



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Integration der öffentlichen Fahrradverleihsysteme in die mikroskopische Verkehrsnachfragemodellierung

Bearbeitet von: B.Sc. Björn Heftrich

Betreut von: Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze
M.Sc. Wei Jiang
M.Sc. Sunghyun Jang

Kurzfassung

In dieser Masterarbeit wird das Thema „Integration der öffentlichen Fahrradverleihsysteme in die mikroskopische Verkehrsnachfragemodellierung“ bearbeitet.

Daraus leiten sich das übergeordnete Ziel, sowie die Forschungsfragen dieser Arbeit ab.

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist es, ein Konzept zur Integration eines Fahrradverleihsystems aufzustellen und dieses an einem Fallbeispiel umzusetzen.

Die aufgestellten Forschungsfragen (siehe Kapitel 3) spezifizieren dieses Ziel:

1. Wie lässt sich ein stationsbasiertes Fahrradverleihsystem in ein Aktivitäten-basiertes Nachfragemodell integrieren)?
2. Welche Wirkung hat die Einführung eines FVS in ein Aktivitäten-basiertes Modell?
 - a. Wie intensiv wird das Fahrradverleihsystem genutzt?
 - b. Ist die erzeugte Nachfrage realistisch?
 - c. Von welchen Personen wird das Fahrradverleihsystem genutzt?
 - d. Wie verändert sich der Modal Split?

Zur Beantwortung dieser Fragen wird zu Beginn der **Stand der Forschung** zu den Unterthemen der Arbeit dargestellt. Dabei wird zunächst die Geschichte von öffentlichen Fahrradverleihsystemen in Deutschland, sowie weltweit dargestellt. Aus diesem Teil der Recherche geht hervor, dass öffentliche Fahrradverleihsysteme auf der ganzen Welt und auch in Deutschland seit Jahren wachsen. Dem Markt wird auch in den kommenden Jahren stetiges Wachstum prognostiziert. Dies liegt vor allem daran, dass steigende Kraftstoffpreise, der Klimawandel und verstopfte Straßen in Innenstädten das Verlangen nach alternativen und nachhaltigen Verkehrskonzepten steigern.

Daraufhin werden Statistiken zu den Nutzern und der Nutzung von Fahrradverleihsystemen dargestellt. Die Statistiken werden teilweise im späteren Fallbeispiel verwendet.

Es werden ebenfalls Recherchen zu Verkehrsnachfragemodellen angestellt. Dabei liegt der Fokus auf den mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen und den Unterschieden zwischen makroskopischen und mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen.

Mikroskopische Verkehrsnachfragemodelle gewinnen, aufgrund der sich immer weiter differenzierenden Mobilitätsanforderungen der Bevölkerung, immer mehr an Bedeutung. Dabei werden die Mobilitäts-Entscheidungen der einzelnen Personen abgebildet. Eine Unterform der mikroskopischen Verkehrsnachfragemodelle sind Aktivitäten-basierte Modelle.

Aktivitäten-basierte Modelle beruhen auf der Annahme, dass Verkehr ein Effekt ist, der entsteht, weil Menschen Bedürfnisse befriedigen wollen. Zur Befriedigung dieser Bedürfnisse führen Menschen Aktivitäten durch, die eine Ortsveränderung benötigen (z.B. Einkaufen gehen).

Eine besondere Bedeutung kommt in mikroskopischen Nachfragemodellen der Darstellung von Entscheidungssituationen zu. Entscheidungssituationen sind zum Beispiel die Wahl des Ziels, oder die Wahl des Verkehrsmittels.

In Verkehrsmodellen geschieht dies typischerweise mit diskreten Entscheidungsmodellen (*Discrete Choice Models*). Diskrete Entscheidungsmodelle stellen die Wahl zwischen Alternativen nach dem Prinzip der Nutzenmaximierung dar. Es gibt verschiedene Ansätze für den Umgang mit diskreten Entscheidungsmodellen, in dieser Arbeit liegt der Fokus auf den Logit-Modellen.

Daraufhin werden Softwares für die mikroskopische Verkehrsnachfragemodellierung vorgestellt.

Darunter Visum 2020 von der PTV AG, mit der das Fallbeispiel umgesetzt wurde. Bei der Beschreibung der Softwares wurde der Fokus auf die Modellstruktur und die Entscheidungsmodelle gelegt.

Das zweite große Teil der Masterarbeit ist das **Aufstellen eines Konzepts** zur Integration eines Fahrradverleihsystems in ein Aktivitäten-basiertes Modell.

Das Konzept setzt an zwei Punkten an:

- Änderungen an der Angebotsseite.
- Änderungen an der Nachfrageseite.

Die Änderungen an der Angebotsseite beschäftigen sich mit den Anpassungen am Verkehrssystem (also zum Beispiel welche Wege/Straßen das Fahrradverleihsystem nutzt), die beim Hinzufügen des Fahrradverleihsystems durchgeführt werden müssen.

