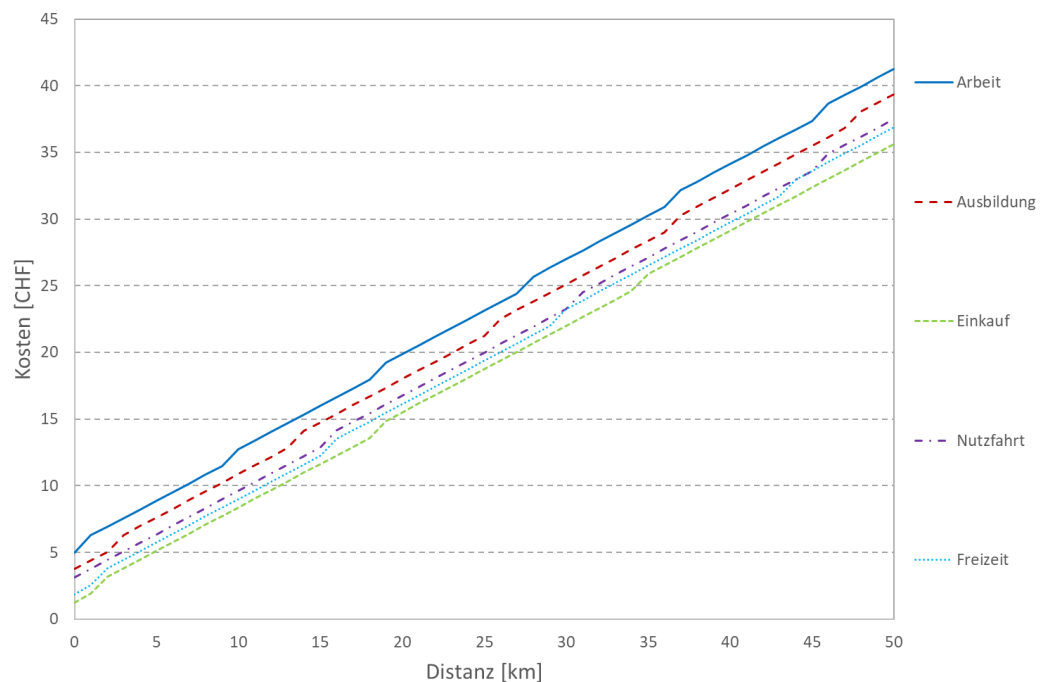


Abb. 7 Kosten stationsgebundenes Sharing in Abhängigkeit der Distanz je Fahrtzweck

Abb. 8 zeigt den Vergleich der über alle Fahrtzwecke gewichtet gemittelten Sharing-Kosten mit den beiden Modi PW und ÖV (letztere wurden aus dem KVM AG übernommen und dort mit mittleren Kilometerkosten unter Berücksichtigung der fixen und variablen Kosten berechnet – cf. Vrtic *et al.*, 2019). Hier zeigt sich, dass die Kosten für einen Sharing-Weg, insbesondere bei langen Distanzen, wenig konkurrenzfähig sind und Sharing-Angebote somit in ihrer heutigen Ausprägung eher als Ergänzung zum ÖV für kürzere Wege im urbanen Umfeld genutzt werden dürften.

¹ <https://www.mobility.ch/de/privatkunden/abos-und-preise/jahresabo#c4953>; Preise für ein "Economy"-Fahrzeug

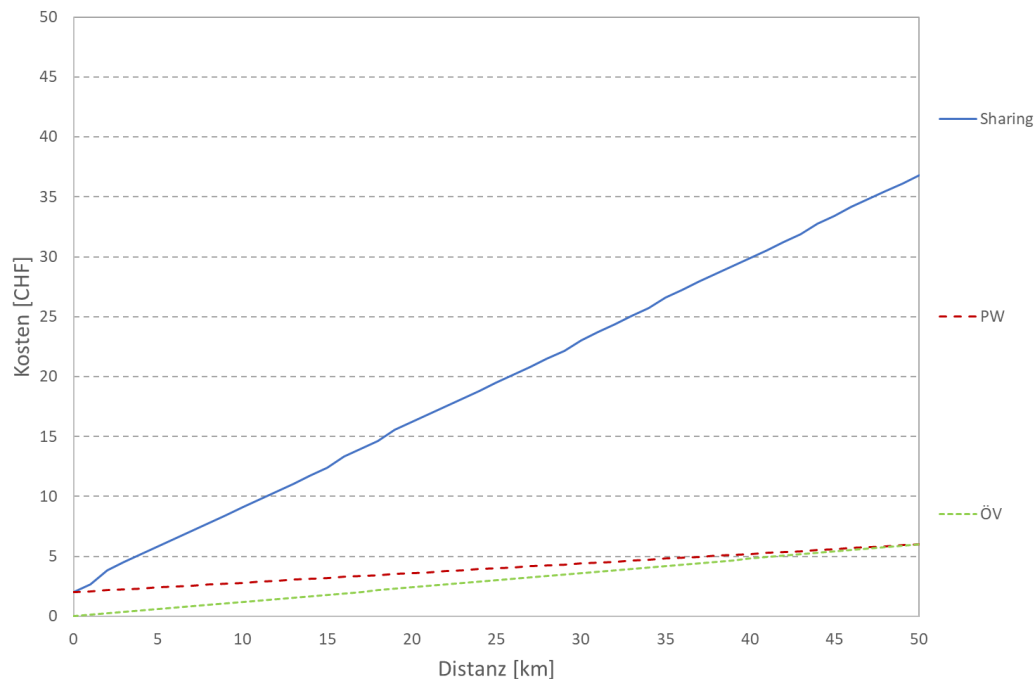


Abb. 8 Kosten stationsgebundenes Sharing im Vergleich mit übrigen Modi

Bei der Angebotskenngrösse "Verfügbarkeit" (Anzahl Fahrzeuge pro Einwohner) sowie bei den Aufwandsarten "Reisezeit" und "Kosten" wurden die Bewertungsparameter – aufgrund fehlender Datengrundlagen für den Modus "Sharing" – vom Modus "PW" übernommen. Bei den Aufwandsarten "Zugangszeit" und "Abgangszeit" wurden die Parameter vom Modus "ÖV" übernommen. Zusätzlich wurde die Aufwandsart "Auslastung" eingeführt, die dämpfend wirkt und dafür sorgt, dass die Anzahl Fahrten pro Fahrzeug nicht unplausibel hoch wird.

Da die Bewertungsparameter der Angebotskenngrössen hier auf Annahmen beruhen, sind auch die aus den Modellläufen resultierenden Elastizitäten (cf. auch Kapitel 5) nicht für künftige Anwendungen zu übernehmen, ohne dass diese vorher eingehend plausibilisiert wurden.

In Tab. 3 sind die beschriebenen Angebotskenngrössen, Aufwandsarten und die jeweiligen Parameter (β -Parameter der Logit-Nutzenfunktionen) aufgelistet. Positive Parameter bedeuten hierbei, dass eine Steigerung der entsprechenden Variablen den Nutzen, und somit den Modal-Split-Anteil, des entsprechenden Modus erhöhen würde; bei negativen Vorzeichen verhält es sich genau umgekehrt, dies sind die klassischen Komponenten des Widerstands eines Weges.

Es wäre tendenziell zu erwarten, dass die Widerstandskomponenten (v.a. Kosten) der Sharing-Alternative anders bewertet werden als jene der "traditionellen" Modi, da diese Fahrten eher eine Randerscheinung sind und unregelmässige Verhaltensmuster darstellen; für die Bestätigung dieses Eindrucks fehlt jedoch die empirische Grundlage, so dass die Parameter hier gleich belassen werden wie für den privaten PW.

Tab. 3 Stationsgebundenes Sharing: Angebotskenngrößen, Aufwandsarten und Bewertungsparameter

Quelle-Ziel-Gruppe (QZG)	Bewertungsparameter für Kenngrösse					
	Verfügbar- keit	Zugangszeit	Auslastung	Reisezeit	Abgangszeit	Kosten
Wohnen-Arbeit	1.14	-0.0619	-0.05	-0.0651	-	-0.199
Wohnen-Bildung Schule	1.14	-0.0828	-0.05	-0.0645	-	-0.214
Wohnen-Bildung Uni	1.14	-0.0828	-0.05	-0.0645	-	-0.214
Wohnen-Einkauf kurz	1.14	-0.0596	-0.05	-0.0488	-	-0.186
Wohnen-Einkauf lang	1.14	-0.0596	-0.05	-0.0488	-	-0.186
Wohnen-Nutzfahrt	1.14	-0.0550	-0.05	-0.0523	-	-0.0776
Wohnen-Begleiten	1.14	-0.0328	-0.05	-0.0408	-	-0.169
Wohnen-Freizeit kurz	1.14	-0.0328	-0.05	-0.0408	-	-0.169
Wohnen-Freizeit lang	1.14	-0.0328	-0.05	-0.0408	-	-0.169
Arbeit-Wohnen	1.14	-	-0.05	-0.0651	-0.0619	-0.199
Bildung Schule-Wohnen	1.14	-	-0.05	-0.0645	-0.0828	-0.214
Bildung Uni-Wohnen	1.14	-	-0.05	-0.0645	-0.0828	-0.214
Einkauf kurz-Wohnen	1.14	-	-0.05	-0.0488	-0.0596	-0.186
Einkauf lang-Wohnen	1.14	-	-0.05	-0.0488	-0.0596	-0.186
Nutzfahrt-Wohnen	1.14	-	-0.05	-0.0523	-0.0550	-0.0776
Begleiten-Wohnen	1.14	-	-0.05	-0.0408	-0.0328	-0.169
Freizeit kurz-Wohnen	1.14	-	-0.05	-0.0408	-0.0328	-0.169
Freizeit lang-Wohnen	1.14	-	-0.05	-0.0408	-0.0328	-0.169
Arbeit-Sonstiges	1.14	-0.0619	-0.05	-0.0651	-	-0.199
Sonstiges-Arbeit	1.14	-	-0.05	-0.0651	-0.0619	-0.199
Bildung-Sonstiges	1.14	-0.0619	-0.05	-0.0645	-	-0.214
Sonstiges-Bildung	1.14	-	-0.05	-0.0645	-0.0619	-0.214
Einkauf-Sonstiges	1.14	-0.0596	-0.05	-0.0488	-	-0.186
Sonstiges-Einkauf	1.14	-	-0.05	-0.0488	-0.0596	-0.186
Nutzfahrt-Sonstiges	1.14	-0.0550	-0.05	-0.0523	-	-0.0776
Sonstiges-Nutzfahrt	1.14	-	-0.05	-0.0523	-0.0550	-0.0776
Sonstiges-Sonstiges	1.14	-0.0328	-0.05	-0.0408	-	-0.169
DE Wohnen-CH Arbeit	1.14	-0.0619	-0.05	-0.0651	-	-0.199
CH Wohnen-DE Einkauf	1.14	-0.0596	-0.05	-0.0488	-	-0.186
CH Wohnen-DE Freizeit	1.14	-0.0328	-0.05	-0.0408	-	-0.169
CH Arbeit-DE Wohnen	1.14	-	-0.05	-0.0651	-0.0619	-0.199
DE Einkauf-CH Wohnen	1.14	-	-0.05	-0.0488	-0.0596	-0.186
DE Freizeit-CH Wohnen	1.14	-	-0.05	-0.0408	-0.0328	-0.169

Verteilung/Moduswahl

Aus dem MZMV 2015 lassen sich keine Rückschlüsse zum Anteil des Sharing am Gesamtverkehrsaufkommen machen und somit konnte auch kein empirisch abgestützter Wert für den Modal-Split-Anteil je Fahrtzweck im Modell hinterlegt werden. Aus diesem Grund musste für die Festlegung des Sharing-Anteils ein anderer Ansatz gewählt werden. Da im bestehenden KVM AG die Sharing-Wege in den PW-Wegen inbegriffen sind, wird deren Modal Split aus diesen abgeleitet. Als Grössenordnung wurden im Schnitt ca. 3 Fahrten pro Fahrzeug im Modell angenommen. Für ca. 1'200 Fahrzeuge im Modellgebiet bedeutet dies ca. 3'600 Sharing-Fahrten. Bei etwas über 3'000'000 PW-Fahrten insgesamt konnten somit für jede Quell-Ziel-Gruppe (QZG) 0.1% des PW-Modal-Split-Anteils als Sharing-Modal-Split verwendet werden. Einzig bei den QZG "DE Wohnen-CH Arbeit" und "CH Arbeit-DE Wohnen" (Wege von Personen mit Wohnort in Deutschland, welche dort keinen Zugang zum Angebot von Mobility haben) wurde der Sharing-Modal-Split auf 0 gesetzt, um Fahrten in diesen QZG zu verhindern.

Es ist zu betonen, dass für das Angebot, die Aufwandsarten und deren Bewertung sowie die Modal-Split-Anteile Annahmen getroffen wurden, welche das Mengengerüst der gesamten Sharing-Fahrten beeinflussen. Die nachfolgenden Berechnungen in EVA sind jedoch – wie in den Gesamtverkehrsmodellen üblich – auf empirischen Grundlagen abgestützt:

- Nutzenfunktionen der neuen (und alten) Modi;
- (räumliche) Verteilung der Nachfrage der einzelnen Verkehrsbezirke auf Modi und Ziele.

Umlegung

Damit die Sharing-Fahrten nur dort starten bzw. enden können, wo eine Sharing-Station vorhanden und somit die Ausleihe eines Fahrzeugs möglich ist, wurde die Aufwandsart Zu- bzw. Abgangszeit entsprechend angepasst und in die Bewertung des Modus Sharing mit einbezogen. Die erste Etappe des Sharing Rundwegs, kann jedoch auch in einem Bezirk enden, der nicht an eine Sharing-Station angebunden ist. Zu diesem Zweck wurden die Anbindungen für die Umlegung der Sharing-Nachfrage entsprechend angepasst. Überall dort, wo eine PW-Anbindung vorhanden ist, wurde zusätzlich der Modus Sharing freigeschaltet und das Anbindungsgewicht gleichmässig auf 1 gesetzt.

4.1.3 Ergebnisse

Nachfrage

Die im Nachfragemodell hinterlegten Annahmen zu den Modal-Split-Anteilen (cf. Abschnitt 4.1.2) führen zur Erzeugung einer Gesamtanzahl von 3'720 stationsgebundenen Sharing-Wegen im Modellgebiet des KVM AG. Bezogen aufs Gesamtverkehrsaufkommen im Modellgebiet ergibt dies einen Modal Split von 0.042%; dies entspricht näherungsweise dem (statistisch nicht signifikanten) Wert, der aus dem MZMV 2015 abgeleitet werden kann (0.036%) und ergibt eine Rate von drei Fahrten pro verfügbarem Mobility-Fahrzeug, reproduziert also auch die Werte aus Tab. 1 (S. 26) recht gut.

Abb. 9 zeigt die Verteilung der Anzahl Fahrten pro Fahrzeug im Modellgebiet. Für die Auswertung wurden die an der Quelle pro Bezirk erzeugten Sharing-Fahrten mit der Stationskapazität gewichtet auf die angebundenen Sharing-Standorte verteilt und dann für diese die Auslastungsraten berechnet. Wie sich zeigt, werden ca. 30% aller Fahrzeuge durchschnittlich nur bis zu einmal pro Tag ausgeliehen. Der Median liegt bei ca. zwei Fahrten pro Fahrzeug, und nur ca. 15% aller Fahrzeuge werden mehr als fünfmal am Tag genutzt. Eine Validierung dieser Zahlen ist in Abwesenheit der in Abschnitt 3.3 beschriebenen Daten schwierig, die Grössenordnungen erscheinen aber hier plausibel.

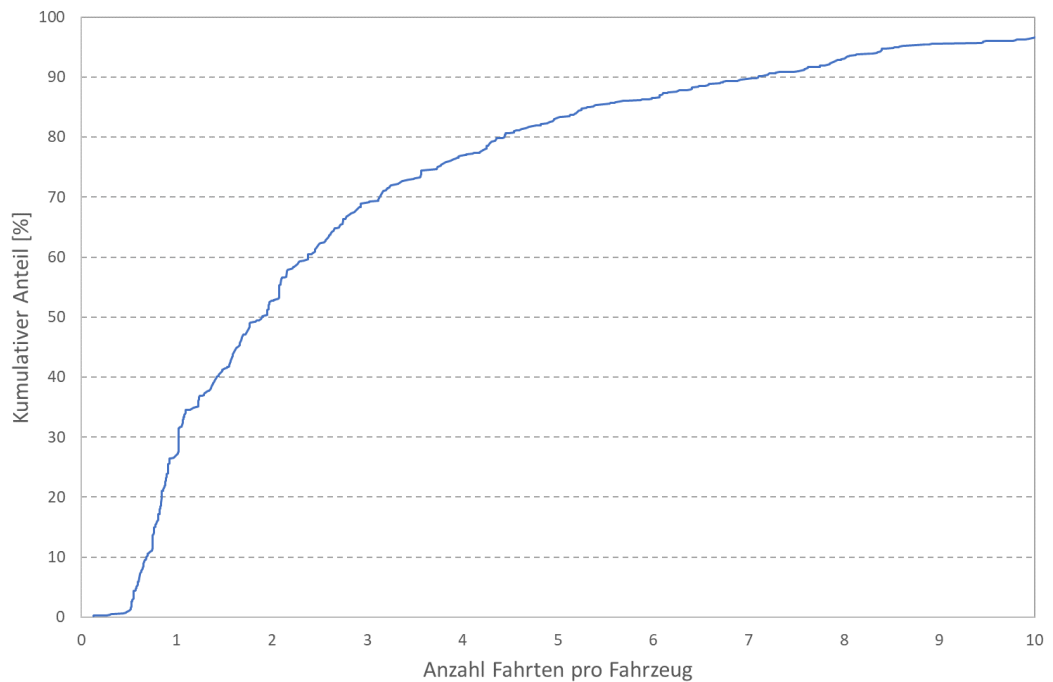


Abb. 9 Stationsgebundenes Sharing: Verteilung der Anzahl Fahrten pro Sharing-Fahrzeug

Aus Abb. 10 ist die räumliche Verteilung der Fahrten ersichtlich. Hier ist zu sehen, dass die Nachfrage wie erwartet im urbanen Umfeld konzentriert ist, wo das Potenzial für die Nutzung des Sharings durch hohe Bevölkerungszahlen, eine entsprechende Angebotsdichte und die eher tiefe Besitzrate privater Fahrzeuge begünstigt wird. Es ist auch zu erkennen, dass es vereinzelt von Bezirken Quellfahrten gibt, die nicht an einen Sharing-Standort (violette Punkte) angebunden sind. Dies sind die sogenannten Rückwege zum Rückgabestandort des Fahrzeugs.

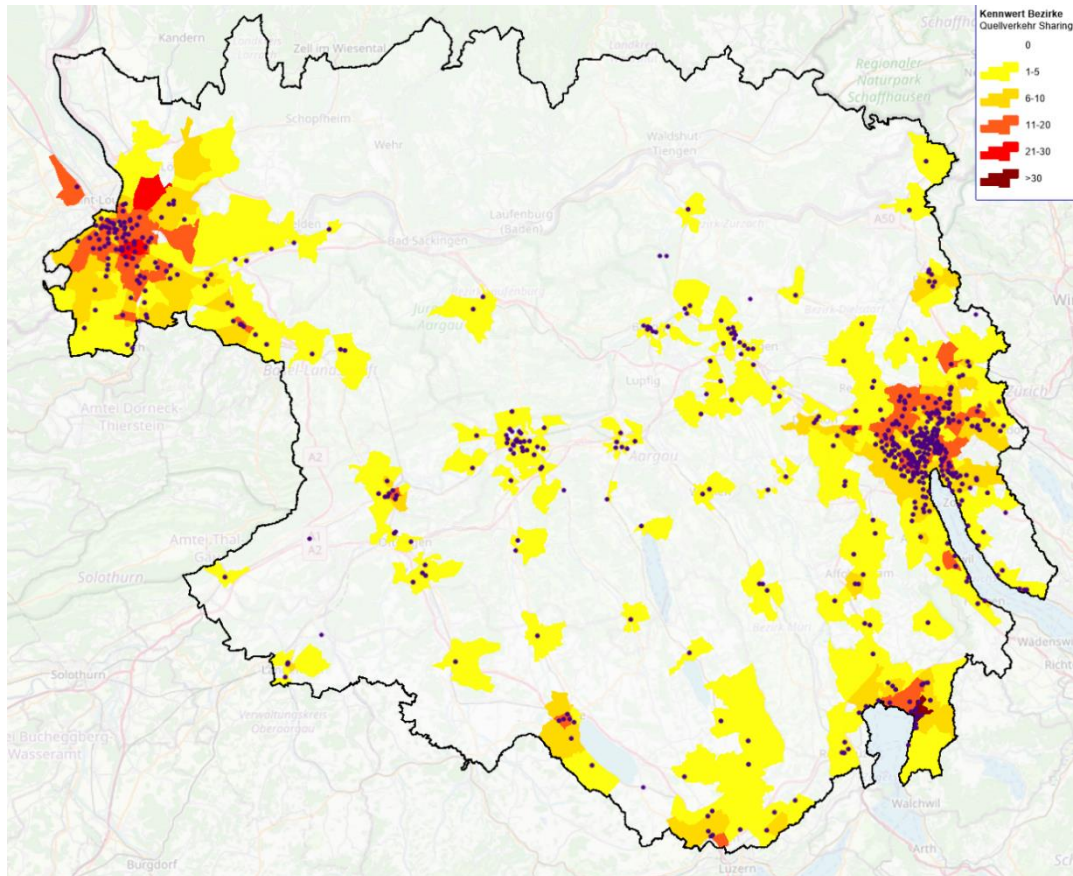


Abb. 10 Stationsgebundenes Sharing: Quell- bzw. Zielverkehr pro Bezirk

In Abb. 11 ist die Distanzverteilung der stationsgebundenen Sharing-Fahrten dargestellt. Deren Mittelwert liegt bei 4.4km, also etwas tiefer als die in der wenigen Empirie (Kapitel 3) ausgewiesenen Werte. Angesichts der geringen Datengrundlage für eine Kalibration wurde jedoch auf eine Anpassung dieser Werte (welche durch eine Steuerung der Modellparameter zu bewerkstelligen wäre) verzichtet und die dem privaten PW gleiche Parametrisierung belassen. Eine solche könnte bei Vorliegen einer besseren Datengrundlage jedoch jederzeit nachgeholt werden, wenn diese zeigen würde, dass die Wegestruktur bzw. die Wahrnehmung der Widerstandskomponenten durch die Verkehrsteilnehmenden bei Sharing-Wegen sich von jener bei PW-Fahrten deutlich unterscheidet.

Aus der Abbildung ist ebenfalls ersichtlich, dass die Wege im stationsgebundenen Sharing insgesamt deutlich kürzer sind als jene mit dem privaten PW, deren Mittelwert bei 11.5km liegt. Dies liegt an der bereits erwähnten Kostenstruktur des Sharings, welche dieses für längere Fahrten wenig attraktiv macht.

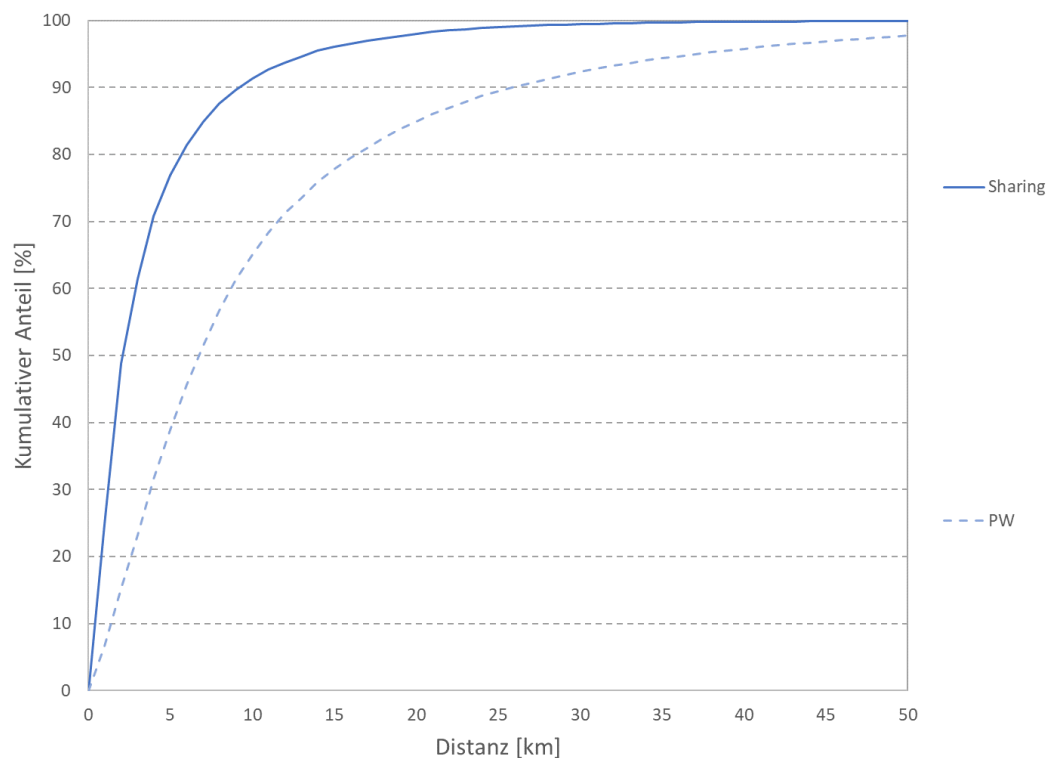


Abb. 11 Stationsgebundenes Sharing: Distanzverteilung der Sharing-Wege

Einhergehend mit den kurzen Distanzen finden beim stationsgebundenen Sharing 704 Wege, oder 18.9% der Gesamtnachfrage, innerhalb einer Modellzone statt. Dies ist ein weiterer Indikator für die Eignung dieses Modus hauptsächlich für lokale Fahrten.

Die Gesamtfahrleistung der stationsgebundenen Sharing-Fahrten beträgt 12'763Fzg-km/Tag (ohne Zonenbinnenverkehre).

Netzbelastungen

Abb. 12 zeigt die Streckenbelastungen der aufs Netz umgelegten Sharing-Nachfrage. Hier ist zu erkennen, dass sich die Fahrten vor allem auf die Bereiche in und um die grösseren Städte beschränken. Es erfolgen fast keine Fahrten in den ländlichen Raum. Auch die Distanzen der Sharing-Fahrten sind wie oben ausgeführt tendenziell sehr kurz, und es finden z.B. keine Fahrten zwischen Zürich und Basel statt. Dies ist vor allem auf die Kosten zurückzuführen, die bei steigender Distanz und somit steigender Ausleihdauer wesentlich stärker zunehmen als im MIV und im ÖV und somit eine Nutzung von Sharing-Fahrzeugen in der Regel nur für kurze Wege innerhalb eines begrenzten Gebiets zugänglich machen.

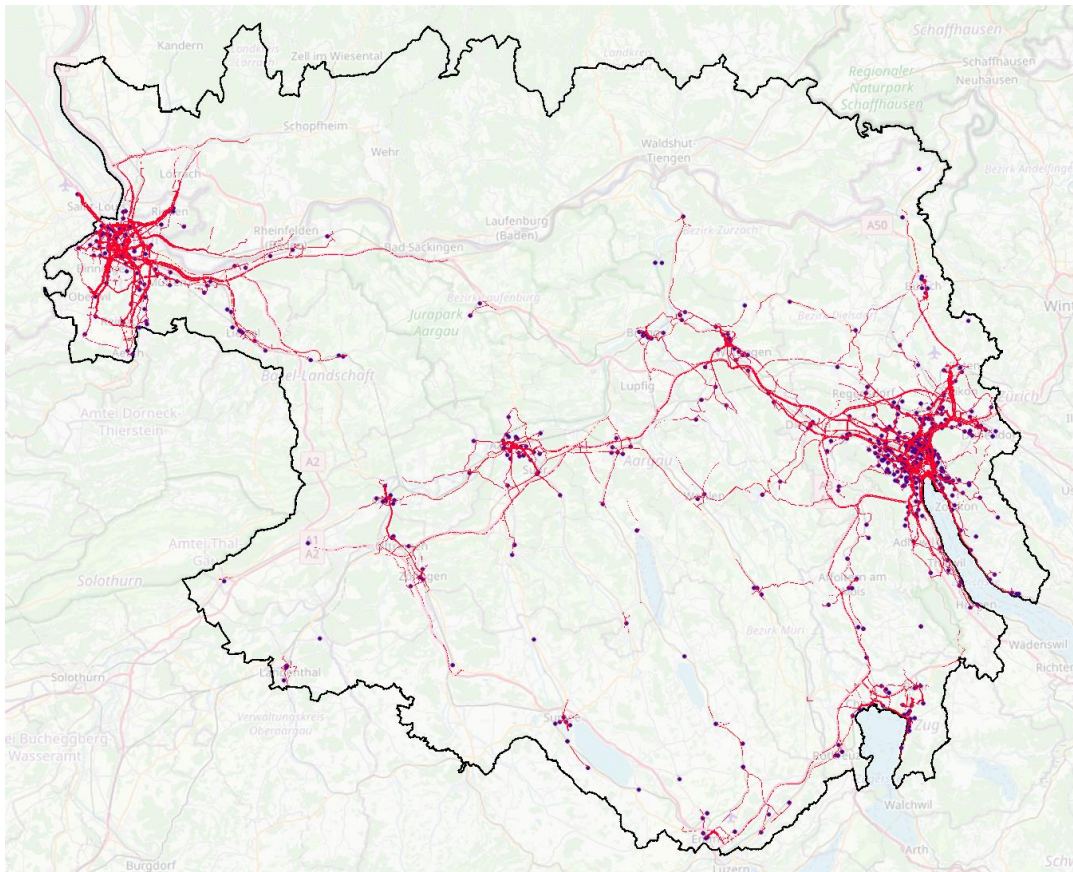


Abb. 12 Stationsgebundenes Sharing: Streckenbelastungen (max. Balkendicke = 100 Fahrzeuge)

4.2 Free-floating

Free-floating ist, wie bereits in Kapitel 1 dargelegt, eine weitere Form des Car Sharings. Im Gegensatz zum stationsgebundenen Sharing müssen die Fahrzeuge nicht an einem festgelegten Standort abgeholt bzw. an diesen zurückgebracht werden, sondern können durch die Nutzer an beliebigen Standorten, in der Regel innerhalb eines vom Betreiber festgelegten Perimeters, abgestellt werden.

4.2.1 Abbildung des Verkehrsangebots

Da das free-floating – im Gegensatz zum stationsgebundenen Carsharing – in der Schweiz bisher nicht weiträumig etabliert ist und somit Anhaltspunkte für eine Beschreibung des Angebots grösstenteils fehlen, mussten dessen Rahmenbedingungen hier zunächst definiert werden. Um die Vergleichbarkeit mit dem stationsgebundenen Sharing beizubehalten, wurde festgelegt, dass die Anzahl der verfügbaren Fahrzeuge im System identisch sein soll wie beim Angebot von Mobility im Perimeter des KVM AG. Das Angebot wurde zudem wie beim stationsgebundenen Sharing auf die Schweiz beschränkt. Die Fahrzeuge wurden anhand einer Gewichtung nach Einwohnern und Beschäftigten auf die Modellzonen des KVM AG verteilt.

Die aus diesen Annahmen resultierende Verteilung der free-floating Fahrzeuge ist in Abb. 13 dargestellt. Als direkte Folge der Berechnung in Abhängigkeit der Einwohner und Beschäftigten ist auch im free-floating die Anzahl der Fahrzeuge in den Städten grösser als auf dem Land. Es ist aber ersichtlich, dass im Gegensatz zum stationsgebundenen Sharing aufgrund der breiteren Streuung auch in ländlichen Gebieten Fahrzeuge vorhanden sind.

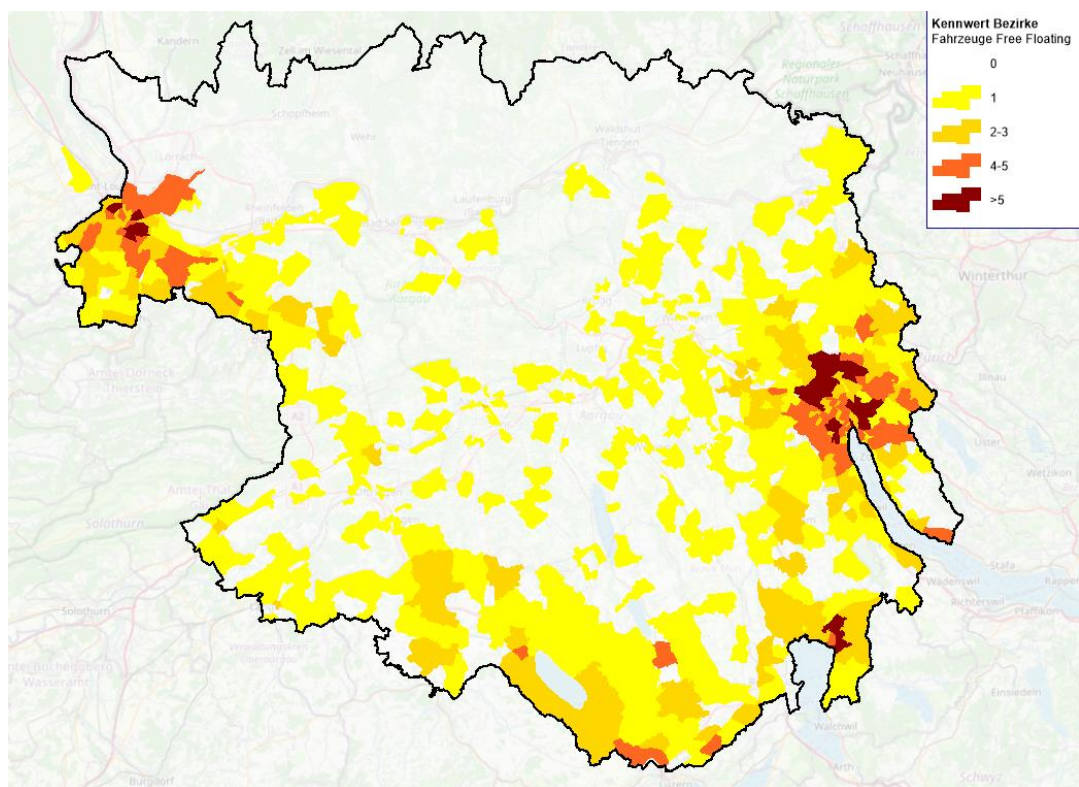


Abb. 13 Anzahl Free Floating-Fahrzeuge pro Bezirk

4.2.2 Ermittlung der Verkehrsnachfrage

Aufbau des Modus "free-floating" in VISUM

Die im KVM AG ursprünglich vorhandenen Nachfragemodi Fuss, Velo, PW und ÖV wurden unverändert beibehalten. Die free-floating Form des Car Sharings wurde als zusätzlicher Modus eingefügt, auf den bei der Verkehrsmittelwahl ein Teil der Nachfrage entfällt. Dazu wurde in VISUM ein neuer Modus "free-floating" eingefügt. Die Netzattribute wurden analog zum stationsgebundenen Car Sharing auch hier vom Modus PW übernommen.

Anzahl: 14	Code	Name
1	B	Bus
2	F	Fuss
3	FF	FreeFloating
4	FGV	Fussgänger
5	FUN	Funicular
6	FV	FV Zug
7	Lkw	Lkw
8	PW	Personenwagen
9	RV	RV Zug
10	Sch	Schiff
11	SeB	Seilbahn
12	SHA	Sharing
13	Tram	Tram
14	Velo	Velo

Verkehrssystem einfügen

Code: FF

Name: FreeFloating

Typ: IV

Pkw-Einheiten: 1,00

Attribute:

☒ Netz-Attribute übernehmen von: PW Personenwagen

☐ Nur Streckentyp-Attribute eingeben

Defaultwerte für Streckentypen:

vMax IV: 200km/h

Zugelassen für Streckentyp:

- 00 gesperrt
- 01 gesperrte Straße, Bauzustand
- 02 Planungstrecke
- 03 AT 4PS 120
- 04 AT 4PS 100
- 05 AT 4PS 80
- 06 AT 3PS 120
- 07 AT 3PS 110

OK Abbrechen

Abb. 14 Einfügen des Modus "Free-floating" und Übernahme der Attribute vom Modus "PW"

Analog zu den anderen Verkehrsmodi und zum Vorgehen beim stationsgebundenen Sharing wird die Umlegungsmatrix mit dem EVA-Nachfragemodell berechnet (cf. Abschnitt 4.1.2).

Verkehrserzeugung

Die Erzeugung basiert auf den aus dem MZMV abgeleiteten Mobilitätsraten für den betrachteten Perimeter. Da im KVM AG die Sharing-Wege bereits als Teil der PW-Wege bei der Erzeugung miteinbezogen wurden, können die Mobilitätsraten (cf. Vrtic *et al.*, 2019) unverändert übernommen werden.

Bewertung

Bei der Bewertung des Modus "Sharing" mussten die für die Verkehrsmittelwahl relevanten Angebotskenngrößen und Aufwandsarten festgelegt werden. Diese sind in Tab. 4 aufgelistet.

Tab. 4 Abbildung des free-floating Car Sharings in Visum: Angebotskenngrößen, Aufwandsarten und deren Funktion

Kenngrösse	Herleitung
Verfügbarkeit von Fahrzeugen	Für jeden Bezirk wird die gerundete Anzahl free-floating Fahrzeuge (cf. Abschnitt 4.2.1) geteilt durch den Mittelwert aus Einwohner und Beschäftigten.
Zugangszeit	Für jeden Bezirk mit mindestens einem free-floating Fahrzeug wird eine logarithmische Funktion der Fläche des Bezirks (in Hektaren) angewandt, um die Verteilung der Fahrzeuge im Bezirk abzubilden. Zusätzlich wird eine mittlere Wartezeit abhängig von der Fahrzeug-Verfügbarkeit (Anzahl Personen, welche sich ein Fahrzeug teilen) gesetzt.
Auslastung	Für jeden Bezirk wird die Anzahl Fahrten mit free-floating Fahrzeugen durch die Anzahl vorhandener Fahrzeuge geteilt.
Reisezeit	Für jede Bezirksbeziehung wird die PW-Reisezeit betrachtet.
Kosten	Die Kosten wurden von "Share Now", dem grössten free-floating Anbieter in Deutschland abgeleitet. Sie betragen für ein Fahrzeug der Kategorie M (BMW 1er o.ä.) 0.31€/min inkl. 200km (Share Now, 2021). Im Modell wurden 0.30CHF/min hinterlegt. Die beim stationsgebundenen Sharing anfallenden Kosten für die Aufenthaltsdauer am Zielort fallen weg.

Bei der Angebotskenngrösse "Verfügbarkeit" (Anzahl Fahrzeuge pro Einwohner) sowie bei den Aufwandsarten "Reisezeit" und "Kosten" wurden die Bewertungsparameter wie beim stationsgebundenen Sharing vom Modus "PW" übernommen. Bei der Aufwandsart "Zugangszeit" wurden die Parameter vom Modus "ÖV" übernommen. Zusätzlich wurde die Aufwandsart "Auslastung" eingeführt, die dämpfend wirkt und dafür sorgt, dass die Anzahl Fahrten pro Fahrzeug nicht unplausibel hoch wird.

In Tab. 5 sind die beschriebenen Angebotskenngrößen, Aufwandsarten und die jeweiligen Parameter aufgelistet. Positive Parameter bedeuten hierbei, dass eine Steigerung der entsprechenden Variablen den Nutzen, und somit den Modal-Split-Anteil, des entsprechenden Modus erhöhen würde; bei negativen Vorzeichen verhält es sich genau umgekehrt, dies sind die klassischen Komponenten des Widerstands eines Weges.

Tab. 5 Free-floating Sharing: Angebotskenngrößen, Aufwandsarten und Bewertungsparameter

Quelle-Ziel-Gruppe (QZG)	Bewertungsparameter für Kenngrösse				
	Verfügbarkeit	Zugangszeit	Auslastung	Reisezeit	Kosten
Wohnen-Arbeit	1.14	-0.0619	-0.05	-0.0651	-0.199
Wohnen-Bildung Schule	1.14	-0.0828	-0.05	-0.0645	-0.214
Wohnen-Bildung Uni	1.14	-0.0828	-0.05	-0.0645	-0.214
Wohnen-Einkauf kurz	1.14	-0.0596	-0.05	-0.0488	-0.186
Wohnen-Einkauf lang	1.14	-0.0596	-0.05	-0.0488	-0.186
Wohnen-Nutzfahrt	1.14	-0.0550	-0.05	-0.0523	-0.0776
Wohnen-Begleiten	1.14	-0.0328	-0.05	-0.0408	-0.169
Wohnen-Freizeit kurz	1.14	-0.0328	-0.05	-0.0408	-0.169
Wohnen-Freizeit lang	1.14	-0.0328	-0.05	-0.0408	-0.169
Arbeit-Wohnen	1.14	-0.0619	-0.05	-0.0651	-0.199
Bildung Schule-Wohnen	1.14	-0.0828	-0.05	-0.0645	-0.214
Bildung Uni-Wohnen	1.14	-0.0828	-0.05	-0.0645	-0.214
Einkauf kurz-Wohnen	1.14	-0.0596	-0.05	-0.0488	-0.186
Einkauf lang-Wohnen	1.14	-0.0596	-0.05	-0.0488	-0.186
Nutzfahrt-Wohnen	1.14	-0.0550	-0.05	-0.0523	-0.0776
Begleiten-Wohnen	1.14	-0.0328	-0.05	-0.0408	-0.169
Freizeit kurz-Wohnen	1.14	-0.0328	-0.05	-0.0408	-0.169
Freizeit lang-Wohnen	1.14	-0.0328	-0.05	-0.0408	-0.169
Arbeit-Sonstiges	1.14	-0.0619	-0.05	-0.0651	-0.199
Sonstiges-Arbeit	1.14	-0.0619	-0.05	-0.0651	-0.199
Bildung-Sonstiges	1.14	-0.0619	-0.05	-0.0645	-0.214
Sonstiges-Bildung	1.14	-0.0619	-0.05	-0.0645	-0.214
Einkauf-Sonstiges	1.14	-0.0596	-0.05	-0.0488	-0.186
Sonstiges-Einkauf	1.14	-0.0596	-0.05	-0.0488	-0.186
Nutzfahrt-Sonstiges	1.14	-0.0550	-0.05	-0.0523	-0.0776
Sonstiges-Nutzfahrt	1.14	-0.0550	-0.05	-0.0523	-0.0776
Sonstiges-Sonstiges	1.14	-0.0328	-0.05	-0.0408	-0.169
DE Wohnen-CH Arbeit	1.14	-0.0619	-0.05	-0.0651	-0.199
CH Wohnen-DE Einkauf	1.14	-0.0596	-0.05	-0.0488	-0.186
CH Wohnen-DE Freizeit	1.14	-0.0328	-0.05	-0.0408	-0.169
CH Arbeit-DE Wohnen	1.14	-0.0619	-0.05	-0.0651	-0.199
DE Einkauf-CH Wohnen	1.14	-0.0596	-0.05	-0.0488	-0.186
DE Freizeit-CH Wohnen	1.14	-0.0328	-0.05	-0.0408	-0.169

Verteilung/Moduswahl

Um die Vergleichbarkeit mit dem stationsgebundenen Sharing aufrecht zu erhalten, wurden die Modal-Split-Anteile des free-floating Sharings pro QZG gleichgesetzt wie dort (0.1% des PW-Modal-Split-Anteils).

Es ist zu betonen, dass für das Angebot, die Aufwandsarten und deren Bewertung sowie die Modal-Split-Anteile Annahmen getroffen wurden, welche das Mengengerüst der gesamten Sharing-Fahrten beeinflussen. Die nachfolgenden Berechnungen in EVA sind jedoch – wie in den Gesamtverkehrsmodellen üblich – auf empirischen Grundlagen abgestützt:

- Nutzenfunktionen der neuen (und alten) Modi;
- (räumliche) Verteilung der Nachfrage der einzelnen Verkehrsbezirke auf Modi und Ziele.

Die konkrete Ausgestaltung eines vorgegebenen Nutzungssperimeters (und entsprechende Restriktionen bezüglich des erlaubten Radius für durchgeführte Fahrten) wäre im Falle einer konkreten Anwendung näher zu präzisieren. Hier könnte z.B. eine zusätzliche Widerstandsmatrix ins Nachfragemodell eingefügt werden, welche Fahrten nur für bestimmte Quell-Ziel-Beziehungen erlaubt.

Umlegung

Bei der Umlegung der free-floating Fahrten sind keine Besonderheiten zu beachten, da diese nicht an einer Station beginnen oder enden müssen. Hier konnte also die Parametrisierung der PW-Umlegung übernommen werden.

4.2.3 Ergebnisse

Die im Nachfragemodell hinterlegten Annahmen zu den Modal-Split-Anteilen (cf. Abschnitt 4.1.2) führen zur Erzeugung einer Gesamtanzahl von 3'720 free-floating Sharing-Wegen im Modellgebiet des KVM AG. Bezogen auf das Gesamtverkehrsaufkommen im Modellgebiet ergibt dies einen Modal Split von 0.042% und eine Rate von drei Fahrten pro verfügbarem Fahrzeug (analog zum stationsgebundenen Sharing).

Abb. 15 zeigt die Verteilung der Fahrtenanzahlen pro Fahrzeug im Modellgebiet. Fahrten in Bezirke, in welchen initial kein Fahrzeug vorhanden ist, wurden für die Auswertung anteilmässig auf die Quellbezirke verteilt. Wie sich zeigt, ist die Auslastung der Fahrzeuge hier gleichmässiger verteilt als beim stationsgebundenen Sharing (cf. Abb. 9, S. 41). Die bessere Verfügbarkeit führt dazu, dass jedes Fahrzeug mindestens einmal pro Tag genutzt wird. Die maximalen Raten pro Fahrzeug sind gleichzeitig tiefer als beim stationsgebundenen Sharing, was angesichts der längeren gefahrenen Distanzen (im Mittel 9.3km) und der damit einhergehenden weniger häufigen Rückgaben am Ausgangsstandort ebenfalls plausibel erscheint.

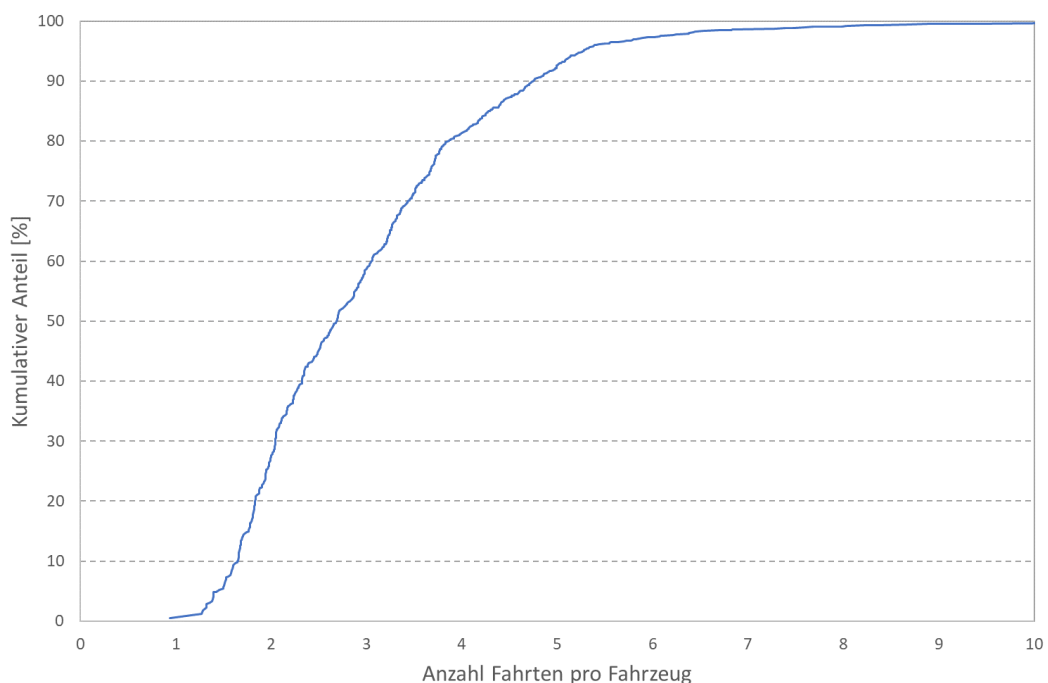


Abb. 15 Free-floating Sharing: Verteilung der Anzahl Fahrten pro Sharing-Fahrzeug

Aus Abb. 16 ist ersichtlich, dass es mehr Quellverkehr und somit Fahrten im ländlichen Raum gibt als im stationsgebundenen Sharing. Dies liegt daran, dass der Sharing-Nutzende nicht verpflichtet ist, das Fahrzeug an einem bestimmten Standort zurückzugeben, sondern dass er es beliebig im Modellgebiet abstellen kann (Annahme für das hier vorliegende Berechnungsbeispiel).

So finden hier auch nur 385 Wege, also 10.4% der gesamten Sharing-Nachfrage, innerhalb einer Modellzone statt. Dies entspricht in etwa der Hälfte des Anteils beim stationsgebundenen Sharing.