Die größte Anpassung ist das Hinzufügen der nötigen Fahrradverleih-Infrastruktur. Diese umfasst die Fahrradverleih-Stationen und die Leihräder. Dabei werden zwei Ansätze zur Bestimmung des benötigten Umfangs der Infrastruktur vorgestellt.

Der erste Ansatz greift auf die Werte einer Planungshilfe, die von einer internationalen Institution herausgegeben wird (*Institute for Transport and Development Policy*) zurück. Dabei werden Angaben zu der Stationszahl pro Fläche und Leihräder pro 1.000 Einwohner getroffen.

Beim zweiten Ansatz wird der Aufbau von bestehenden deutschen Fahrradverleihsystemen analysiert und daraus werden die eben genannten Kenngrößen abgeleitet.

Die Änderungen an der Nachfrageseite beschreiben die Änderungen an den diskreten Entscheidungsmodellen, die im Zusammenhang mit dem Hinzufügen eines Fahrradverleihsystems in ein Aktivitäten-basiertes Modell einhergehen. Dabei liegt der Fokus auf den Anpassungen des Verkehrsmittelentscheidungsmodells.

Hierbei werden ebenfalls zwei Ansätze vorgestellt. Der erste Ansatz ist das Durchführen einer *Stated Preference* Befragung. Hierbei werden die Befragten vor eine hypothetische Situation, die Einführung des Fahrradverleihsystems im Untersuchungsgebiet, gestellt. Daraus lassen sich Entscheidungskenngrößen und die dazugehörigen Parameter bestimmen.

Der zweite Ansatz beschreibt das Vorgehen, wenn keine neue Befragung, die sich auf das Einführen eines Fahrradverleihsystems fokussiert, durchgeführt wird.

Hierbei werden dem Fahrradverleihsystem die Parameter der bestehenden Verkehrsmittel zugeordnet.

Daraufhin wird das Konzept im letzten großen Teil der Masterarbeit auf ein **Fallbeispiel** angewendet. Das Fallbeispiel ist die virtuelle Welt Erzhausen-Zwingenberg, die im Rahmen des SMD-Projekts am Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik der TU Darmstadt erstellt wurde.

Als Grundlage für die Integration eines Aktivitäten-basiertes Modell dient die Modellstruktur eines Beispiels der PTV AG („Halle_ABM“).

Dieses Beispiel wird zunächst analysiert und alle diskreten Entscheidungsmodelle werden beschrieben. Daraufhin wird diese Modellstruktur auf die virtuelle Welt Erzhausen-Zwingenberg integriert. Die virtuelle Welt (inklusive synthetischer Bevölkerung) wird angepasst, damit die Entscheidungsmodelle des Modells „Halle_ABM“ funktionieren. Dieses Modell bildet den „Nullfall“ da.

In das „Nullfall“ Modell wird ein Fahrradverleihsystem integriert. Dafür wird das Konzept angewendet. Die Anzahl der Stationen der eingefügten Stationen orientiert sich an der Analyse von deutschen Fahrradverleihsystemen. Die Anzahl der Leihräder wird an der generierten Nachfrage, im Laufe der Modellierung festgelegt.

Folgende Anpassungen an der Nachfrageseite wurden vorgenommen:

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde keine Befragung durchgeführt. Aufgrund dessen wird der zweite Ansatz für die Integration des Fahrradverleihsystems in die Verkehrsmittelwahl gewählt. Das Verkehrsmittel Wahl des Modells „Halle_ABM“ ist ein multinomiales Logit-Modell. Als Entscheidungskriterium dient primär die Reisezeit zwischen den Bezirken für die jeweiligen Verkehrsmittel.

Die Reisezeiten des Fahrradverleihsystems werden in die Bestandteile Zugangs-/Abgangszeit, Entleih-/Rückgabezeit und Fahrzeit auf dem Leihfahrrad aufgeteilt.

Diesen Teil-Reisezeiten werden die Parameter anderer Verkehrsmittel zugeordnet:

- Zugangs-/Abgangszeit → Parameter des Verkehrsmittels „Laufen“.
- Entleih-/Rückgabezeit → Parameter des Verkehrsmittels „Öffentlicher Verkehr“.
- Fahrzeit auf dem Leihfahrrad → Parameter des Verkehrsmittels „Fahrrad“.

Zudem werden Entscheidungskriterien festgelegt, die auf Statistiken aus dem Recherche-Teil dieser Arbeit basieren. Da sich die Auswirkungen von Fahrradverleihsystemen in verschiedenen Städten zum Teil stark unterschieden, wurden lediglich Entscheidungskriterien integriert, die über mehrere Studien hinweg konsistent sind.

Diese Parameter werden durch Sensitivitätsanalysen überprüft. Dabei wird das qualitative Verhalten des Modells bei Änderungen von jeweils einen Parameter kontrolliert.

Im Modell „Halle_ABM“ wird die Reisezeit der Verkehrsmittel über Logsums in die primäre Standortwahl (Standort der Bildungseinrichtung bzw. Standort des Arbeitsplatzes) und in die Zielwahl integriert. Dabei werden Logsum-Parameter für die jeweiligen Verkehrsmittel eingesetzt. Es werden zwei Modelle aufgestellt:

Ein Modell, bei dem das Fahrradverleihsystem in die primäre Standortwahl und Zielwahl übernommen wird. Dabei werden die Logsum-Parameter des Fahrradverleihsystems analog zu dem oben beschriebenen Prinzip zugeteilt.