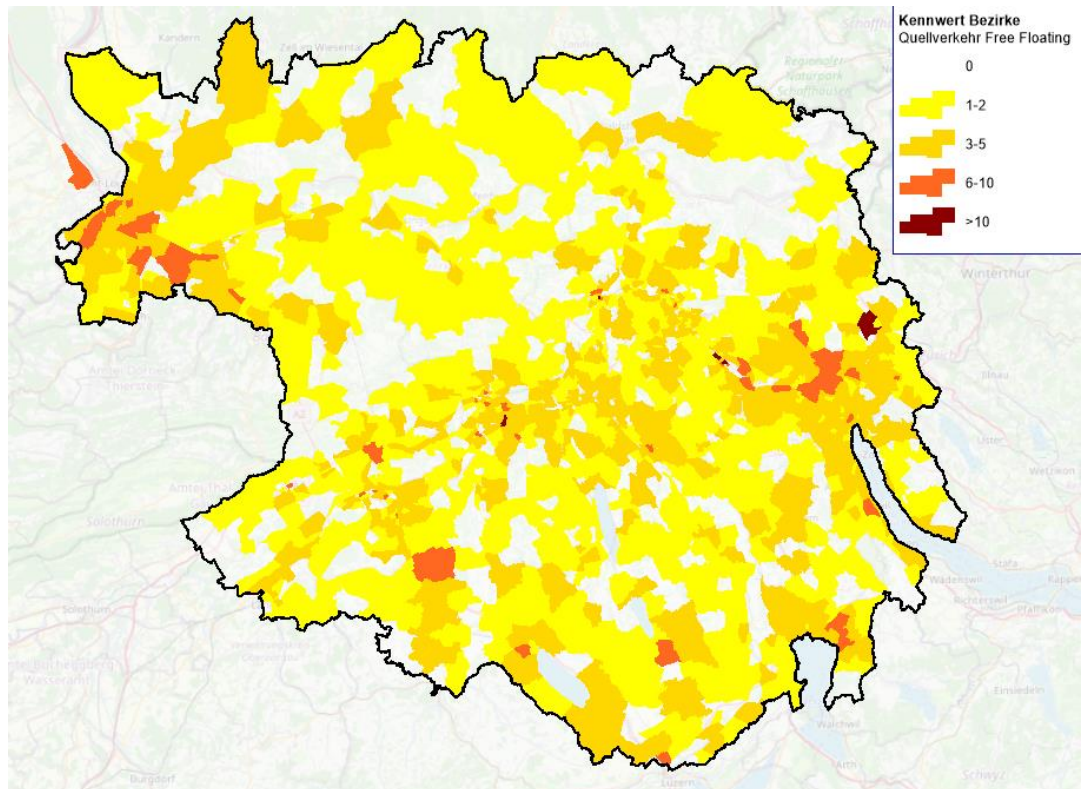


Abb. 16 Free-floating Sharing: Quell- bzw. Zielverkehr pro Bezirk

Die erwähnten weiteren gefahrenen Distanzen im free-floating gegenüber dem stationsgebundenen Sharing sind aus der in Abb. 17 dargestellten Weglängenverteilung ersichtlich. Wie erwähnt liegt der Mittelwert hier bei 9.3km – deutlich höher als beim stationsgebundenen Sharing (4.4km), aber tiefer als für Fahrten mit privaten PWs (11.5km). Diese Reihenfolge ist angesichts der Preisstrukturen der drei Modi ebenfalls sehr plausibel. Die Gesamtfahrleistung der free-floating Sharing-Fahrten beträgt 30'239Fzg-km/Tag.

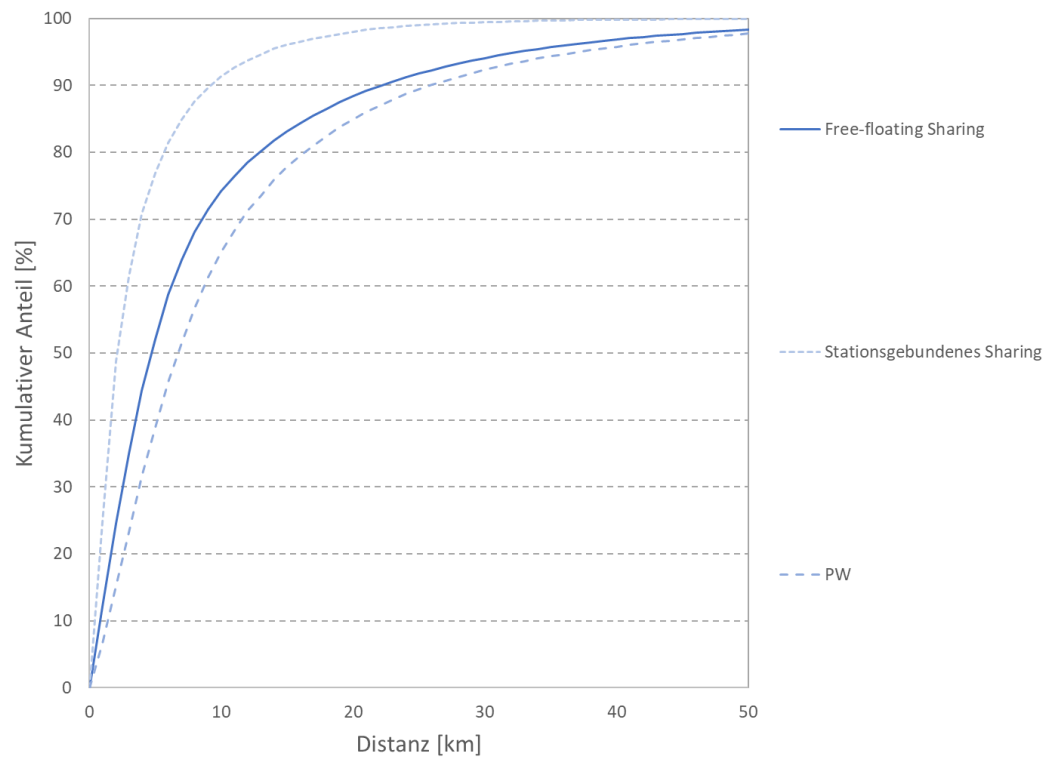


Abb. 17 Free-floating Sharing: Distanzverteilung der Sharing-Wege

Netzbelastungen

Abb. 18 zeigt die Streckenbelastungen der aufs Netz umgelegten free-floating Sharing-Nachfrage. Verglichen mit dem stationsgebundenen Sharing ist hier eine gleichmässigerer Verteilung der Verkehre zwischen urbanen und ländlichen Räumen zu erkennen. Auch sind die Belastungen auf den Verbindungen zwischen den grösseren Städten, d.h. insbesondere auf den Nationalstrassen, wesentlich höher als im stationsgebundenen Sharing. Dies ist ebenfalls ein Effekt der bereits angesprochenen Faktoren: dispersere Verteilung der Fahrten aufgrund der erhöhten Flexibilität (Fahrten in nur eine Richtung möglich, Aufenthaltsdauer am Ziel kostenfrei) und längere Distanzen aufgrund der tieferen Kilometerkosten.

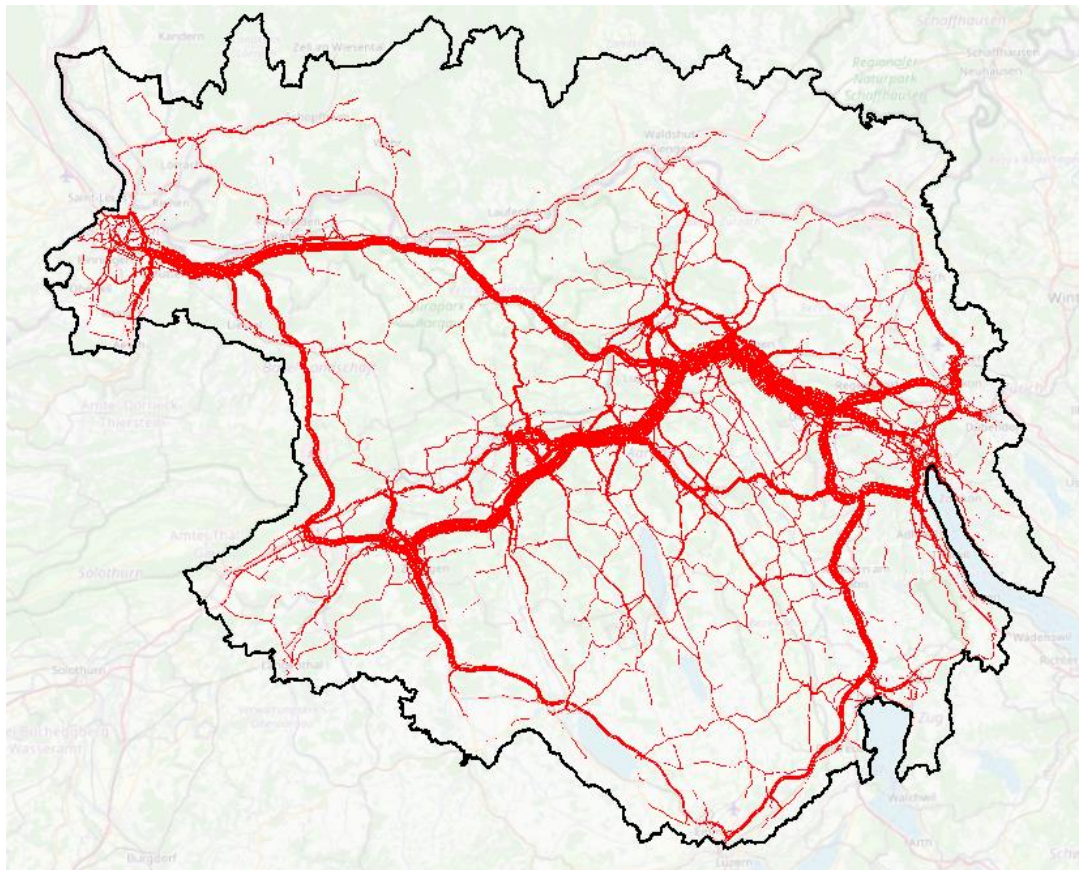


Abb. 18 Free-floating Sharing: Streckenbelastungen (max. Balkendicke = 100 Fahrzeuge)

4.3 Ride Pooling

Unter Ride Pooling versteht man das Bündeln von Fahrten mit ähnlichem Zielort. Dadurch, dass sich Personen ein Fahrzeug teilen anstatt getrennt zu fahren, steigt der mittlere Besetzungsgrad aller Fahrzeuge an, es verkehren weniger Fahrzeuge auf der Strasse und die Auslastung der Infrastruktur sinkt.

4.3.1 Technische Umsetzung

Im Gegensatz zu den Formen "stationsgebundenes Car Sharing" und "free-floating" wird das Ride Pooling hier nicht als eigener Modus in *Visum* abgebildet. Die aus der Nachfrageberechnung ermittelten PW-Personenwege werden mit einem veränderten Ansatz auf die Fahrzeuge verteilt, so dass, je nach Angebotsstruktur, andere Fahrtenzahlen resultieren. Bewerkstelligt wird dies durch eine Anpassung der PW-Besetzungsgrade, welche im Modell für die Umrechnung von Wege in Fahrten verwendet werden.

Für jeden Fahrtzweck (Arbeit, Bildung, Einkauf, Nutzfahrt und Freizeit) wurden zunächst die Quelle-Ziel-Matrizen ausgewertet, um das Potenzial für die Nutzung von Ride Pooling abzuschätzen. Je mehr Nachfrage von einem Bezirk i zu einem anderen Bezirk j vorhanden ist, desto höher ist das angenommene Potenzial für Ride Pooling. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurden sogenannte Affinitätsfaktoren eingeführt, mit denen für jede Quelle-Ziel-Beziehung der im ursprünglichen KVM AG pro Fahrtzweck konstante Besetzungsgrad aus dem MZMV 2015 multipliziert wird. Das Ergebnis ist der für das Ride-Pooling angepasste Besetzungsgrad, welcher jetzt nicht mehr für alle Fahrten eines Fahrtzwecks gleich ist, sondern pro Quelle-Ziel-Beziehung in Abhängigkeit von deren Nachfrage variiert.

Die im Modell hinterlegten Affinitätsfaktoren sind aus Tab. 6 ersichtlich. Diese wurden so kalibriert, dass im Gesamtmodell pro Fahrtzweck die gleiche Anzahl an PW-Fahrten generiert wird wie im Ausgangszustand des KVM AG. Der mittlere Besetzungsgrad über alle Fahrten wurde also konstant gehalten, und hier nur eine andere Verteilung der Besetzungsgrade angestrebt. Diese Kalibration ist notwendig, um die Übereinstimmung des hier betrachteten Ist-Zustands auf die Gesetzmässigkeiten des MZMV 2015 beizubehalten und somit die Konsistenz des Analysezustands sicherzustellen. Das Ziel ist es hier also explizit nicht, bereits Veränderungen der Besetzungsgrade herbeizuführen – diese wären Bestandteil einer entsprechenden Anwendung (deren Möglichkeiten zu Beginn von Kapitel 5 beschrieben werden) – sondern die Grundstruktur für eine flexible Abbildung dieser bereitzustellen, welche dann in Anwendungen ausgeschöpft werden kann. Aus diesem Grund wurden für Beziehungen mit geringem Potenzial auch geringfügig tiefere Besetzungsgrade als im Ausgangszustand (Affinität < 1.0) verwendet.

In einer Anwendung könnte nun beispielsweise die Annahme getroffen werden, dass aufgrund von begünstigenden Massnahmen der mittlere Besetzungsgrad durchgehend steigt. In diesem Fall könnten die Werte dann über eine Anpassung der hier verwendeten Affinitätsfaktoren verändert werden. Die Modellstruktur für entsprechende Berechnungen steht mit der hier implementierten Erweiterung zur Verfügung. Die Spannweite bzw. Veränderung der Affinitätsfaktoren bei einer Anwendung oder Massnahme wäre aus entsprechenden Erhebungen abzuleiten.

Die in Tab. 6 ausgewiesenen Werte beruhen auf Annahmen zur Präferenzstruktur der betroffenen Personen und den Rahmenbedingungen der Fahrten (und deren Gleichzeitigkeit, welche eine weitere Voraussetzung für ein potenzielles Pooling ist). So wird beispielsweise für Fahrten mit dem Zweck Ausbildung eine höhere maximale Affinität und eine tiefere Schwelle der für eine ansteigende Affinität notwendigen Mindestnachfrage angenommen, da Studierende mit gleichem Wohnort eher wahrscheinlicher zu Pooling-Gemeinschaften zusammenkommen als Personen auf ihrem Einkaufsweg.

Tab. 6 Ride Pooling: Affinitätsfaktoren nach Fahrtzweck

Fahrtzweck	Besetzungsgrad KVM AG	Affinität			
		ab Nachfrage	bis Nachfrage	Min. Affinität	Max. Affinität
Arbeit	1.08	20	350	0.974	1.5
Ausbildung	1.17	10	120	0.97	2.0
Einkauf	1.37	100	600	0.975	1.2
Nutzfahrt	1.54	60	200	0.98	1.8
Freizeit	1.46	50	780	0.98	1.5

Die Verläufe der Affinitätsfaktoren in Abhängigkeit des Nachfragepotenzials sind in den nachfolgenden Abbildungen visualisiert:

- Abb. 19 für den Fahrtzweck "Arbeit";
- Abb. 20 für den Fahrtzweck "Ausbildung";
- Abb. 21 für den Fahrtzweck "Einkauf";
- Abb. 22 für den Fahrtzweck "Nutzfahrt";
- Abb. 23 für den Fahrtzweck "Freizeit";

Am Beispiel des Fahrtzwecks "Arbeit" liest sich die Abbildung wie folgt: Ab einer Nachfrage von 20 Wegen mit dem Fahrtzweck "Arbeit" von Bezirk i nach Bezirk j wird der im KVM AG hinterlegte konstante Besetzungsgrad aus dem MZMV 2015 auf dieser Beziehung mit dem aus der Kurve resultierenden Affinitätsfaktor multipliziert (z.B. Faktor 1.1 bei 100 Fahrten). Ab einer Nachfrage von 350 Wegen auf einer Bezirksbeziehung wird der Faktor auf einen Wert von 1.5 beschränkt. Bei einer Nachfrage von 20 oder weniger Wegen sinkt der Besetzungsgrad leicht.

Die so ermittelten PW-Fahrten für jeden Zweck wurden addiert und es wurde die Differenz zur ursprünglichen PW-Fahrten-Matrix gebildet. Diese Differenz wurde zur kalibrierten Umlegungsmatrix hinzugerechnet, um die Auswirkungen auf die Netzbelastungen zwischen Ausgangs- und angepasstem Modellzustand zu eruieren.

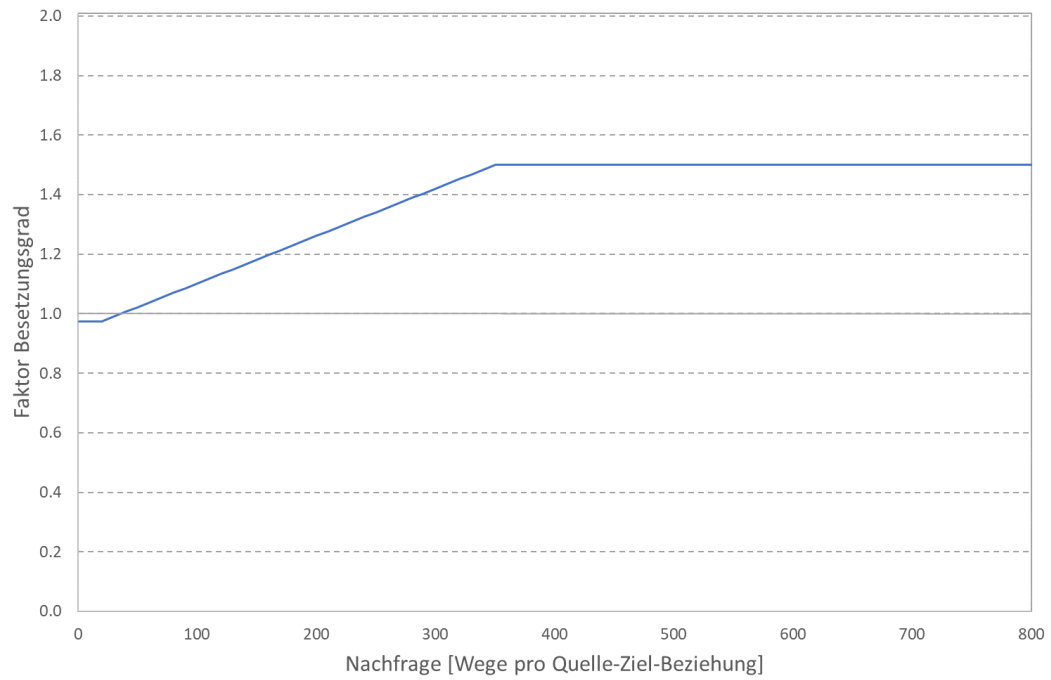


Abb. 19 Ride Pooling: Affinitätsfaktor in Abhängigkeit der Nachfrage für den Fahrtweck "Arbeit"

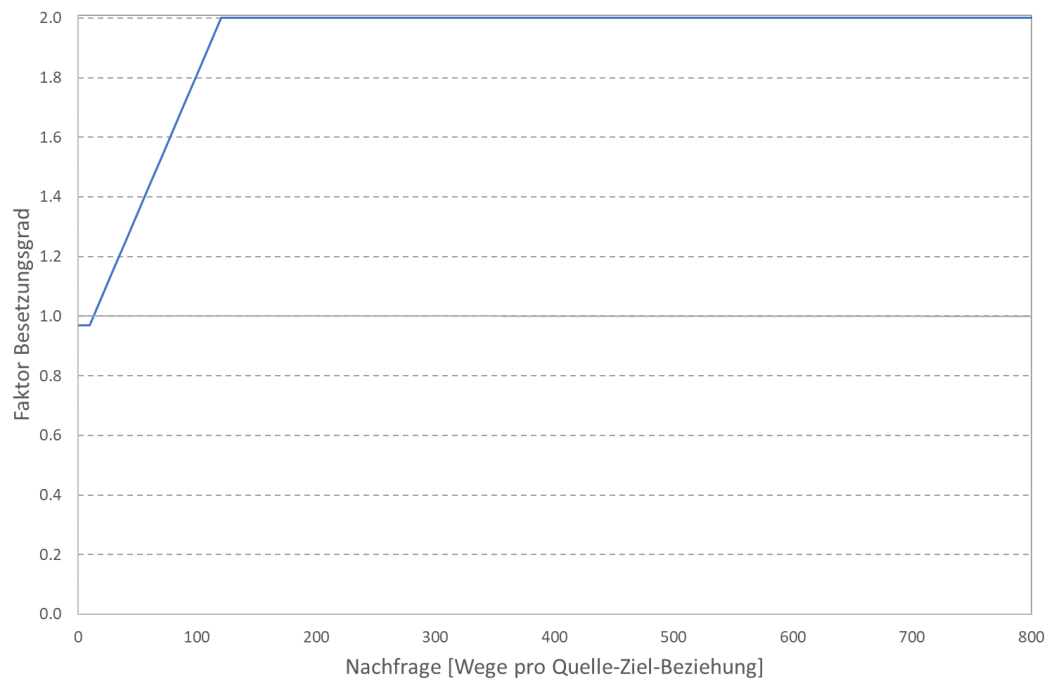


Abb. 20 Ride Pooling: Affinitätsfaktor in Abhängigkeit der Nachfrage für den Fahrtweck "Ausbildung"

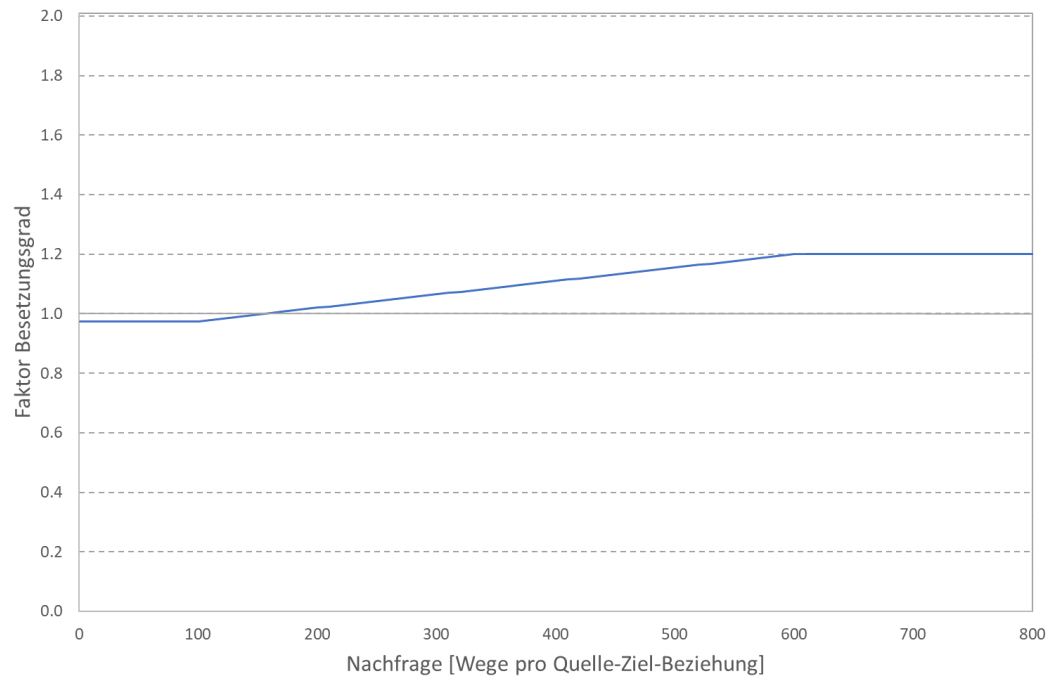


Abb. 21 Ride Pooling: Affinitätsfaktor in Abhängigkeit der Nachfrage für den Fahrtweck "Einkauf"

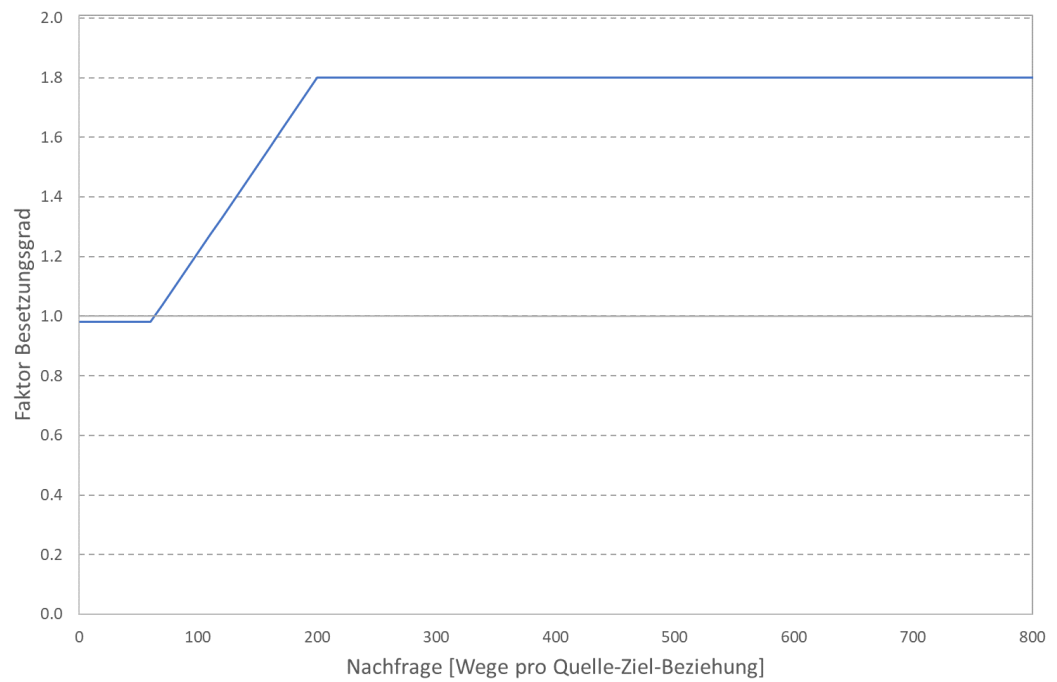


Abb. 22 Ride Pooling: Affinitätsfaktor in Abhängigkeit der Nachfrage für den Fahrtweck "Nutzfahrt"

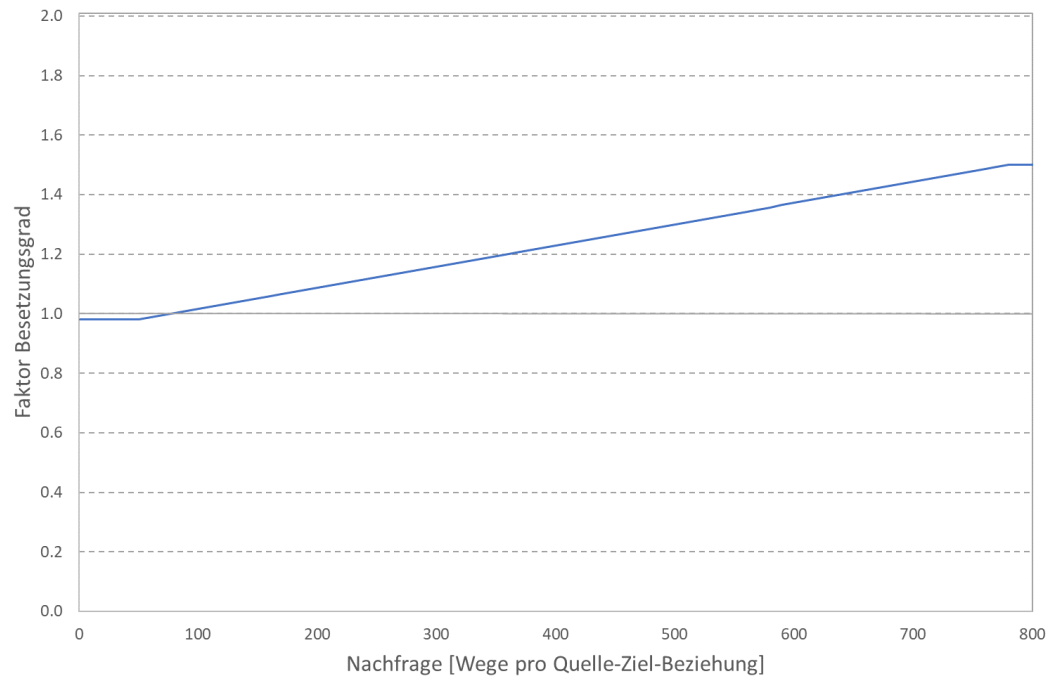


Abb. 23 Ride Pooling: Affinitätsfaktor in Abhängigkeit der Nachfrage für den Fahrtweg "Freizeit"

4.3.2 Ergebnisse

Dadurch, dass mehr Beziehungen vorhanden sind, auf welchen eine geringe Nachfrage herrscht (da im Modell sehr viele Beziehungen abgebildet werden und die Gesamtnachfrage sind somit auf viele kleine Einzelbeziehungen mit geringem Volumen verteilt), resultieren für die meisten Quelle-Ziel-Beziehungen Besetzungsgrade unter dem mittleren Besetzungsgrad aus dem MZMV 2015. Diese Werte betreffen aber auch verhältnismässig wenige Fahrten. Nachfolgend sind für die einzelnen Fahrtzwecke sowohl die Verteilungen der resultierenden Pooling-Besetzungsgrade (blau gestrichelte Linien) als auch der ursprüngliche Besetzungsgrad (orange Linie) aus dem MZMV 2015 aufgezeigt. In allen Fällen ist der mittlere Besetzungsgrad über alle Wege der einzelnen Zwecke – und somit auch aller Wege – identisch.

Beim Fahrtzweck “Arbeit” (Abb. 24) liegen neu 77% der Besetzungsgrade unter dem mittleren Besetzungsgrad aus dem MZMV von 1.08. 20% der Besetzungsgrade liegen zwischen 1.08 und 1.2 und 3% sind über 1.3 bis zu einem Maximum von 1.62.

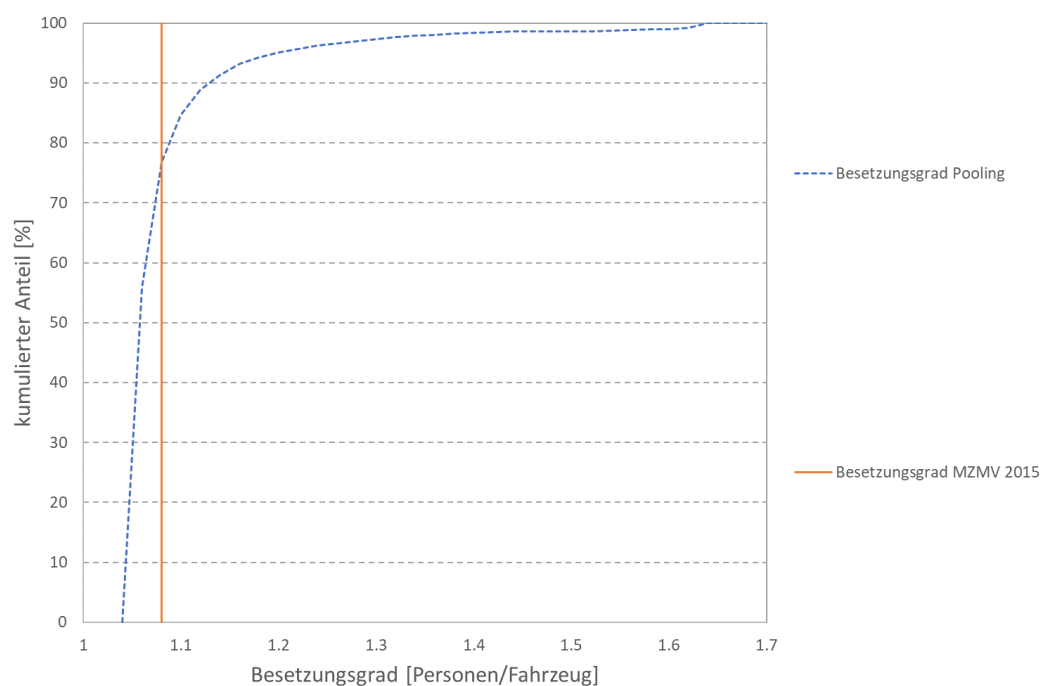


Abb. 24 Ride Pooling: Verteilung der Besetzungsgrade des Fahrtzwecks “Arbeit”

Beim Fahrtzweck "Ausbildung" (Abb. 25) liegen neu 86 % der Besetzungsgrade unter dem mittleren Besetzungsgrad aus dem MZMV 2015 von 1.17. 12 % der Besetzungsgrade liegen zwischen 1.16 und 1.6 und 2 % sind über 1.6 bis zu einem Maximum von 2.36.

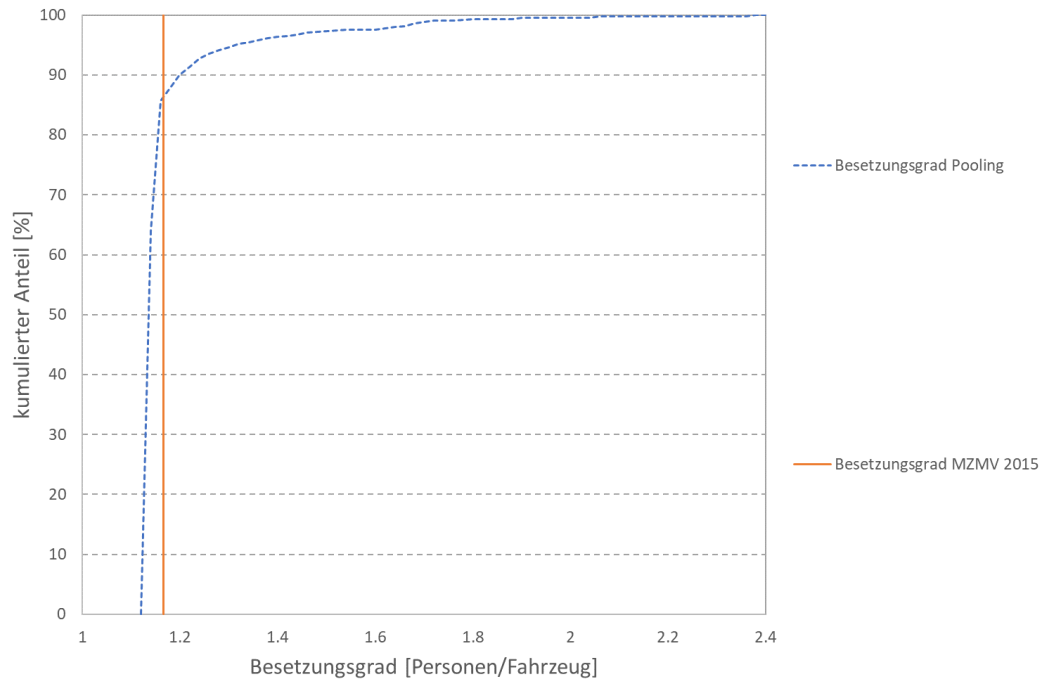


Abb. 25 Ride Pooling: Verteilung der Besetzungsgrade des Fahrtzwecks "Ausbildung"

Beim Fahrtzweck "Einkauf" (Abb. 26) liegen neu 66% der Besetzungsgrade unter dem mittleren Besetzungsgrad aus dem MZMV 2015 von 1.37. 29% der Besetzungsgrade liegen zwischen 1.36 und 1.5 und 5% sind über 1.5 bis zu einem Maximum von 1.64. Der Knick in der Kurve beim Wert der x-Achse von ca. 1.48 kommt dadurch, dass für den Fahrtzweck "Einkauf" zwei separate Besetzungsgrade im KVM AG definiert sind. Für Fahrten zu Einkäufen des "kurzfristigen Bedarfs" beträgt dieser 1.33 und für den "langfristigen Bedarf" 1.53.

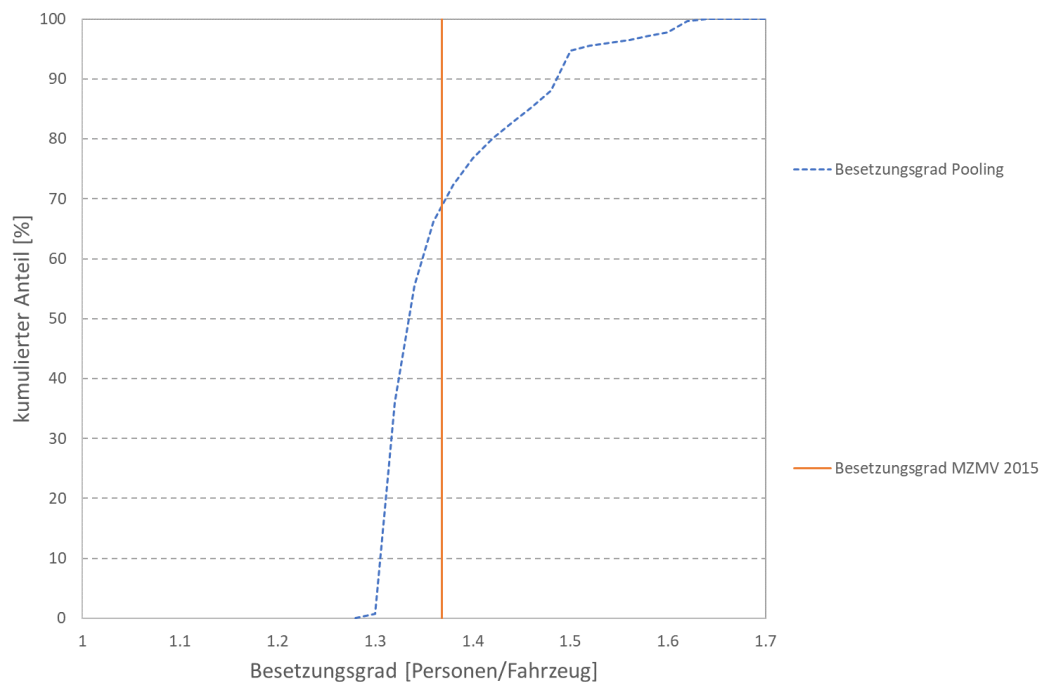


Abb. 26 Ride Pooling: Verteilung der Besetzungsgrade des Fahrtzwecks "Einkauf"

Beim Fahrtzweck "Nutzfahrt" (Abb. 27) liegen neu 46% der Besetzungsgrade unter dem mittleren Besetzungsgrad aus dem MZMV 2015 von 1.54. 50% der Besetzungsgrade liegen zwischen 1.54 und 1.78 und 4% sind über 1.78 bis zu einem Maximum von 3.12. Der Knick in der Kurve beim Wert der x-Achse von ca. 1.8 kommt dadurch, dass für den Fahrtzweck "Nutzfahrt" zwei separate Besetzungsgrade im KVM AG definiert sind. Für geschäftliche Fahrten beträgt dieser 1.23 und für Begleitwege 1.81. Dadurch, dass der Unterschied der Besetzungsgrade Unterteilungen relativ gross ist und es mehr Begleitwege als geschäftliche Fahrten gibt, ist die Form der Kurve zu den anderen Fahrtzwecken verschieden.

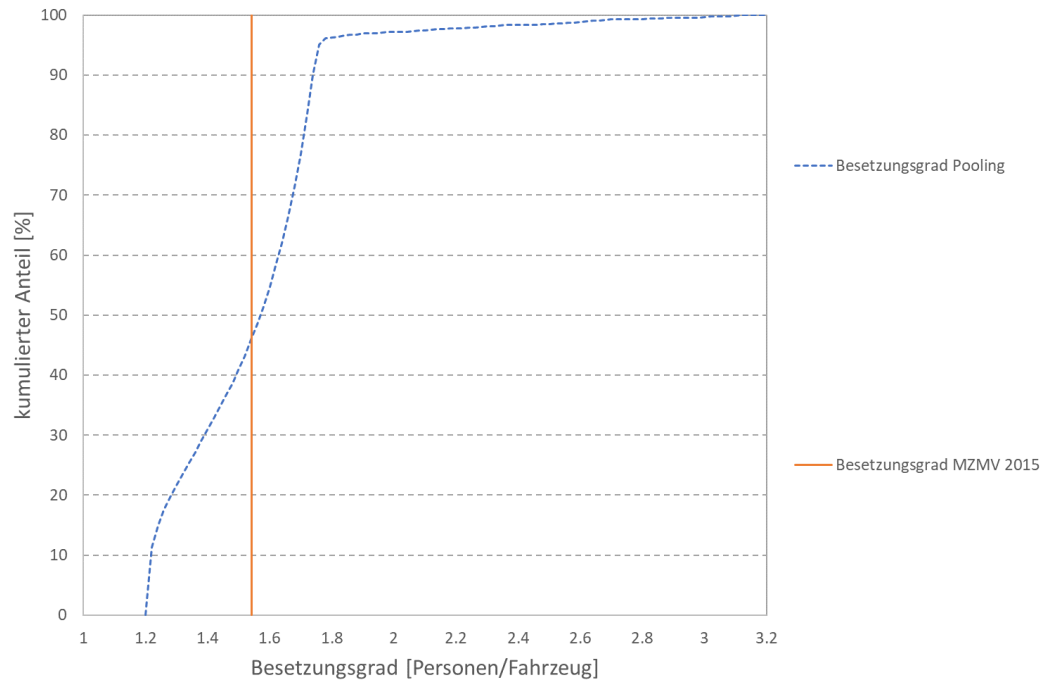


Abb. 27 Ride Pooling: Verteilung der Besetzungsgrade des Fahrtzwecks "Nutzfahrt"

Beim Fahrtzweck "Freizeit" (Abb. 28) liegen neu 65% der Besetzungsgrade unter dem mittleren Besetzungsgrad aus dem MZMV 2015 von 1.46. 27% der Besetzungsgrade liegen zwischen 1.46 und 1.54 und 8% sind über 1.54 bis zu einem Maximum von 2.14. Der Knick in der Kurve beim Wert der x-Achse von ca. 1.54 kommt dadurch, dass für den Fahrtzweck "Freizeit" zwei separate Besetzungsgrade im KVM AG definiert sind. Für "kurze" Freizeitwege (unter 10km) beträgt dieser 1.42 und für "lange" (ab 10km) 1.56.

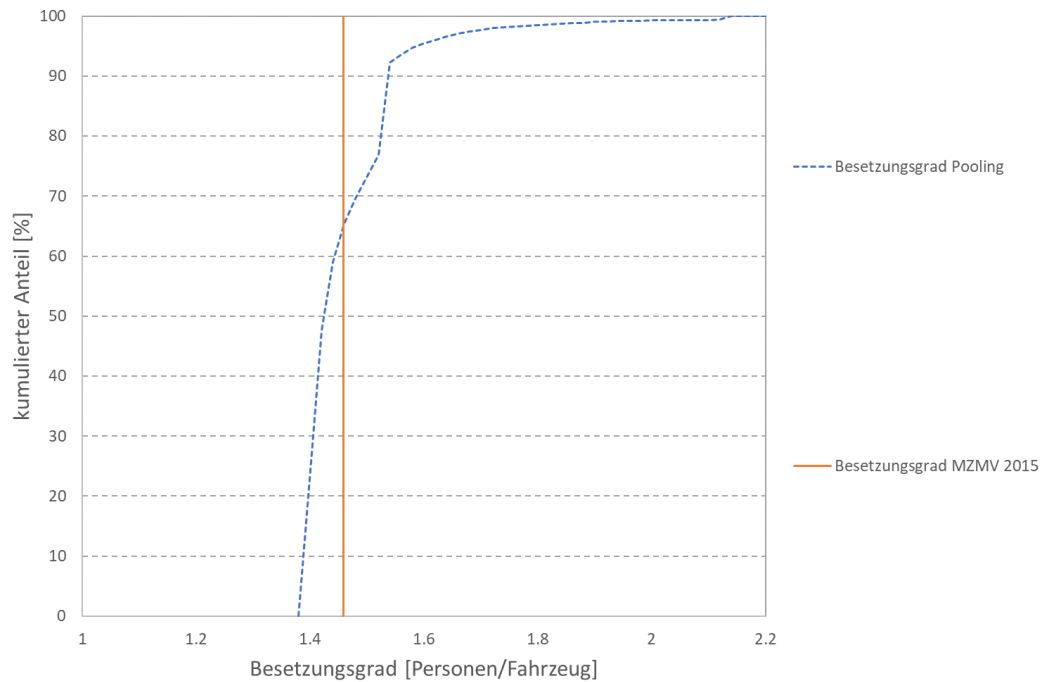


Abb. 28 Ride Pooling: Verteilung der Besetzungsgrade des Fahrtzwecks "Freizeit"

Die Verteilung für alle Fahrtzwecke zusammen ist aus Abb. 29 ersichtlich. Hier sind die Besetzungsgrade für den Ausgangszustand des Modells ebenfalls nicht mehr konstant, da die Zusammensetzung der Fahrtzwecke zwischen den Quelle-Ziel-Beziehungen variiert. Es ist ersichtlich, dass durch die Einführung des Pooling und der damit einhergehenden Affinitätsfaktoren der Maximalwert des durchschnittlichen Besetzungsgrads der Fahrten einer Beziehung von 1.56 auf 1.98 ansteigt. Beide Verteilungen haben, wie anfangs festgelegt, den gleichen Mittelwert (1.31) und sind beinahe symmetrisch um diesen herum verteilt.

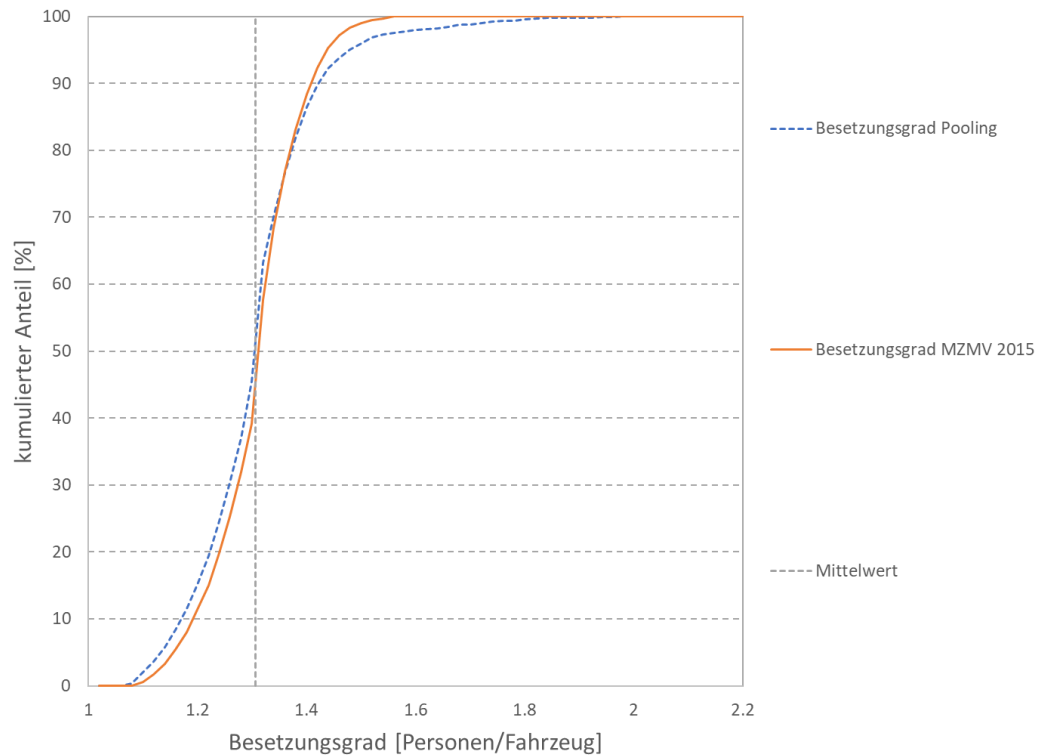


Abb. 29 Ride Pooling: Verteilung der Besetzungsgrade für alle Fahrtzwecke

Insgesamt führen die eingeführten Modell Anpassungen nur zu geringfügigen Verschiebungen der Besetzungsgrade. Dies war zu erwarten, da der Mittelwert als Randbedingung wie erwähnt konstant gehalten wurde. Dennoch sind die Effekte der Veränderungen sichtbar und plausibel, und diese können bei allfälligen Anwendungen (bei welchen die Randbedingung des konstanten Mittelwerts wegfallen kann) mit entsprechenden Anpassungen weiterverwendet werden.

Das Ziel, das Ride Pooling über variable Besetzungsgrade im Modell abbilden zu können, wurde hier also erreicht.

5 Anwendungsfälle

Um zu testen, wie sich die neuen Modi “stationsgebundenes Sharing” und “free-floating Sharing” unter geänderten Rahmenbedingungen verhalten, wurden verschiedene Anwendungsfälle bzw. Sensitivitätsbetrachtungen definiert:

- Verdopplung der Anzahl verfügbarer Fahrzeuge (1);
- Reduktion der Kosten um 25% (2);
- Kombination von (1) und (2).

Diese drei Anwendungsfälle wurden einzeln für die zwei Sharing-Arten und für die Kombination beider Sharing-Varianten gerechnet. Dies ergibt total neun Anwendungsfälle, deren Ergebnisse in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben werden.

Für die Berechnung der Anwendungsfälle mussten die Parameter beim EVA-Schritt “Verteilung/Moduswahl” angepasst werden (cf. Abb. 30). Die Anwendungen sind “Prognose”-Modelle, d.h. die Modal-Split-Anteile (bzw. die Fahrtenzahlen) für die einzelnen Modi werden hier im Gegensatz zum “Analyse”-Fall nicht vorgegeben, sondern als Reaktion auf die Veränderungen des Angebots neu berechnet.