Ein zweites Modell bei dem das Fahrradverleihsystem nicht in die primäre Standortwahl integriert wird. Die Modelle, in denen das FVS in die virtuelle Welt Erzhausen-Zwingenberg integriert ist, werden als „Planfall“ bezeichnet.

Aus den Modellen konnten unter anderem folgende Erkenntnisse gezogen werden:

- Das angewandte Konzept zur Integration des Fahrradverleihsystem in die primäre Standortwahl und in die Zielwahl liefert keine realistischen Ergebnisse.
 - Das angewandte Konzept zur Integration des Fahrradverleihsystems in die Verkehrsmittelwahl liefert eine realitätsnahe Nachfrage für das Fahrradverleihsystem. Somit stellt dieses Konzept eine Methode dar, ein Fahrradverleihsystem ohne eine neue Befragung (welche mit hohen Kosten- und Zeitaufwand verbunden wäre), in ein Aktivitäten-basiertes Modell zu integrieren. Für Modellierungsergebnisse, die besser auf das Untersuchungsgebiet zugeschnitten sind, ist eine Befragung notwendig.
 - Der Modal-Split Anteil des Fahrradverleihsystems ist zu klein (ca. 0,5 % – 0,6 %), als das durch die Einführung des Fahrradverleihsystems signifikante Veränderungen der Anteile anderer Verkehrsmittel zu beobachten sind.
 - Aktivitäten-basierte Modelle sind ein geeignetes Mittel, um die Nachfrage von kleinen Nachfrageschichten darzustellen. Wenn die geeignete Datengrundlage vorhanden ist, also eine geeignete Befragung, können Entscheidungskriterien und Parameter Zielgruppen genau gewählt werden.
-

Short Summary

This Masterthesis „Integration der öffentlichen Fahrradverleihsysteme in die mikroskopische Verkehrsnachfragemodellierung“ is about integration of bike sharing systems into transport demand modelling.

The overarching aim of the thesis is to find a concept to integrate a bike sharing system and implement it into a case study. The research questions the thesis handle are (chapter 3):

1. How is a station-based bike sharing system integrate into an activity-based demand-model?
2. Which effect has an introduction of a FVS into an activity-based model?
 - a. How effectively is the bike-rental-system used?
 - b. Is the generated demand realistic?
 - c. By whome ist the bike sharing system used?
 - d. How does the modal share change?

To answer these questions, the thesis starts with the state of research. First, the history of public bike sharing systems in Germany as well as all over the world is described. Out of this research follows, the public bike-rental systems are expanding all over the world as well as in Germany since years. For this branch, a steadily growing is prognosticated for the next years. The reason for the growing are various: expand of fuel prices, climate change and motorized traffic. Therefore the need for sustainable alternatives is present.

Following this part, the next section is about statistics about the users and the use of bike sharing systems. The statistics will be used partly for the following case study.

There are research for travel demand-models shown during the next subsection. The focus is on the microscopic travel-demand-models and the difference between microscopic and macroscopic traffic-demand-models.

Microscopic traffic-demand-models are gaining more importance because of the differential requirement of mobility of the population. The decision which kind of mobility is taken varies from person to person. A sub-type of the microscopic traffic-demand-models are the activity based models. The assumption of activity-based models is that traffic is an effect which results out of the needs of humans.

To satisfy these needs, humans do activities which implie a change of location (for example: shopping). A special importance during microscopic traffic-demand-models are the decision-making situations. Decision-making situations are for example the choise of aim or the choice of travel mode. During traffic models, this is done by Discrete Choice Models. Discrete Choice Models represent the choice between alternatives for the principle of utility maximation. There are different approaches for the Discrete Choice Models. During this thesis, the Logit-models are in the focus.

The next subsection ist about the Softwares for microscopic traffic-demand-models. The case study was done with PTV Visum 2020, which is also described. The description of the software was mainly focussed on the structure of the model and the decision-making models.

The second section is about establishing a concept for the integration of a bike sharing system in an activity-based model.

The concept is handling two points:

- Change of supply side.
- Change of demand side.

The change of the supply side treats about adjustments on the traffic system (for example which kind of ways/streets can be used by the bike-rental-system), which has to be done when the bike-rental-system is included.

The biggest adaption is the including of the infrastructure of the bike sharing system. This includes the bike-rental stations as well as rental bikes. There are two approaches shown to determinate the extent of the needed infrastructure.

The first approach includes values of a planning aid, which is given by the *Institute for Transport and Development Policy*. There are values for the stations per area as well as rented bikes per 1.000 residents are given.

The second approach handles about the setup of existing german bike sharing systems. They were analyzed and the resulting stations per area as well as rented bikes per 1.000 residents are listed.

The change on the demand side describes the change of the discreet decision model, which are in context to the including the bike-rental system into the activity-based models