Hierbei werden die sogenannten “Bilanzfaktoren” für das Quell- und Zielaufkommen, die aus der Berechnung der Analysezustände resultieren, als Startlösung verwendet. Im Analysefall bewirken diese Faktoren, dass der eingestellte Modal-Split-Anteil pro QZG erreicht wird. Durch die Mitnahme dieser Werte in die Anwendungen können die Auswirkungen der berechneten Anwendungsfälle ohne weitere Einflüsse ausgewiesen werden.

Parameter EVA-Verteilung/Moduswahl ×

Allgemeine Parameter
Verfahren
Modal Split
Moduswahlmatrizen

Projektart ☐ Analyse
☒ Prognose

☒ Berechne Randsummenausgleich

Maximale Anzahl Iterationen 9999

Toleranz bei harten RSB 5

Toleranz bei nichtharten RSB 5

☒ gespeicherte Bilanzfaktoren für Quell- und Zielaufkommen als Startlösung verwenden

☐ berechnete Bilanzfaktoren für Quell- und Zielaufkommen speichern

(Modus-Bilanzfaktoren dienen immer als Startlösung und werden vom Verfahren nicht verändert)

OK
Abbrechen

Abb. 30 Parameter “EVA-Verteilung/Moduswahl” für die Anwendungsfälle

Da die Bewertungsparameter der Angebotskenngrößen hier auf Annahmen beruhen, sollten die aus den Modellläufen resultierenden Elastizitäten nicht unverändert für künftige Anwendungen übernommen werden, ohne diese vorher zu validieren. Deren Größenordnungen sind jedoch durchgehend als plausibel anzusehen.

Bei den hier gezeigten Anwendungsfällen wurde der Fokus bewusst auf die Sharing-Angebote gelegt. Anwendungen zum Ride Pooling bedürfen konkreter Angaben zur Ausgestaltung von Anreizen und Potenzialen für die Bündelung von Fahrten, welche in der vorliegenden Forschungsarbeit nicht im Vordergrund stehen. Für solche konkreten Anwendungen ist unter Umständen der in Jermann (2019) aufgezeigte Ansatz geeignet. Allgemeine Aussagen über eine Veränderung der in Abschnitt 4.3 beschriebenen Affinitätsfaktoren möglich, z.B. als Reaktion auf Kostenveränderungen (global oder lokal), Anreize (z.B. seitens eines grossen Arbeitgebers) oder Infrastrukturmassnahmen (z.B. die Bündelung des Parkierungsangebots von mehreren kleinen auf ein grosses, zentrales, Parkhaus). Ohne eine konkrete Massnahmendefinition und die Ableitung deren Einflusses auf die Affinitäten (nach Fahrtzweck) würden solche Anwendungen jedoch zu wenig aufschlussreichen bzw. vorweggenommenen Ergebnissen führen: eine Massnahme, welche global die Affinitäten erhöht, führt zu einem proportionalen Anstieg der Besetzungsgrade und somit zu einer Reduktion der Anzahl Fahrten im Netz – eine eigene Modellanwendung ist für eine solch relativ triviale Aussage jedoch nicht zielführend.

5.1 Verdopplung der Anzahl verfügbarer Fahrzeuge

Stationsgebundenes Sharing

Die Anzahl der verfügbaren Fahrzeuge an den jeweiligen Verleihstandorten wurde von 1'244 auf 2'488 verdoppelt. Dies bewirkt eine bessere Bewertung des Modus aufgrund der Angebotskenngrosse und hat somit eine Erhöhung des Modal Split zur Folge. Die Anzahl der Sharing-Wege steigt durch die Dämpfung der Auslastung der Fahrzeuge unterproportional um ca. 22% von 3'720 auf 4'551 Wege. Die Nachfrageelastizität beträgt hier also 0.22. Aufgrund der geringen absoluten Anzahl Wege ist der Effekt auf die anderen Verkehrsmodi vernachlässigbar.

Die Distanzverteilung der Sharing-Wege bleibt in diesem Anwendungsfall beinahe gleich wie für den Referenzfall, wie Abb. 31 zeigt. Der Mittelwert der Weglängen liegt hier bei 4.5km. Durch einen alleinigen Ausbau der Kapazitäten des Sharings verändert sich dessen Wegestruktur also kaum.

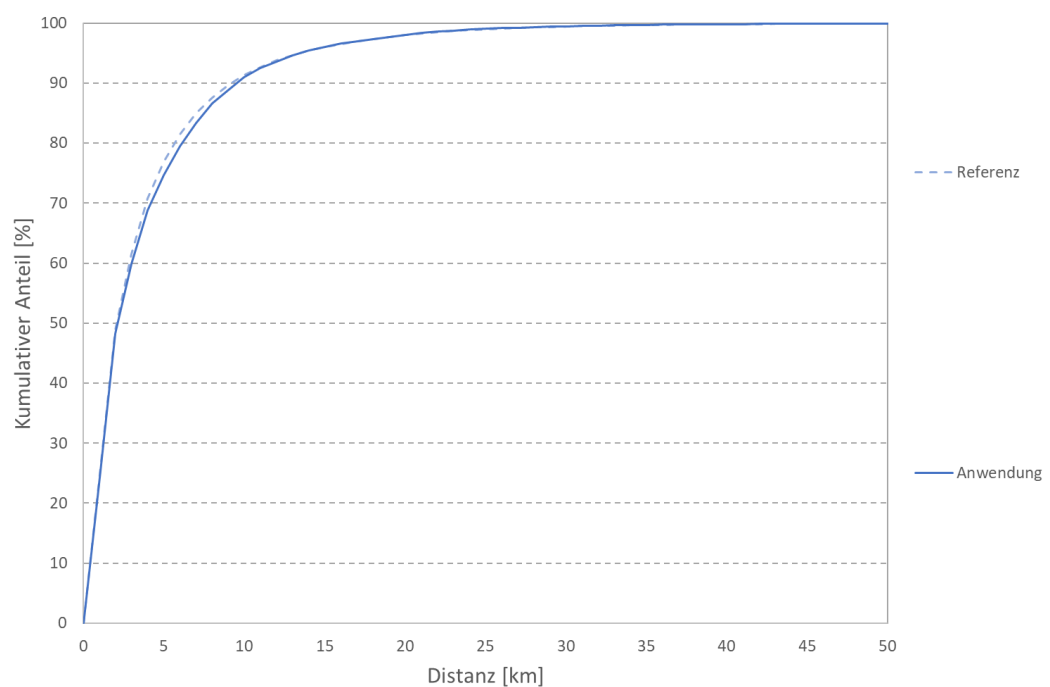


Abb. 31 Anwendungsfall stationsgebundenes Sharing (Verdopplung der Anzahl Fahrzeuge): Distanzverteilung der Sharing-Wege

Die Gesamtfahrleistung der stationsgebundenen Sharing-Fahrten nimmt hier auf 15'987Fzg-km/Tag zu, also um 25.3%, und wächst somit proportional zur Gesamtnachfrage (mehr Fahrten) bei gleichbleibender Nachfragestruktur (unveränderte mittlere Weglänge).

In Abb. 32 ist zu erkennen, dass aufgrund der oben erwähnten Zunahme der Anzahl Wege, der Quellverkehr und somit die Streckenbelastungen zunehmen. Dies geschieht vor allem in den Räumen Basel (mehr Fahrten nach Deutschland) und Zug. Die Region Zürich weist hier im Vergleich, vor allem aufgrund des verhältnismässig dichteren ÖV-Angebots und des dadurch geringeren Substitutionspotenzials, ein geringeres Wachstum der Sharing-Nachfrage auf. Zudem ist zu beachten, dass sowohl beim Quellverkehr als auch bei der Umlegung, die intrazonalen Wege nicht berücksichtigt werden. Somit fällt der Effekt in der Umlegung geringer aus als bei der Nachfrageberechnung.

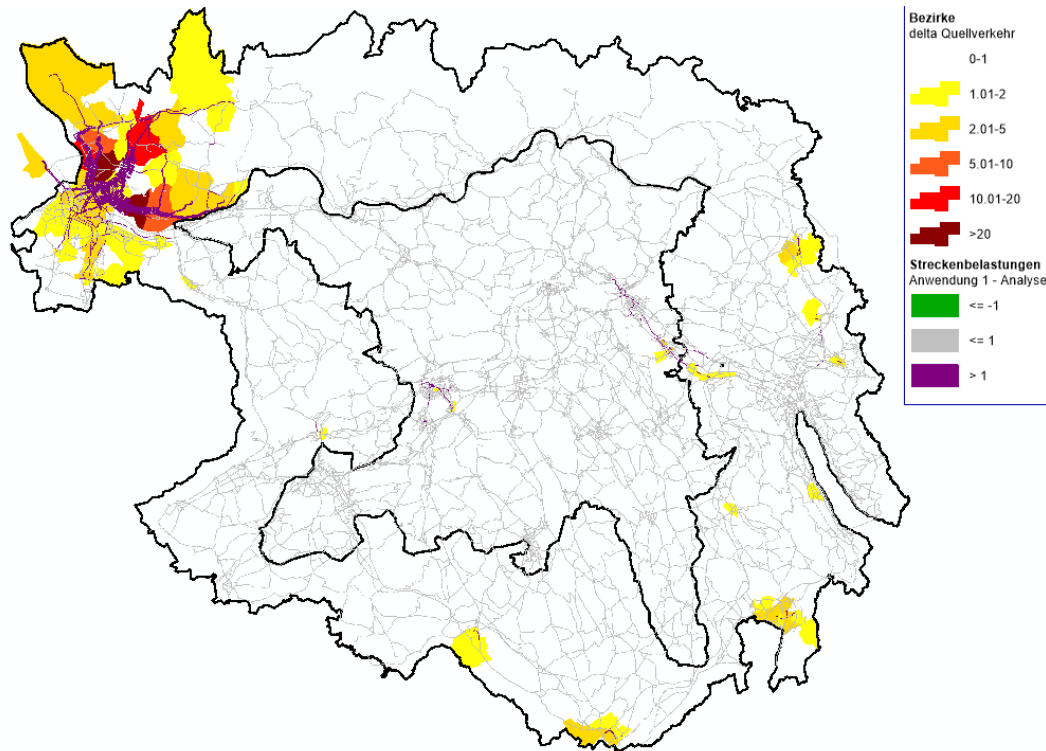


Abb. 32 Anwendungsfall stationsgebundenes Sharing (Verdopplung der Anzahl Fahrzeuge): Vergleich Quellverkehr und Streckenbelastungen mit dem Analysezustand

Free-floating

Die Anzahl der verfügbaren Fahrzeuge pro Bezirk wurde auch hier mit dem Faktor zwei multipliziert und von 1'244 auf 2'488 verdoppelt. Dies bewirkt eine bessere Bewertung des Modus aufgrund der Angebotskenngrosse und hat somit eine Erhöhung des Modal Split zur Folge. Die Anzahl der free-floating Sharing-Wege steigt um ca. 21% von 3'720 auf 4'499 Wege, was eine Elastizität von 0.21 ergibt und somit in der gleichen Grössenordnung liegt wie beim stationsgebundenen Sharing. Aufgrund der geringen absoluten Anzahl Wege ist der Effekt auf die anderen Verkehrsmodi vernachlässigbar.

Wie erwartet bleiben in diesem Anwendungsfall die Weglängenverteilung der Sharing-Fahrten (cf. Abb. 33) und deren Mittelwert (9.0km) in etwa gleich wie in der Referenz.

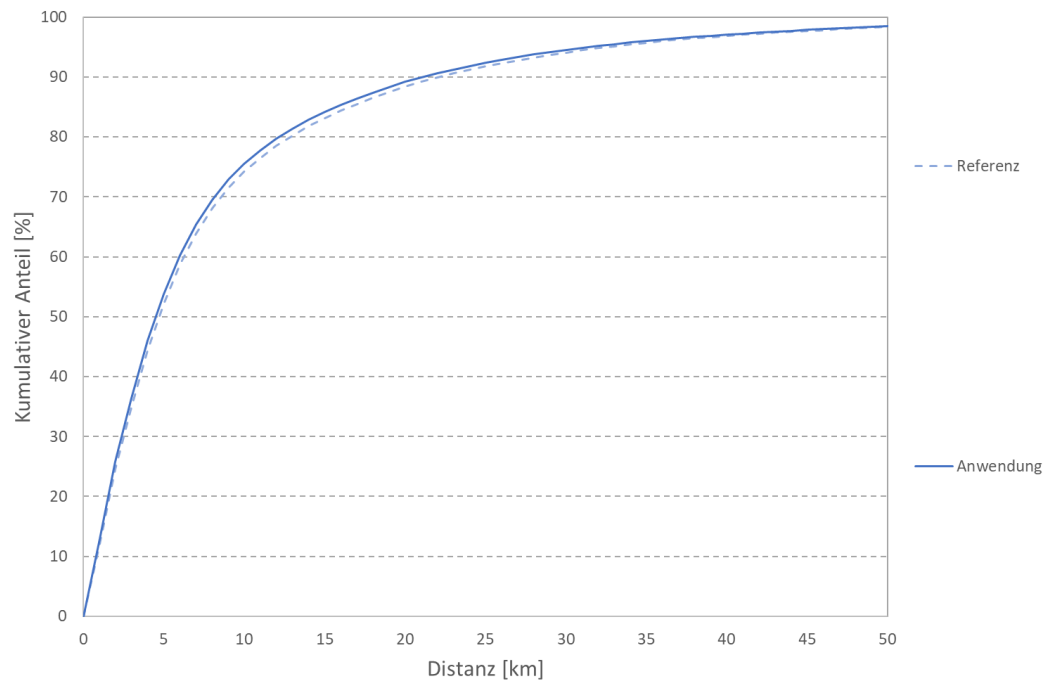


Abb. 33 Anwendungsfall free-floating Sharing (Verdopplung der Anzahl Fahrzeuge): Distanzverteilung der Sharing-Wege

Die Gesamtfahrleistung der free-floating Sharing-Fahrten nimmt hier auf 34'972 Fzg-km/Tag zu, also um 15.7%, und wächst somit ungefähr proportional zur Gesamtnachfrage (mehr Fahrten) bei geringfügig veränderter Nachfragestruktur (etwas kürzere mittlere Weglänge).

Im Free-floating ist das Wachstum ebenfalls im Umlegungsmodell ersichtlich (Abb. 34). Im Gegensatz zum stationsgebunden Sharing erfolgt das Wachstum homogener über den Perimeter verteilt, aber noch immer konzentriert es sich auf die städtischen Gebiete.

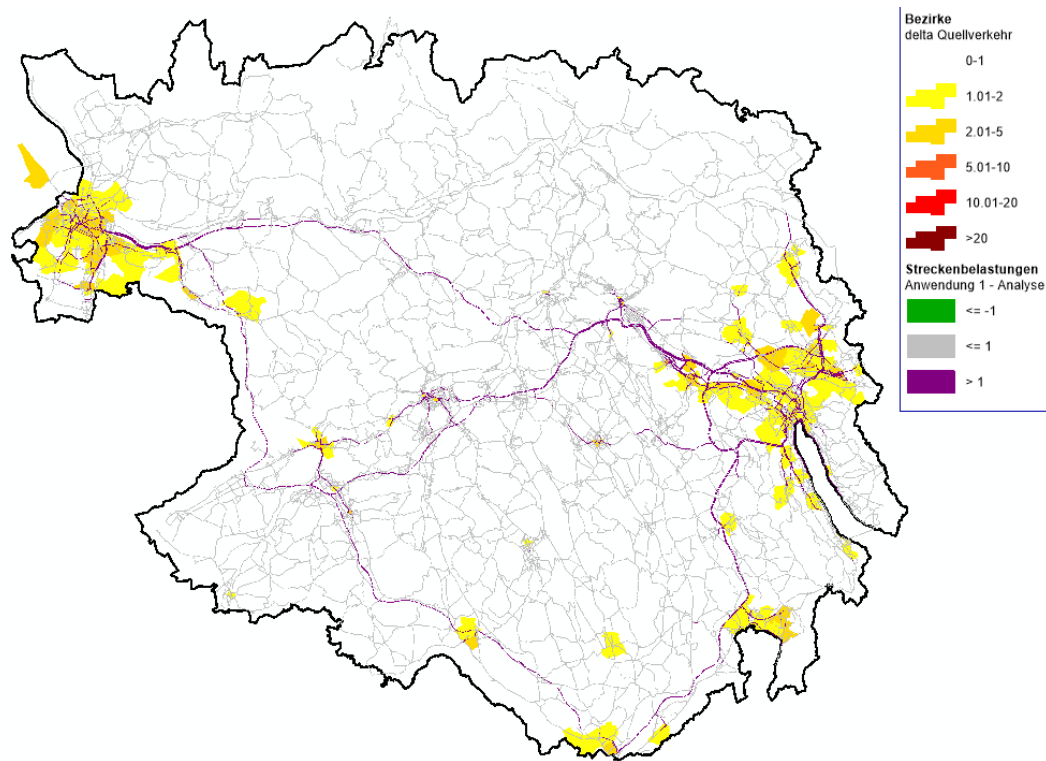


Abb. 34 Anwendungsfall free-floating Sharing (Verdopplung der Anzahl Fahrzeuge): Vergleich Quellverkehr und Streckenbelastungen mit dem Analysezustand

Kombiniert (stationsgebundenes und free-floating Sharing)

Wie oben beschrieben wurde die Anzahl stationsbasierter Fahrzeuge und die Anzahl der Free-floating Fahrzeuge pro Bezirk verdoppelt. Die Anzahl der Wege im stationsgebundenen Sharing steigt um 13% von 3'720 auf 4'195 Wege. Die Anzahl Fahrten pro Fahrzeug ist in drei Bezirken eher hoch mit mehr als 10 Fahrten, in den anderen Bezirken beträgt die maximale Anzahl Fahrten 9. Die free-floating Wege steigen um ca. 20% von 3'720 auf 4'477 (max. Anzahl Fahrten pro Fahrzeug: 9).

Wie aus Abb. 35 und Abb. 36 ersichtlich ist, bleiben die Weglängen bei beiden Sharing-Typen auch hier gegenüber dem Referenzfall relativ stabil: deren Mittelwert liegt bei 4.3km für das stationsgebundene und bei 8.9km für das free-floating Sharing.

Die Fahrleistungen nehmen im stationsgebundenen Sharing um 9.5% auf 13'975Fzg-km/Tag und im free-floating Sharing um 14.7% auf 34'684Fzg-km/Tag zu.

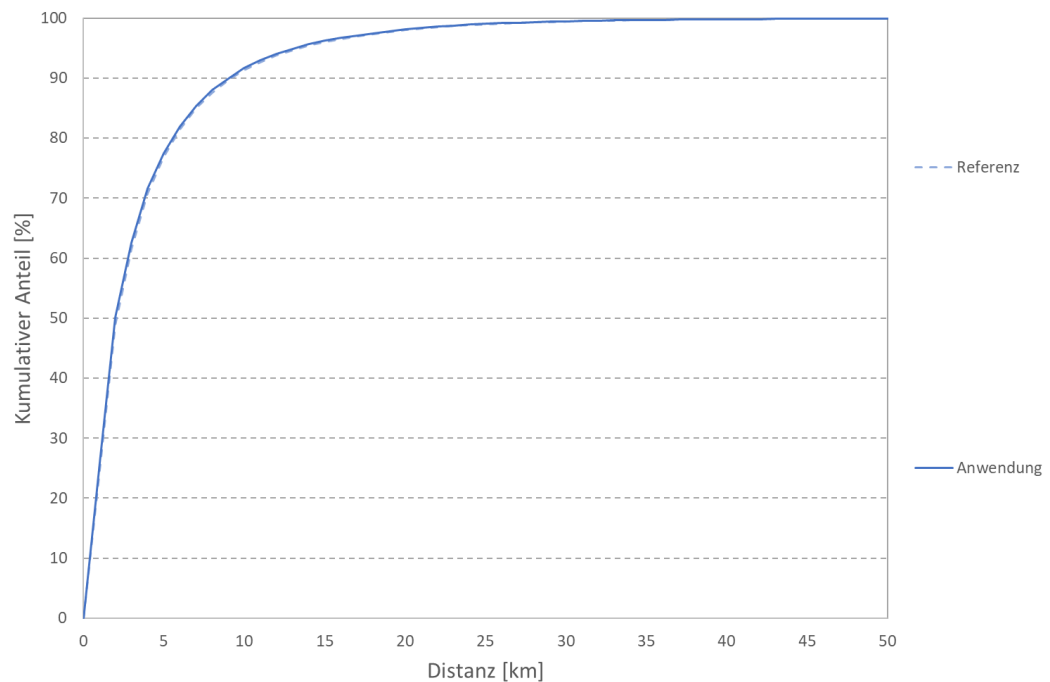


Abb. 35 Anwendungsfall kombiniert (Verdopplung der Anzahl Fahrzeuge): Distanzverteilung der stationsgebundenen Sharing-Wege

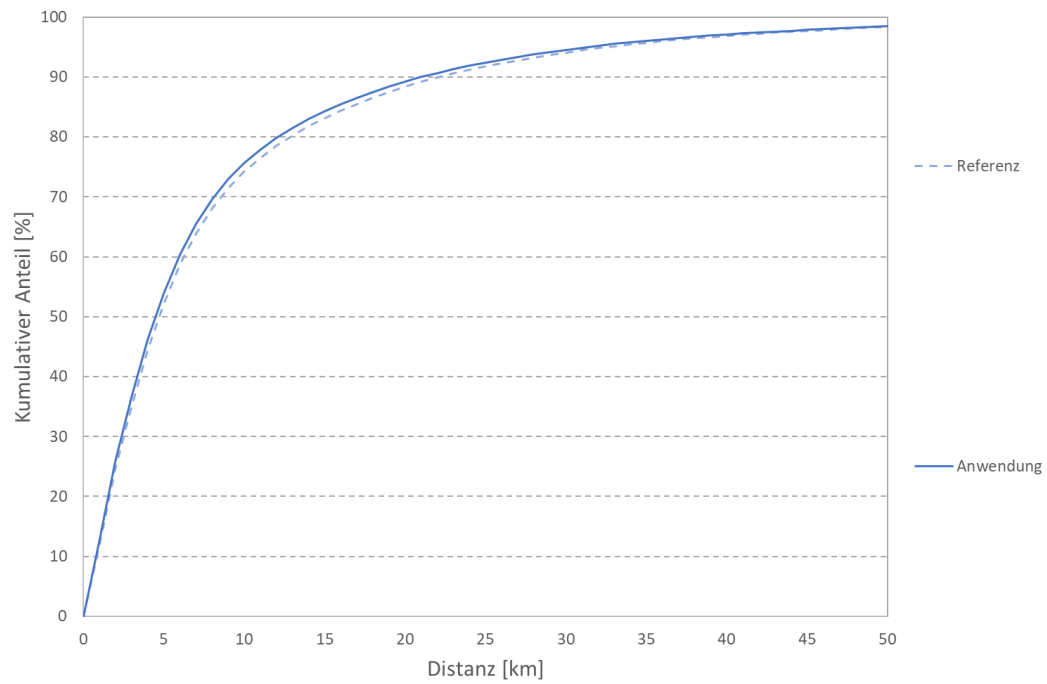


Abb. 36 Anwendungsfall kombiniert (Verdopplung der Anzahl Fahrzeuge): Distanzverteilung der free-floating Sharing-Wege

5.2 Reduktion der Kosten um 25%

Stationsgebundenes Sharing

Die Kosten für das stationsgebundene Sharing wurden folgendermassen angepasst:

- Reduktion des Stundenansatzes von 2.50CHF auf 1.88CHF;
- Reduktion des kilometerbasierten Ansatzes von 0.65CHF auf 0.49CHF.

Die Reduktion des Aufwandes hat wiederum eine bessere Bewertung des Modus zur Folge und die Anzahl der Sharing-Wege steigt um ca. 33% von 3'720 auf 4'961 Wege, wobei der Dämpfungsparameter gegenüber dem Analyse-Zustand von -0.05 auf -0.08 angepasst werden musste, damit die Auslastung der Fahrzeuge realistisch bleibt. Die Nachfrageelastizität bezogen auf die Kosten beträgt hier somit -1.3. Die Anzahl Fahrten pro Fahrzeug ist in zwei Bezirken eher hoch mit 19 Fahrten, in den anderen Bezirken beträgt die maximale Anzahl Fahrten 9. Hier müsste in einem konkreten Anwendungsfall überprüft werden, ob eine Anpassung des Dämpfungsparameters zu noch realistischeren Verteilungen (ohne Ausreisser nach oben) führen kann.

Mit sinkenden Kosten ist zu erwarten, dass das Sharing auch für längere Fahrten eine attraktivere Alternative darzustellen beginnt. Dieser Eindruck bestätigt sich durch die leicht verschobene Weglängenverteilung in Abb. 37 und den Anstieg von deren Mittelwert auf 4.9km (+12.9% gegenüber der Referenz, was einer Elastizität von -0.51 entspricht).

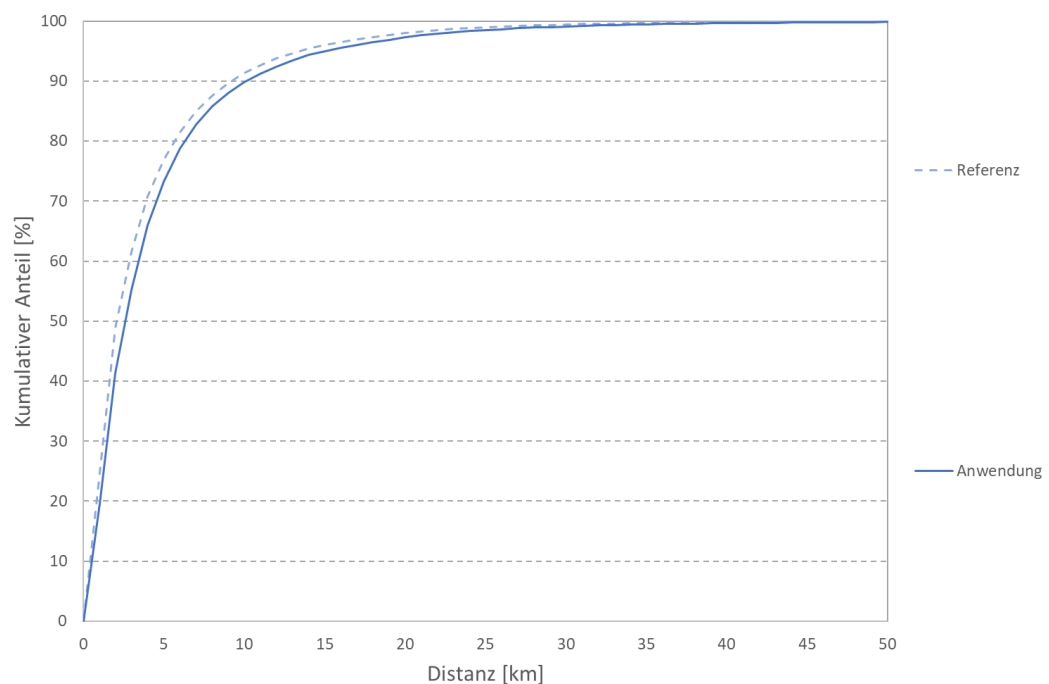


Abb. 37 Anwendungsfall stationsgebundenes Sharing (Reduktion der Kosten um 25%): Distanzverteilung der Sharing-Wege

Die Gesamtfahrleistung der stationsgebundenen Sharing-Fahrten nimmt hier auf 19'834Fzg-km/Tag zu, also um 55.4%. Dieser überproportionale Anstieg (Elastizität von -2.2 bezogen auf die Kosten) ergibt sich aus der Kombination des Netto-Nachfragewachstums (mehr Fahrten) und deren veränderten Struktur (längere Fahrten).

Mit der Reduktion der Kosten um 25% steigt der Quellverkehr in den städtischen Gebieten stark (Abb. 38). Damit geht auch eine Erhöhung der Streckenbelastungen des Modus "Sharing" einher. Es ist auch zu erkennen, dass – durch den verminderten Kostenansatz – vermehrt längere Fahrten (Belastungen der Autobahn) erfolgen als im Analysezustand.

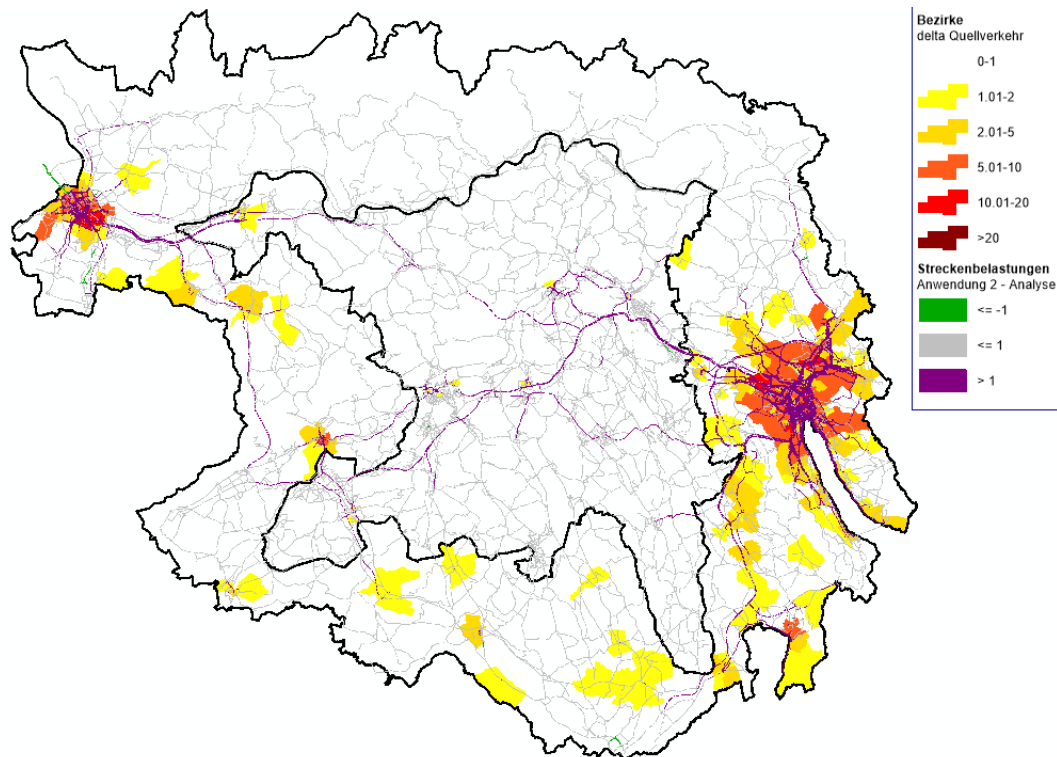


Abb. 38 Anwendungsfall stationsgebundenes Sharing (Reduktion der Kosten um 25%): Vergleich Quellverkehr und Streckenbelastungen mit dem Analysezustand

Free-floating

Die Kosten für das free-floating Car Sharing wurden folgendermassen angepasst:

- Reduktion des kilometerbasierten Ansatzes von 0.30CHF auf 0.225CHF

Die Reduktion des Aufwandes hat wiederum eine bessere Bewertung des Modus zur Folge und die Anzahl der Free-floating-Wege steigt um ca. 35% von 3'720 auf 5'018 Wege (max. Anzahl Fahrten pro Fahrzeug: 8). Dies ergibt eine Nachfrageelastizität von -1.4.

Wie Abb. 39 zeigt, nehmen die Weglängen in diesem Anwendungsfall gegenüber der Referenz leicht zu – um 10.8% auf 10.3km, was einer Elastizität (bezogen auf die Kosten) von -0.43 entspricht.

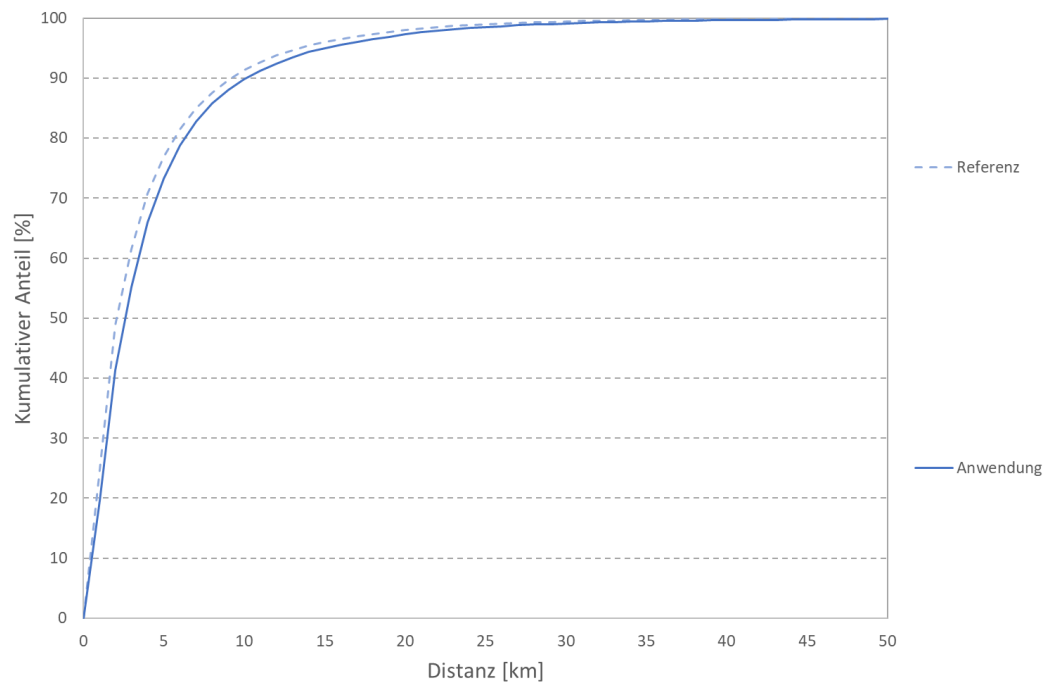


Abb. 39 Anwendungsfall free-floating Sharing (Reduktion der Kosten um 25%): Distanzverteilung der Sharing-Wege

Die Gesamtfahrleistung der free-floating Sharing-Fahrten nimmt hier auf 45'784Fzg-km/Tag zu, also um 55.4%. Dieser überproportionale Anstieg (Elastizität von -2.1 bezogen auf die Kosten) ergibt sich aus der Kombination des Netto-Nachfragewachstums (mehr Fahrten) und deren veränderten Struktur (längere Fahrten).

Hier zeigt sich beim Quellverkehr ein ähnliches Bild wie im Anwendungsfall 1 (Abb. 40). Neben der Zunahme in den Städten erhöht sich der Quellverkehr hier zusätzlich in den ländlichen Gebieten. Es ist klar zu erkennen, dass durch die Reduktion des kilometerbasierten Ansatzes längere Wege zurückgelegt und die Autobahnen stärker belastet werden.

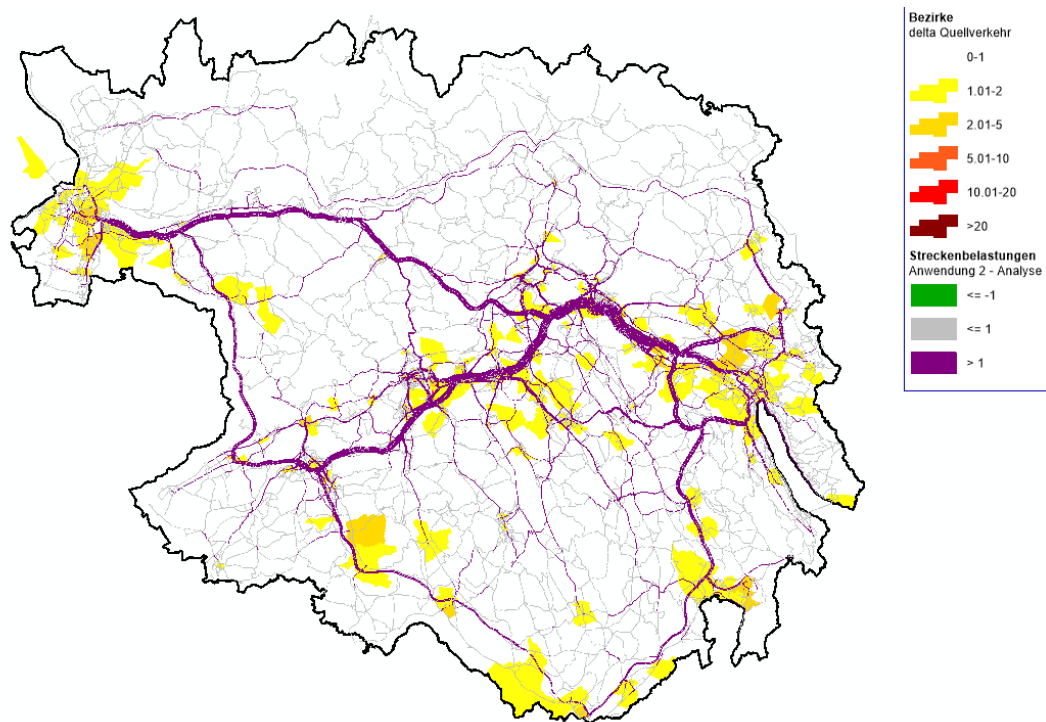


Abb. 40 Anwendungsfall free-floating Sharing (Reduktion der Kosten um 25%): Vergleich Quellverkehr und Streckenbelastungen mit dem Analysezustand

Kombiniert (stationsgebundenes und free-floating Sharing)

Wie oben erwähnt wurden die Kosten für das stationsgebundene Sharing und das Free-floating um 25% reduziert. Die Anzahl der Wege im stationsgebundenen Sharing steigt um ca. 36% von 3'720 auf 5'056, wobei der Dämpfungsparameter gegenüber dem Analyse-Zustand von -0.05 auf -0.08 angepasst werden musste, damit die Auslastung der Fahrzeuge realistisch bleibt. Die Anzahl Fahrten pro Fahrzeug ist in fünf Bezirken eher hoch mit über 10 Fahrten (1 Bezirk über 20 Fahrten), in den anderen Bezirken beträgt die maximale Anzahl Fahrten 9.

Im free-floating Sharing steigt die Anzahl Wege von 3'720 um ca. 35% auf 5'039 (max. Anzahl Fahrten pro Fahrzeug: 9).

Die mittleren Distanzen nehmen auch hier gegenüber der Referenz leicht zu: auf 4.9km (+11.8%, Elastizität von -0.47) im stationsgebundenen und auf 10.3km (+10.2%, Elastizität von -0.41) im free-floating Sharing. Die entsprechenden Weglängenverteilungen sind in Abb. 41 (stationsgebunden) und Abb. 42 (Free-floating) dargestellt.

Bei den Fahrleistungen ist im stationsgebundenen Sharing eine Zunahme auf 19'979 Fzg-km/Tag (+56.5%, Elastizität von -2.3) und im free-floating Sharing ein Anstieg auf 45'717 Fzg-km/Tag (+51.2%, Elastizität von -2.0) zu verzeichnen.

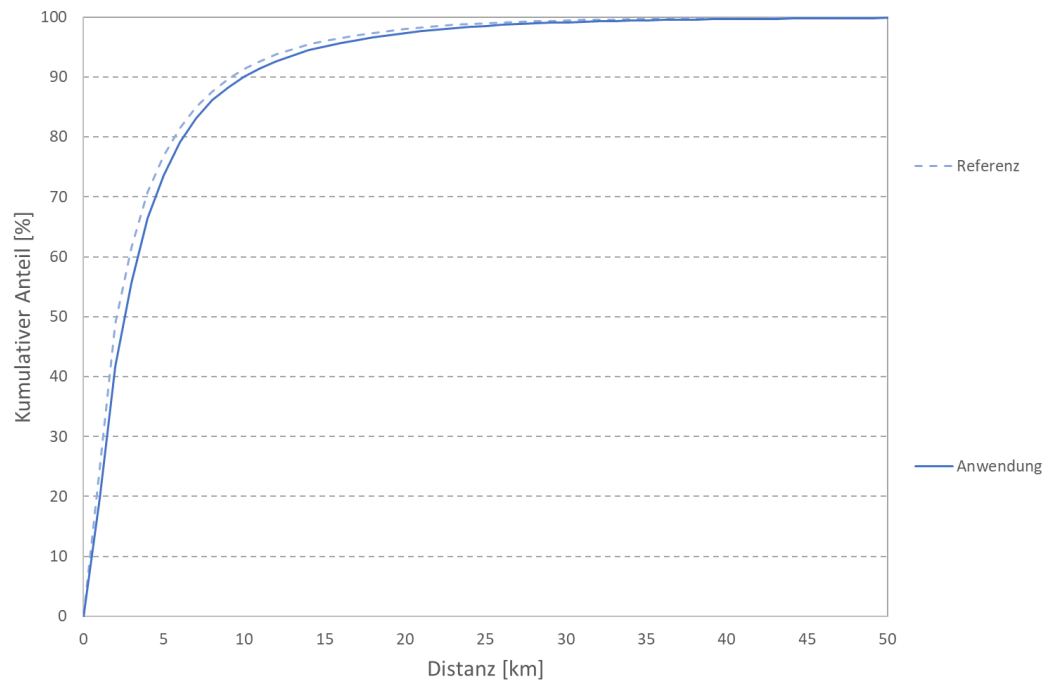


Abb. 41 Anwendungsfall kombiniert (Reduktion der Kosten um 25%): Distanzverteilung der stationsgebundenen Sharing-Wege

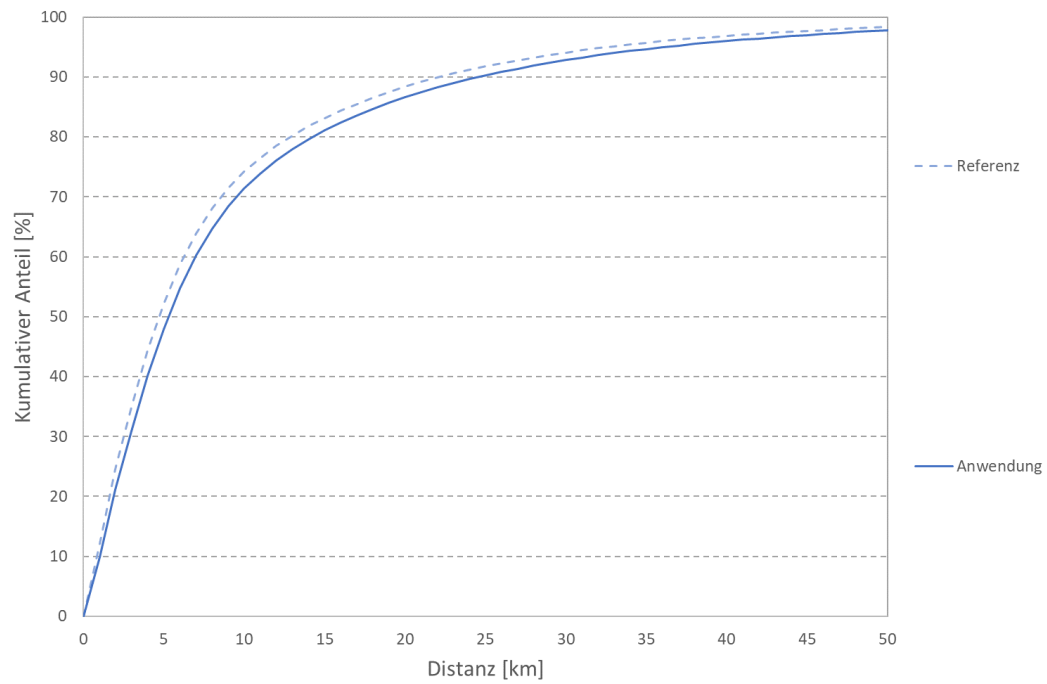


Abb. 42 Anwendungsfall kombiniert (Reduktion der Kosten um 25%): Distanzverteilung der free-floating Sharing-Wege

5.3 Erhöhung Anzahl Fahrzeuge und Reduktion Kosten

Stationsgebundenes Sharing

Wie in 5.1 und in 5.2 beschrieben wurden die Anzahl verfügbarer Fahrzeuge verdoppelt und die Kosten um 25% gesenkt. Dies bewirkt eine bessere Bewertung des Modus Sharing und die Anzahl Wege steigt um ca. 77% von 3'720 auf 6'599, wobei der Dämpfungsparameter gegenüber dem Analyse-Zustand von -0.05 auf -0.08 angepasst werden musste, damit die Auslastung der Fahrzeuge realistisch bleibt. Die Anzahl Fahrten pro Fahrzeug ist in zwei Bezirken eher hoch mit über 10 Fahrten, in den anderen Bezirken beträgt die maximale Anzahl Fahrten 7.

Die Weglängen werden gegenüber dem Referenzfall leicht länger (im Mittel 4.7km, +7.4% gegenüber der Referenz), werden aber gegenüber der Anwendung mit alleiniger Kostenreduktion wieder leicht gedämpft – die zusätzlichen Fahrzeuge nehmen hier somit wiederum eher kurze Fahrten auf, eventuell weil der Bedarf nach längeren Fahrten bzw. deren Potenzial bereits ausgeschöpft ist (cf. Abb. 41).

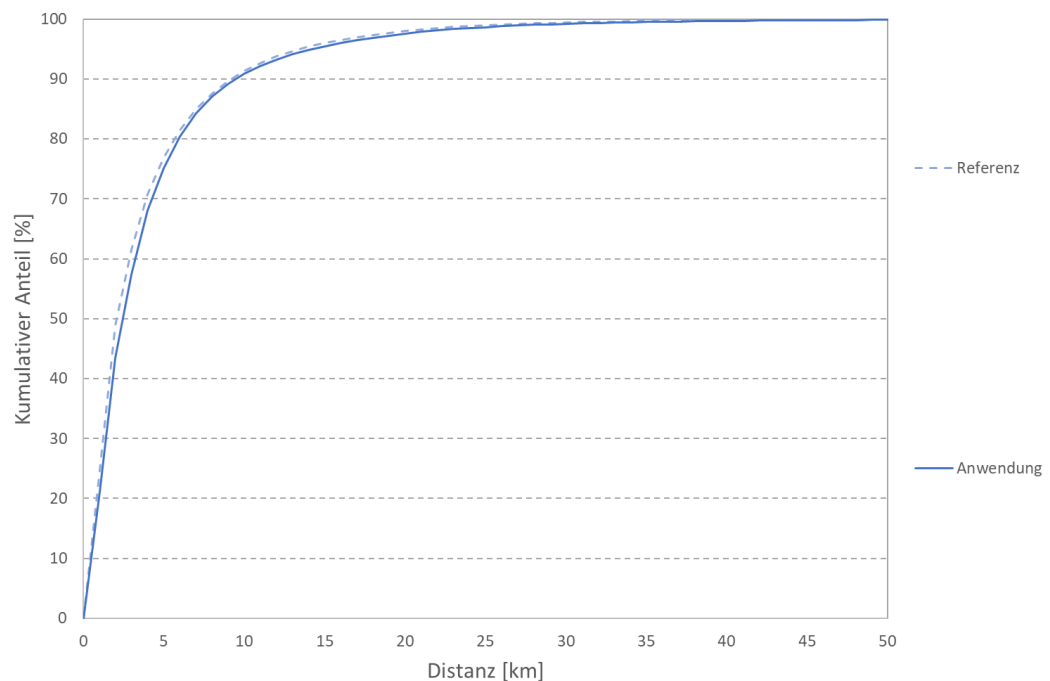


Abb. 43 Anwendungsfall stationsgebundenes Sharing (Verdopplung der Anzahl Fahrzeuge und Reduktion der Kosten um 25%): Distanzverteilung der Sharing-Wege

Aus der Kombination der beiden Einflussfaktoren (Kapazität und Kosten) und der daraus resultierenden Erhöhung der Gesamtnachfrage und der mittleren Weglängen ergibt sich hier ein Wachstum der Gesamtfahrleistung der stationsgebundenen Sharing-Fahrten auf 24'806Fzg-km/Tag, also um 94.4%.

Mit der Kombination der Massnahmen – Verdopplung der Anzahl Fahrzeuge und Reduktion der Kosten – verstärkt sich der Effekt nochmals, wie *Abb. 44* zeigt. Wiederum vor allem in den städtischen Gebieten steigt der Quellverkehr aber in diesem Fall erfolgt auch eine leichte Zunahme des Quellverkehrs in den ländlichen Gebieten. Auch hier ist die verstärkte Belastung auf der Autobahn zu erkennen.

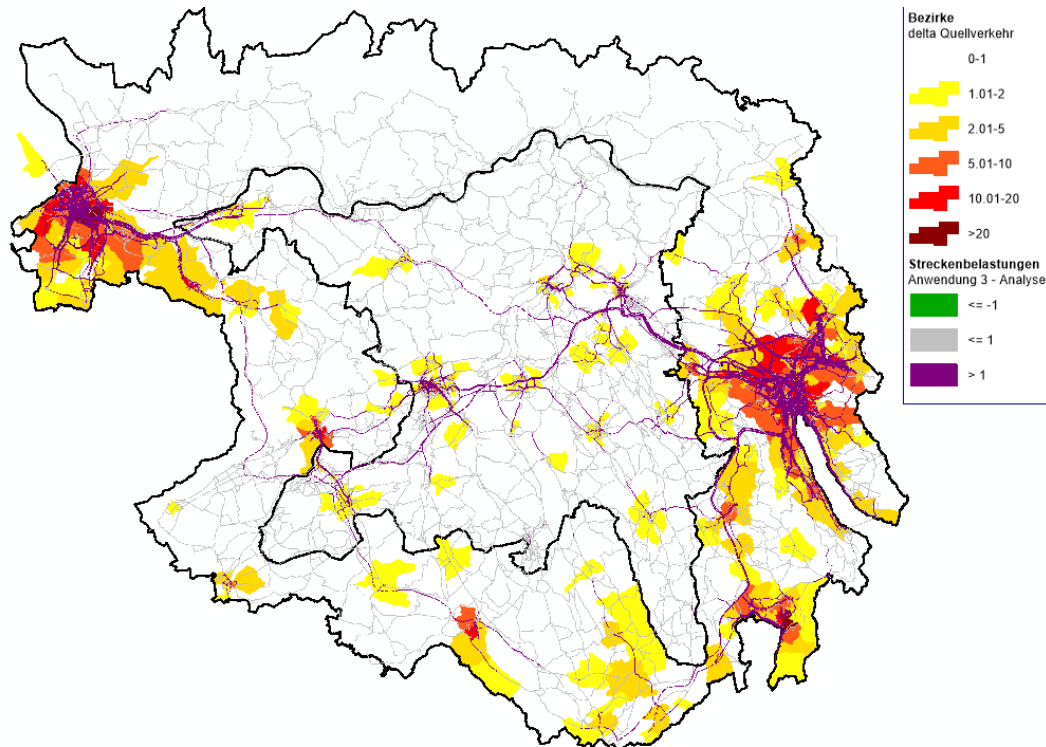


Abb. 44 Anwendungsfall stationsgebundenes Sharing (Verdopplung der Anzahl Fahrzeuge und Reduktion der Kosten um 25%): Vergleich Quellverkehr und Streckenbelastungen mit dem Analysezustand

Free-floating

Wie in 5.1 und in 5.2 beschrieben wurden die Anzahl verfügbarer Fahrzeuge verdoppelt und die Kosten um 25% gesenkt. Dies bewirkt eine bessere Bewertung des Modus Free-floating und die Anzahl Wege steigt um ca. 57% von 3'720 auf 5'849 (max. Anzahl Fahrten pro Fahrzeug: 7).

Wie beim stationsgebundenen Sharing liegt auch hier die mittlere Weglänge von 10.0km (+7.5%) und deren Verteilung (cf. Abb. 45) zwischen der Referenz und dem Anwendungsfall mit alleiniger Reduktion der Kosten. Die durch das vergrößerte Angebot zusätzlich generierten Fahrten füllen also auch hier wiederum die kürzeren Distanzen auf und führen damit eine Dämpfung der Erhöhung der Weglängen herbei.

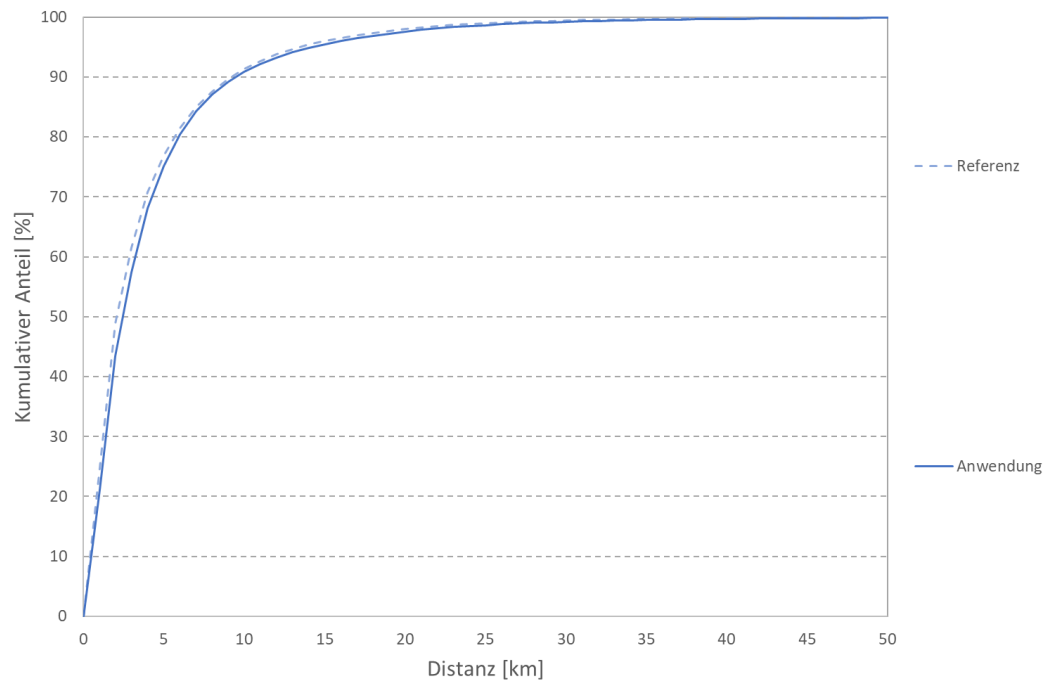


Abb. 45 Anwendungsfall free-floating Sharing (Verdopplung der Anzahl Fahrzeuge und Reduktion der Kosten um 25%): Distanzverteilung der Sharing-Wege

Aus der Kombination der beiden Einflussfaktoren (Kapazität und Kosten) und der daraus resultierenden Erhöhung der Gesamtnachfrage und der mittleren Weglängen ergibt sich hier ein Wachstum der Gesamtfahrleistung der free floating Sharing-Fahrten auf 51'571Fzg-km/Tag, also um 70.5%.

Mit der Kombination der Massnahmen – Verdopplung der Anzahl Fahrzeuge und Reduktion der Kosten – verstärkt sich der Effekt nochmals, wie aus Abb. 46 ersichtlich ist. Der Quellverkehr nimmt nun sowohl in den städtischen als auch in den ländlichen Gebieten zu. Auch hier ist die verstärkte Belastung auf der Autobahn zu erkennen.

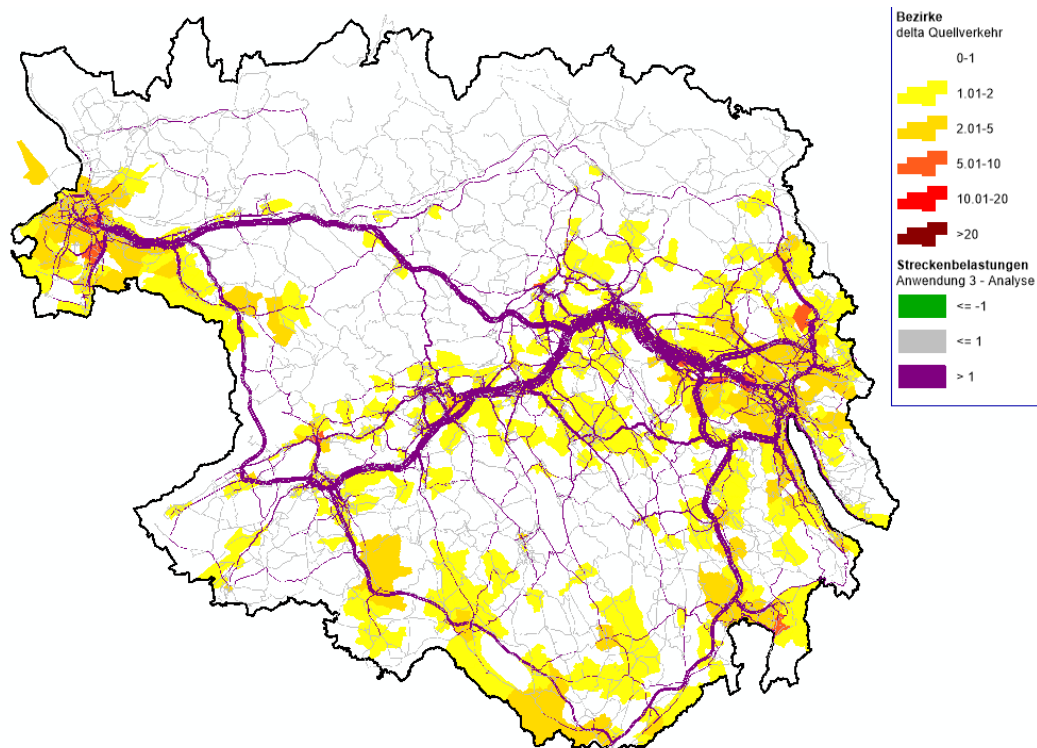


Abb. 46 Anwendungsfall free-floating Sharing (Verdopplung der Anzahl Fahrzeuge und Reduktion der Kosten um 25%): Vergleich Quellverkehr und Streckenbelastungen mit dem Analysezustand

Kombiniert (stationsgebundenes und free-floating Sharing)

Wie in 5.1 und in 5.2 beschrieben wurden die Anzahl verfügbarer Fahrzeuge verdoppelt und die Kosten um 25% gesenkt. Die Anzahl der Wege im stationsgebundenen Sharing steigt um ca. 36% von 3'720 auf 5'060, wobei der Dämpfungsparameter gegenüber dem Analyse-Zustand von -0.05 auf -0.08 angepasst werden musste, damit die Auslastung der Fahrzeuge realistisch bleibt. Die Anzahl Fahrten pro Fahrzeug ist in fünf Bezirken eher hoch mit über 10 Fahrten (1 Bezirk über 20 Fahrten), in den anderen Bezirken beträgt die maximale Anzahl Fahrten 9.

Im Free-floating steigt die Anzahl Wege von 3'720 um ca. 57% auf 5'825. Die Anzahl Fahrten pro Fahrzeug ist in einem Bezirk eher hoch mit über 10, in den anderen Bezirken beträgt die maximale Anzahl Fahrten 9.

Bei den gefahrenen Distanzen ist hier derselbe Effekt zu erkennen wie bei den Anwendungen für die einzelnen Sharing-Typen: höhere Werte als in der Referenz, aber Dämpfung gegenüber der Anwendung mit alleiniger Kostenreduktion. Die Mittelwerte liegen beim stationsgebundenen Sharing bei 4.9km (+11.8%; Verteilung in Abb. 47) und im free-floating Sharing bei 10.0km (+7.2%; Verteilung in Abb. 48).

Die Fahrleistungen steigen im stationsgebundenen Sharing um 56.6% auf 19'990Fzg-km/Tag und im free-floating Sharing um 69.3% auf 51'203Fzg-km/Tag.

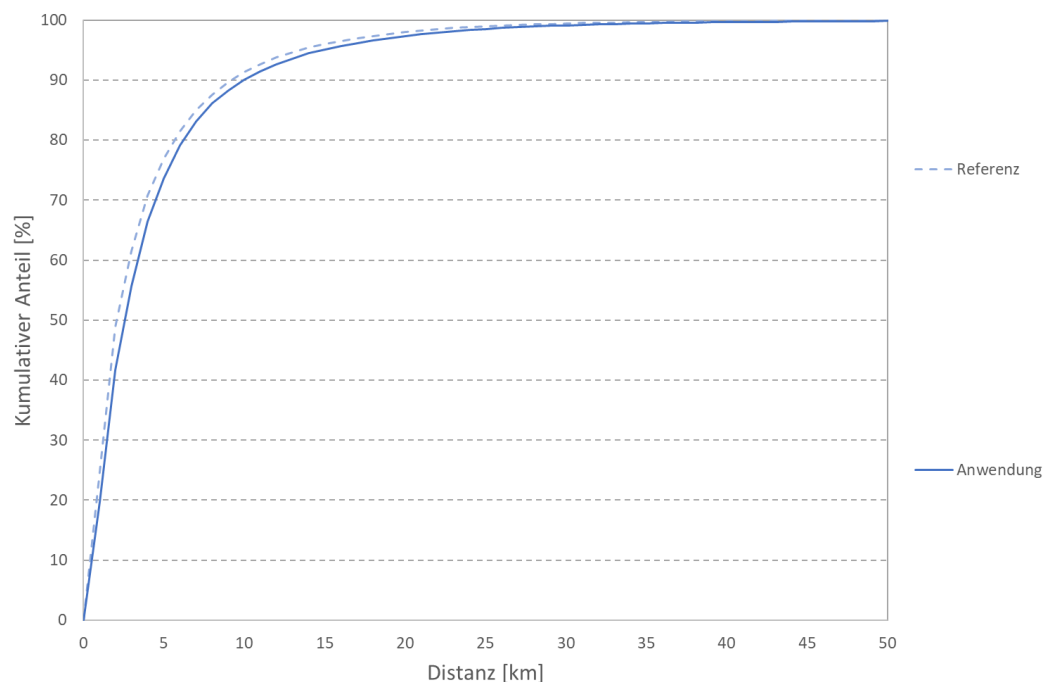


Abb. 47 Anwendungsfall kombiniert (Verdopplung der Anzahl Fahrzeuge und Reduktion der Kosten um 25%): Distanzverteilung der stationsgebundenen Sharing-Wege

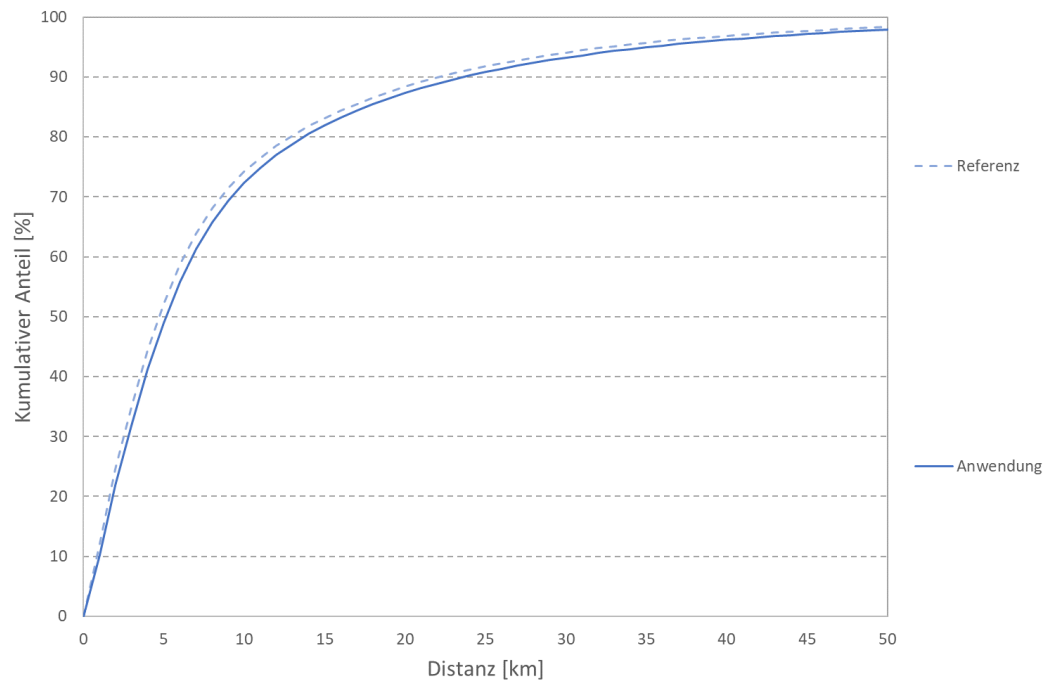


Abb. 48 Anwendungsfall kombiniert (Verdopplung der Anzahl Fahrzeuge und Reduktion der Kosten um 25%): Distanzverteilung der free-floating Sharing-Wege

5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Tab. 7 enthält die Zusammenfassung der Ergebnisse der Modellanwendungen in Bezug auf die Gesamtnachfrage nach Sharing-Wegen. Es kann zusammengefasst werden, dass beide Massnahmen – sowohl die Erhöhung des Angebots als auch die Reduktion der Kosten – positive Einflüsse auf die Nachfrage für den jeweiligen Modus haben. Einzeln betrachtet hat der Kostenfaktor eine höhere Wirkung als die alleinige Angebotsverbesserung. Dies ist vor allem beim free-floating Sharing zu beobachten: Das verbesserte Angebot bringt eine Nachfrageerhöhung von gut 20%, die Kostenreduktion eine Nachfrageerhöhung von knapp 35% und die Kombination davon ergibt eine erhöhte Nachfrage von gut 55%.

Beim stationsgebundenen Sharing liegen die Wachstumszahlen im kombinierten Anwendungsfall tiefer als bei einer Verbesserung des Einzelangebots. Dies ist der Substitution mit dem free-floating Sharing geschuldet und insofern plausibel, dass Letzteres insgesamt ein attraktiveres Angebot für die Nutzenden darstellt (tiefere Kosten und flexiblere Nutzung). Ein Teil des Wachstumspotenzials des stationsgebundenen Sharings wird hier also von der free-floating Alternative übernommen. Dass das stationsgebundene Sharing im kombinierten Szenario dennoch ein Wachstum aufweist, zeigt, dass es als Ergänzung zum ÖV und für kürzere Wege durchaus immer noch eine attraktive Alternative darstellen kann.

Tab. 7 Resultierende Anzahl Wege je Sharing-Modus und Anwendungsfall

Anwendungsfall	Szenario	Wege			
		stationsbasiert		free-floating	
stationsbasiert (sb)	Analyse	3'720			
	Verdopplung Anzahl Fahrzeuge	4'551	(+22.3%)		
	Kosten -25%	4'961	(+33.4%)		
	kombiniert	6'599	(+77.4%)		
free floating (ff)	Analyse			3'720	
	Verdopplung Anzahl Fahrzeuge			4'499	(+20.9%)
	Kosten -25%			5'018	(+34.9%)
	kombiniert			5'849	(+57.2%)
kombiniert (sb & ff)	Analyse	3'720		3'720	
	Verdopplung Anzahl Fahrzeuge	4'195	(+12.8%)	4'477	(+20.3%)
	Kosten -25%	5'056	(+35.9%)	5'039	(+35.5%)
	kombiniert	5'060	(+36.0%)	5'825	(+56.6%)

Tab. 8 zeigt die aus den Anwendungsfällen resultierenden mittleren Weglängen für die beiden Sharing-Modi. Hier ist ersichtlich, dass die Wegestruktur bei einem reinen Ausbau des Angebots in etwa gleichbleibt, bei einer Reduktion der Kostensätze die gefahrenen Distanzen jedoch zunehmen. Auch dies war so zu erwarten, da tiefere Kilometerkosten natürlich eine erhöhte Attraktivität für längere Fahrten bewirken.

Tab. 8 Mittlere Weglängen je Sharing-Modus und Anwendungsfall

Anwendungsfall	Szenario	Mittlere Distanz [km]	
		stationsbasiert	free-floating
Stationsbasiert (sb)	Analyse	4.4	
	Verdopplung Anzahl Fahrzeuge	4.5 (+2.8%)	
	Kosten -25%	4.9 (+12.9%)	
	kombiniert	4.7 (+7.4%)	
free-floating (ff)	Analyse		9.3
	Verdopplung Anzahl Fahrzeuge		9.0 (-3.9%)
	Kosten -25%		10.3 (+10.8%)
	kombiniert		10.0 (+7.5%)
kombiniert (sb & ff)	Analyse	4.4	9.3
	Verdopplung Anzahl Fahrzeuge	4.3 (-2.2%)	8.9 (-4.1%)
	Kosten -25%	4.9 (+11.8%)	10.3 (+10.2%)
	kombiniert	4.9 (+11.8%)	10.0 (+7.2%)

Eine Übersicht der Weglängenverteilungen ist in Abb. 49 zu sehen. Hier sind die Verteilungen für die Referenzfälle "stationsgebunden" und "free-floating" sowie jeweils für die Anwendung mit der Kostenreduktion um 25% dargestellt. Ebenfalls ersichtlich ist die Verteilung der Distanzen für den privaten PW.

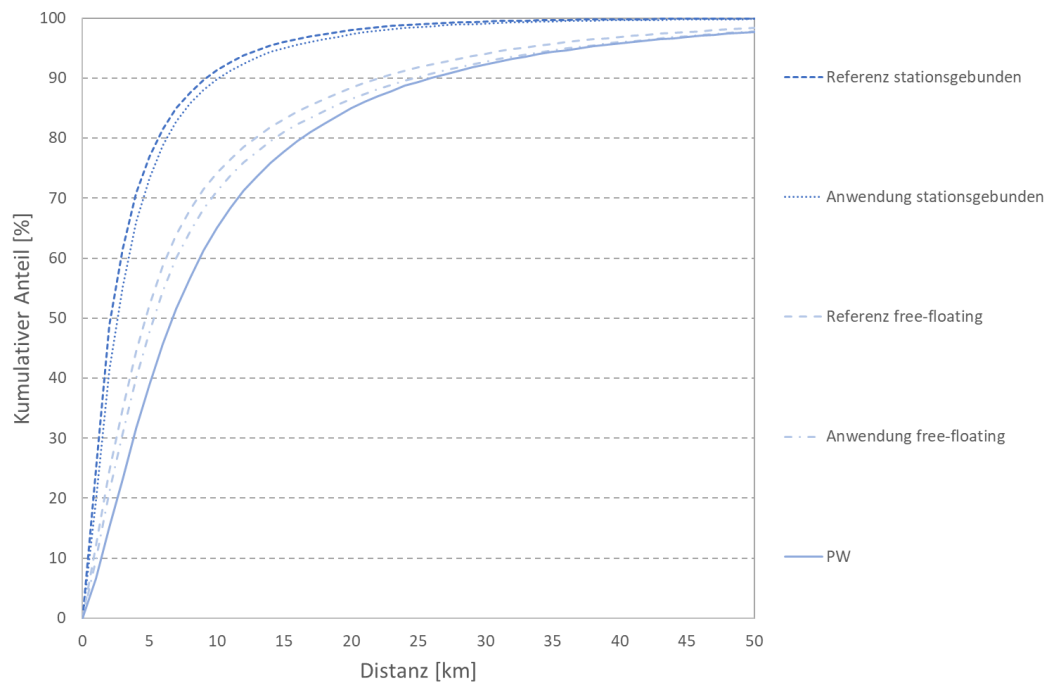


Abb. 49 Anwendungsfälle: Distanzverteilung der Sharing-Wege

Die Übersicht der sich in den Anwendungen ergebenden Gesamtfahrleistungen im Netz pro Modus ist aus Tab. 9 ersichtlich.

Tab. 9 Fahrleistungen je Sharing-Modus und Anwendungsfall

Anwendungsfall	Szenario	Fahrleistung [Fzg-km/Tag]			
		stationsbasiert		free-floating	
Stationsbasiert (sb)	Analyse	12'763			
	Verdopplung Anzahl Fahrzeuge	15'987	(+25.3%)		
	Kosten -25%	19'834	(+55.4%)		
	kombiniert	24'806	(+94.4%)		
free-floating (ff)	Analyse			30'239	
	Verdopplung Anzahl Fahrzeuge			34'972	(+15.7%)
	Kosten -25%			45'784	(+51.4%)
	kombiniert			51'571	(+70.5%)
kombiniert (sb & ff)	Analyse	12'763		30'239	
	Verdopplung Anzahl Fahrzeuge	13'975	(+9.5%)	34'684	(+14.7%)
	Kosten -25%	19'979	(+56.5%)	45'717	(+51.2%)
	kombiniert	19'990	(+56.6%)	51'203	(+69.3%)

Insgesamt können die Ergebnisse der Modellanwendungen als plausibel angesehen werden, und die damit angestrebte Validierung der Modellerweiterungen im Bereich Sharing war somit erfolgreich.

6 Schlussfolgerungen, Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

6.1 Ergebnisse und Zielerreichung

Die Ziele der Forschungsarbeit wurden erreicht, da aufgezeigt werden konnte, dass Sharing-Systeme in makroskopischen Modellen in ihrer Grundfunktionalität abbildbar sind und deren Nachfrage einerseits für den Ist-Zustand auf verfügbare Kennzahlen kalibriert werden kann und andererseits auch in Anwendungen plausible Ergebnisse resultieren. Die in der Schweiz gängigen Verkehrsnachfrage- und -umlegungsmodelle können also mit dem entsprechenden Fachwissen so modifiziert werden, dass Aussagen über die Nachfrage nach Sharing-Fahrten getroffen werden können. Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass sowohl stationsgebundene als auch free-floating Systeme modellierbar sind. Beim Ride Pooling war die gewählte Methode mit der flexiblen Abbildung der Besetzungsgrade ebenfalls erfolgreich und kann beliebig um weitere Einflussgrößen erweitert und für die Berechnung von Prognoseanwendungen verwendet werden. Für praktische Anwendungen wären hier aber entsprechende empirische Grundlagen sowie Erhebungen zu den Angebotsmerkmalen, wie z.B. Kosten und Affinitäten, wichtige Voraussetzungen.

Den Umständen der sehr eingeschränkten Datenverfügbarkeit geschuldet, konnten die Analyse-Modelle nicht vollumfänglich, bzw. im selben Masse wie für die bereits in den Modellen existierenden Modi, auf empirische Kennzahlen geeicht werden. Dies ist jedoch modelltechnisch möglich und kann erfolgen, falls künftig eine Erhebung der in Abschnitt 3.3 aufgelisteten Daten oder eines Teils davon möglich wird. Zu priorisieren wären hier zunächst Daten zu den gesamthaft unternommenen Fahrten, um die Modal-Split-Anteile des Sharings (nach Fahrtzweck) besser abschätzen zu können. Details zur Struktur der Fahrten (z.B. Weglängen) sowie entsprechende Verhaltensparameter (Kostenbewertung, Pooling-Affinitäten etc.) wären hier ebenfalls zu erheben und validieren.

Hier wäre die öffentliche Hand gefragt, um einerseits bei den Betreibern der Sharing-Systeme deren Nutzerdaten zu beschaffen. Die Nutzung der öffentlichen Infrastruktur durch die Sharing-Systeme und die gleichzeitige Unkenntnis über deren effektive Verwendung stehen hier in einem Missverhältnis, welches so aufzulösen wäre. Andererseits wäre auch die Finanzierung weiterer Forschung zum Verhalten der Verkehrsteilnehmer im Sharing-Segment hilfreich, um die entsprechenden Erkenntnisse zu vertiefen und auch in den Verkehrsmodellen einsetzen zu können.

Die Grundlagen zur Modellierung von Sharing-Systemen wurden also mit der vorliegenden Arbeit gelegt; inwiefern die praktische Anwendung der Verkehrsmodelle diese Systeme künftig standardmässig einbinden wird, bleibt jedoch aufgrund deren gegenwärtig sehr geringen Anteile an der Gesamtverkehrsnachfrage fraglich. Sharing-Angebote mit ähnlichen Strukturen – insbesondere betreffend die Kosten – wie die heute existierenden dürften auch in Zukunft nur punktuell und für sehr ausgewählte Wege attraktiv sein und somit eher ein Nischenprodukt bleiben.

Bei spezifischen Fragestellungen der Betreiber im Kontext der Feinjustierung deren Angebote müsste im Einzelfall entschieden werden, ob die hier angewandte Methodik der Vereinfachung der betrieblichen Zusammenhänge geeignet oder räumlich zu grob aufgelöst ist. In letzterem Fall könnte dann beispielsweise ein auf den speziellen Untersuchungsfall zugeschnittenes generisches (Verkehrs-)Modell zum Einsatz kommen und die gewünschten Ergebnisse pragmatischer und schneller liefern als ein eigens umgebautes synthetisches Modell. Eine Aufstellung entsprechender Ansätze, aus welchen der für die jeweilige konkrete Fragestellung geeignetste selektiert werden muss, wurde in der momentan im Abschluss befindlichen SVI-Studie 2018/008 (Rieser *et al.*, 2021) erarbeitet. Auch diese Ansätze bedürfen jedoch entsprechender Datengrundlagen für eine plausible Parametrisierung und Ableitung von Ergebnissen und erfordern damit einhergehend auch ein entsprechendes Zeit- und Geldbudget.

Für Aussagen über die allgemeine Nutzung auf Städte- oder regionaler Ebene ist der hier vorgestellte Ansatz aber gut geeignet, und er würde zusätzlich von der Versorgung mit entsprechenden Datengrundlagen profitieren. Derart verbessert kalibrierte Modelle könnten und sollten dann auch für verlässliche Mittel- und Langfristprognosen der Nutzung von Sharing-Systemen angewandt werden.

Somit konnten die notwendigen Erweiterungen bei der Implementierung von Sharing-Angeboten in Makromodellen entwickelt und validiert werden. Auch beim Pooling (im privaten Bereich) konnte die Funktionalität des Ansatzes nachgewiesen werden, wenngleich hier keine konkrete Anwendung gerechnet wurde. Anwendungen zum Pooling bedürfen konkreter Angaben zur Ausgestaltung von Anreizen und Potenzialen für die Bündelung von Fahrten, welche hier nicht im Vordergrund stehen.

Durch die unvollständigen bzw. fehlenden Nachfrage- und Verhaltensdaten konnte eine genauere Bewertung der Nutzenkomponenten und die damit verbundene Eichung des Nachfragemodells (inkl. Kalibrierungswerten für die Modellanwendungen) nicht vollständig eruiert werden.

6.2 Weiterer Forschungsbedarf und Ausblick

Wie jedes Modell hat jedoch auch die Abbildung von Sharing-Angeboten in makroskopischen Verkehrsmodellen ihre Grenzen. Aus der Forschungsarbeit ergeben sich, neben verstärkten Bemühungen um ausreichend gute empirische Datenquellen, insbesondere folgende Ebenen, auf welchen weiterer methodischer Forschungsbedarf besteht, um die Makromodelle in dieser Hinsicht weiterzuentwickeln:

- Abbildung multimodaler Wege:

Wege, bei welchen beispielsweise die Zufahrt zu einem Bahnhof mit einem Sharing-Fahrzeug durchgeführt wird, die Bahn jedoch das Hauptverkehrsmittel für die Erreichung des Ziels ist (oder umgekehrt, im Sinne einer "Last Mile"-Erschließung per Sharing-Fahrt), werden in den heute gängigen Modellen nicht explizit abgebildet (sind aber implizit in den Zonenanbindungen enthalten). Bei Vorliegen einer entsprechenden Datengrundlage zu den Modal-Split-Verhältnissen (und den Distanzverteilungen) der entsprechenden Zugangsetappen (Fuss, Velo, eigener PW, Sharing-Fahrzeug) könnten die Modelle jedoch entsprechend kalibriert werden. Auch gegenwärtig wird dies bereits teilweise berücksichtigt, indem längeren Anbindungsetappen höhere Geschwindigkeiten zugewiesen werden, da diese wahrscheinlicher mit dem Velo oder PW zurückgelegt werden. Es ist jedoch zu erwarten, dass, zumindest bei der gegenwärtigen Ausgestaltung der stationsbasierten Sharing-Angebote, die Anteile dieser Etappen minimal sein dürften. Dies insbesondere, weil die Kosten einer solchen Nutzung eines Sharing-Fahrzeugs unverhältnismässig wären – wenn z.B. eine Zufahrtsetappe zum Bahnhof oder eine Wegbringeretappe vom Bahnhof zum Ziel des Weges zurückgelegt wird und das Fahrzeug dann über einen längeren Zeitraum an einem Ort stehen gelassen wird, muss diese Dauer durch den Nutzer gezahlt werden, ohne dass er einen Nutzen daraus zieht. Sinnvoll wären solche Fahrten allenfalls für Geschäftsfahrten, wo der Zeitgewinn der Nutzung des Sharing-Fahrzeugs dessen zusätzliche Kosten (welche in der Regel dann nicht vom Nutzer selber gezahlt werden) überwiegt.

Im Nachfragemodell bzw. den dort hinterlegten Modal-Split-Anteilen sind aus Konsistenzgründen jedoch nur jene Wege hinterlegt, welche vollumfänglich mit Sharing-Fahrzeugen zurückgelegt werden. Auf dieser Ebene ist eine Trennung der multimodalen Wege auch nicht sinnvoll; durch eine Trennung bei der Auswertung entsprechender Daten und die Filtrierung von Zufahrtsetappen könnten diese jedoch wie erwähnt genauer abgebildet bzw. kalibriert werden. Für die Übertragung in ein Prognosemodell müsste dann entsprechend auch der erwartete Modal Split der Zubringeretappen im Modell angepasst werden. Die entsprechende Methodik könnte auch auf andere Zubringer-Arten (z.B. Velo-Etappen) übertragen werden.

- Abbildung von Touren bzw. der Fahrzeugverfügbarkeit über den Tag:

Die Abbildung der Verfügbarkeit von Sharing-Fahrzeugen und deren Bewertung im Nachfragemodell ist statisch, bzw. verwendet Tageswerte. Eine disaggregierte Betrachtung mit einer dynamischen Berechnung der Fahrzeugverfügbarkeit an einem konkreten Standort (insb. bei free floating Sharing, bei welchem vermehrt "asymmetrische" Touren mit nur einem Weg zurückgelegt werden) wäre wünschenswert und würde die Einteilung des Modells in Zeitscheiben mit zu definierender Länge bedingen. Dies wäre mit einem makroskopischen Verkehrsmodell zu bewerkstelligen, jedoch nur mit einer grundlegenden Veränderung der Struktur der Modelle an sich, welche mit einem entsprechenden den zu erwartenden Nutzen deutlich übersteigenden Aufwand verbunden wäre. Die hier verwendeten Dämpfungsparameter sind hingegen zweckmässig und bilden die durchschnittlichen Angebotsverhältnisse über einen Tag (welcher im Nachfragemodell abgebildet wird) adäquat ab, müssten jedoch anhand einer geeigneten Datengrundlage entsprechend validiert bzw. kalibriert werden.

- Fokus auf Angebotskenngrößen:

Die Bewertung der Verkehrsmittel-Alternativen im Nachfragemodell fokussiert naturgemäss auf die Ausgestaltung des Angebots, d.h. insbesondere die Fahrtzeiten und Kosten. Interessant wäre eine Untersuchung weiterer Faktoren, z.B. der Zusammensetzung der Sharing-Fahrzeugflotte, von Haushaltseigenschaften etc. Solche Aussagen bedürfen jedoch wiederum einerseits einer geeigneten Datengrundlage für die Ableitung der Effekte, andererseits sind sie auf der aggregierten Ebene, auf welcher makroskopische Modelle beruhen, nicht immer einfach umsetzbar. Die Abbildung über Anteile von Gruppen ist jedoch möglich und würde zu ausreichend guten Ergebnissen führen, wenn die erwähnten Vorarbeiten (Ableitung der Parameter aus geeigneten Datenquellen) vorliegen würden.

- Abbildung langfristiger Entscheidungen:

Im vorliegenden Kontext steht hier insbesondere die Wahl der Mobilitätswerkzeuge, und insbesondere die Abwägung zwischen Sharing-Verfügbarkeit und Verzicht auf einen eigenen PW, im Vordergrund. Wenn beispielsweise die "Sockelkosten" (Anschaffung, Unterhalt etc.) für den privaten PW sich verändern, hat dies einerseits einen direkten Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl, andererseits jedoch auch auf die PW-Verfügbarkeit (und über diese nochmals auf die aus dem Modell resultierenden Nachfrageverhältnisse). Auch hier fehlen in der Schweiz seit geraumer Zeit Forschungsergebnisse, welche Sharing-Angebote explizit einschliessen (die letzte Forschung, die sich eingehend wissenschaftlich mit der Thematik auseinandergesetzt hat, ist die Dissertation von Beige, 2008). Hier wäre also eine neue geeignete Datenerhebung zu konzipieren und Auszuwerten, um entsprechende Rückkopplungen auch in Verkehrsmodellen umsetzen zu können.

- Bündelung von Fahrten beim Pooling:

Bei der Bündelung von Fahrten wird hier, im Sinne einer allgemein verwendbaren Lösung, das Potenzial grob über die Gesamtnachfrage pro Quelle-Ziel-Beziehung abgeschätzt. Dies entspricht nicht in allen Anwendungsfällen der Realität, da je nach Ausgestaltung eines Angebots auch Umwege gefahren werden können oder nicht alle Wege für ein Pooling in Frage kommen. Hier wäre anhand der konkreten Anwendung zu entscheiden, welche Fahrten(bündel) betrachtet werden sollen und wie das Potenzial berechnet wird. Die modellstrukturelle Grundlage für solche Überlegungen steht mit den hier abgeschlossenen Arbeiten zur Verfügung.

Es sei jedoch auch hier nochmals betont, dass Umsetzung der genannten Punkte nicht an der technischen Funktionalität der makroskopischen Modelle scheitert, sondern an der Verfügbarkeit entsprechender empirischer Grundlagen für deren Kalibration.

Glossar

Begriff	Bedeutung
Bezirk	auch Verkehrszelle – in einem makroskopischen Verkehrsmodell die Raumeinheit, auf welche die Strukturgrössen aggregiert und für welche die Verkehrsnachfrage berechnet wird
Car Sharing	Nutzung von PWs, welche sich nicht im Privatbesitz der Nutzer befinden, sondern von einem Anbieter für kurze Nutzungsdauern entgeltlich zur Verfügung gestellt werden
EVA	Ansatz für die Modellierung der Verkehrsnachfrage (Erzeugung, Verteilung, Aufteilung)
KVM AG	Kantonales Verkehrsmodell Aargau
MZMV	Mikrozensus Mobilität und Verkehr
QGIS	Open Source GIS-Anwendung
QZG	Quelle-Ziel-Gruppe – in einem makroskopischen Verkehrsnachfragemodell nach dem EVA-Ansatz ein Aktivitätenpaar, für welches die Nachfrage (Verkehrserzeugung, Ziel- und Verkehrsmittelwahl) abgebildet wird
Ride Pooling	Bildung von Fahrgemeinschaften durch Einzelpersonen
Visum	Verkehrsmodellierungssoftware der PTV AG

Literaturverzeichnis

Balac M., Ciari F. und KW Axhausen (2016) Carsharing demand estimation Zurich, *Transportation Research Record*, **2563**, 10-18.

Becker, H., Ciari F. und K.W. Axhausen (2016) Analyse und Modellierung des Mobility-Pilotprojekts zu freefloating Car Sharing, Arbeitsbericht, IVT ETH Zürich.

Beige, S. (2008) Long-term and mid-term mobility decisions during the life course, *Dissertation*, ETH Zürich, Zürich.

Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Raumentwicklung (2017) Verkehrsverhalten der Bevölkerung. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015. BFS/ARE, Neuchâtel.

Ciari, F. (2012) Sharing as a key to rethink urban mobility: Investigating and modelling 25 innovative transport systems, Ph.D. Thesis, ETH Zurich, Zurich. 26 23.

Ciari, F., N. Schuessler und K. W. Axhausen (2013) Estimation of carsharing demand using an activity-based microsimulation approach: Model discussion and some results, *International Journal of Sustainable Transportation*, **7** (1) 70–84, 29 24.

Ciari, F., C. Weis und M. Balac (2015) Evaluating the influence of carsharing stations' location on potential membership: a Swiss case study, *EURO Journal on Transportation and Logistics*.

De Lorimier, A. und A. M. El-Geneidy (2013) Understanding the factors affecting vehicle usage and availability in carsharing networks: A case study of communauto carsharing system from Montréal, Canada, *International Journal of Sustainable Transportation*, **7** (1) 23, 35–51.

Deutsch V. (2018) Weniger oder mehr Verkehr – Auswirkungen von Uber, Lyft & Co. auf das Verkehrsaufkommen in Städten, *Strassenverkehrstechnik* (11) 815-818.

Haefeli, U., D. Matti, C. Schreyer und M. Maibach (2006) Evaluation Car-Sharing, BFE, Bern.

Jermann, J. (2019) Ride-Pooling – Verkehrliche Wirkung und rechtliche Basis, *Masterarbeit MAS "Mobilität der Zukunft"*, ETH Zürich, Zürich.

Jorge, D. und G. Correia (2013) Carsharing systems demand estimation and defined operations: a literature review, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, **13** (3) 201–220.

Kortum, K. (2014) Driving smart: Carsharing mode splits and trip frequencies vorgetragen bei 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., Januar 2014.

Loose W. (2010) Aktueller Stand des Car-Sharing in Europa, Bundesverband CarSharing e.V., Hannover.

Mobility Genossenschaft (2019) Jahresbericht 2019, Mobility Genossenschaft, Rotkreuz.

PTV AG (2018) PTV Visum 18 – Handbuch, PTV AG, Karlsruhe.

Rieser, N., B. Tasnády, M. Rotenfluh, R. Straumann und M. Kowald (2021) Generische Ansätze der Verkehrsmodellierung, Schlussbericht SVI 2018/008, Schriftenreihe, Bundesamt für Strassen, UVEK, Ittigen (wird demnächst veröffentlicht).

Schmöller, S. und K. Bogenberger (2014) Analyzing external factors on the spatial and temporal demand of car sharing systems, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, **111**, 8–17.

Share Now (2021) Share Now Preise, <https://www.share-now.com/de/de/pricing/>, aufgerufen am 2. September 2021.

STARS (2018), Entlastungswirkung verschiedener CarSharing-Varianten, <http://carsharing.info/alles-ueber-carsharing/studien/entlastungswirkung-verschiedener-carsharing-varianten>, aufgerufen am 16. September 2021.

Vrtic M. und P. Fröhlich (2019) Gesamtverkehrsmodell Kanton Tessin, Modellaktualisierung 2018, Cantone Ticino, Dipartimento del territorio, Bellinzona.

Vrtic. M. C. Weis, P. Fröhlich, R. Pohlner, J. Pillat, B. Bodenmann, P. Bürki und C. Philipp (2019) Neues Verkehrsmodell Kanton Aargau, AVK, Aarau.

Weikl, S. und K. Bogenberger (2015) Nachfragephänomene von Free Floating Carsharing-Systemen – Räumlich-Zeitliche Angebot-Nachfrage-Asymmetrie, *Strassenverkehrstechnik* (3) 156-163.

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 29.10.2021

Grunddaten

Projekt-Nr.: SVI 2019/004

Projekttitel: Sharing in Verkehrsmodellen

Enddatum: 31.12.2021

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

In der Forschungsarbeit wurden Möglichkeiten zur Abbildung von Sharing-Angeboten (stationsgebunden und free floating) und Ride Pooling in makroskopischen Verkehrsmodellen aufgezeigt. Es konnte somit ein Grundgerüst zur Verfügung gestellt werden, anhand dessen die Implementierung und Veränderung dieser Modi sowie deren Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrageverhältnisse modelliert werden können. Die notwendigen Schritte zum entsprechenden Ausbau eines existierenden Verkehrsmodells können wie folgt zusammengefasst werden:

- Definition des Verkehrsangebots, also der Anzahl und Verteilung verfügbarer Sharing-Fahrzeuge, der Kostenstruktur für die Nutzung des Systems und dessen Ausgestaltung (stationsgebunden vs. free floating);

- Umsetzung und Kalibration der Verhaltensgesetzmässigkeiten im Nachfragemodell (insbesondere aus Nutzersicht), d.h. der Nachfragestruktur (z.B. Modal-Split-Anteile, Weglängenverteilungen, Fahrtzwecke) und der Bewertung der einzelnen Widerstandskomponenten (z.B. Verfügbarkeit, Kosten) durch die (potenziellen) Nutzer;

- Umlegung der resultierenden Nachfrage auf das Netz und Ermittlung der Streckenbelastungen bzw. der Infrastrukturauslastung durch die Angebote.

Der erste und letzte Punkt konnte vollständig umgesetzt werden, und es wurde aufgezeigt, dass diese zu plausiblen Ergebnissen führen. Um den zweiten Punkt korrekt implementieren zu können, die Modelle also auf empirisch belegte tatsächliche Verhaltensmuster abstellen zu können, wäre die Erhebung detaillierterer Daten (oder die Bereitstellung vorhandener Quellen) notwendig. Hier sollten zukünftige Forschungsarbeiten zu diesem Thema ansetzen.

Die Grundlagen zur Modellierung von Sharing-Systemen wurden also mit der vorliegenden Arbeit gelegt; inwiefern die praktische Anwendung der Verkehrsmodelle diese Systeme künftig einbinden wird, bleibt jedoch aufgrund deren gegenwärtig sehr geringen Anteile an der Gesamtverkehrsnachfrage fraglich. Sharing-Angebote mit ähnlichen Strukturen – insbesondere betreffend die Kosten – wie die heute existierenden dürften auch in Zukunft nur punktuell und für sehr ausgewählte Wege attraktiv sein und somit eher ein Nischenprodukt bleiben.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Die Ziele der Forschungsarbeit wurden erreicht, da aufgezeigt werden konnte, dass Sharing-Systeme in makroskopischen Modellen abbildbar sind und deren Nachfrage einerseits für den Ist-Zustand auf verfügbare Kennzahlen kalibriert werden kann und andererseits auch in Anwendungen plausible Ergebnisse resultieren. Die in der Schweiz gängigen Verkehrsnachfrage- und -umlegungsmodelle können also mit dem entsprechenden Fachwissen so modifiziert werden, dass Aussagen über die Nachfrage nach Sharing-Fahrzeugen getroffen werden können. Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass sowohl stationsgebundene als auch free-floating Systeme modellierbar sind. Beim Ride Pooling war die gewählte Methode mit der flexiblen Abbildung der Besetzungsgrade ebenfalls erfolgreich und kann beliebig um weitere Einflussgrößen erweitert und für die Berechnung von Prognoseanwendungen verwendet werden. Für praktische Anwendungen wären hier aber entsprechende empirische Grundlagen sowie Erhebungen zu den Angebotsmerkmalen, wie z.B. Kosten und Affinitäten, wichtige Voraussetzungen.

Folgerungen und Empfehlungen:

Den Umständen der sehr eingeschränkten Datenverfügbarkeit geschuldet, konnten die Analyse-Modelle nicht vollumfänglich, bzw. im selben Masse wie für die bereits in den Modellen existierenden Modi, auf empirische Kennzahlen geeicht werden. Dies ist jedoch modelltechnisch möglich und kann erfolgen, falls künftig eine Erhebung der in Abschnitt 3.3 aufgelisteten Daten oder eines Teils davon möglich wird. Hier wäre die öffentliche Hand gefragt, um einerseits bei den Betreibern der Sharing-Systeme deren Nutzerdaten zu beschaffen. Die Nutzung der öffentlichen Infrastruktur durch die Sharing-Systeme und die gleichzeitige Unkenntnis über deren effektive Verwendung stehen hier in einem Missverhältnis, welches so aufzulösen wäre. Andererseits wäre auch die Finanzierung weiterer Forschung zum Verhalten der Verkehrsteilnehmer im Sharing-Segment hilfreich, um die entsprechenden Erkenntnisse zu vertiefen und auch in den Verkehrsmodellen einsetzen zu können.

Publikationen:

-

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Weis

Vorname: Claude

Amt, Firma, Institut: TransOptima GmbH

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Mit dem Forschungsprojekt wurde entsprechend der Aufgabenstellung aufgezeigt, wie Sharing im Verkehr in makroskopischen Verkehrsmodelle implementiert werden kann. Die Einführung ins Thema mit Aufgabenanalyse und Literaturrecherche ist angesichts der wenigen verfügbaren Grundlagen und Referenzen sehr kompakt gehalten. Es wurde vielmehr auf die praktische Umsetzung in einem für die Schweiz typischen kantonalen makroskopischen Verkehrsmodell fokussiert. Dabei wurden die wesentlichen Elemente von Car-Sharing und Ride-Pooling für die Abbildung in Makromodellen abstrahiert und auf Grund der unbefriedigenden Datenlage mittels plausiblen Annahmen parametrisiert. Mit einfachen Anwendungsbeispielen konnte die Funktions- und Wirkungsweise der vorgeschlagenen Ansätze für die Abbildung von Car-Sharing belegt werden. Es konnte aufgezeigt werden, dass die untersuchten Ansätze grundsätzlich in den vorherrschenden Makromodellen anwendbar sind, es wurde aber auch auf die Grenzen der möglichen Abbildungstiefe dieser komplexen Verkehrsangebote hingewiesen.

Umsetzung:

Eine Umsetzung der untersuchten Modellierungsansätze für Sharing und Pooling in Makromodellen wäre grundsätzlich möglich, jedoch fehlen bislang leider essentielle empirische Grundlagen für die Parametrisierung und anschliessende Kalibration sowie Validation der untersuchten Abbildungsmethodik. Da die Sharing- und Pooling-Verkehre bislang einen sehr geringen Anteil am Gesamtverkehrsaufkommen aufweisen, wird es auch bei vorliegenden Grundlagendaten schwierig, verlässliche Prognosen erstellen zu können. Dies vor allem auf Grund der unvollständigen Kenntnisse zu den relevanten Entscheidungsfaktoren und Randbedingungen für den Erfolg oder Misserfolg solcher Verkehrsangebote. Die mit Makromodellen erzielbaren Ergebnisse beschränken sich auf Grund der relativ abstrakten Funktionsweise auf aggregierte Kennwerte und Summen im regionalen Kontext. Detaillierte betriebliche Abläufe und Kennwerte von Sharing-Systemen und -Angeboten können damit aber naturgemäss nicht untersucht werden.

weitergehender Forschungsbedarf:

Weiterer Forschungsbedarf besteht primär bei der Beschaffung, Aufbereitung und Analyse von geeigneten empirischen Daten für die korrekte Parametrisierung der untersuchten Modellansätze. Weiter müsste auch vertiefter nach den relevanten Entscheidungsfaktoren und Randbedingungen (Erfolgsfaktoren) für die Nutzung von Sharing und Pooling geforscht werden. Erst danach ist ein Einsatz sowie eine weitere Verfeinerung der Ansätze in Makromodellen sinnvoll.

Einfluss auf Normenwerk:

Die Ergebnisse der vorliegenden Forschungsarbeit richten sich sehr spezifisch an Ersteller und Anwender von Makromodellen mit bislang sehr geringer Normierungsdichte. Eine Normierung dieses ausgewählten Spezialgebietes macht daher aktuell keinen Sinn.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Dasen

Vorname: Stefan

Amt, Firma, Institut: Amt für Mobilität, Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission: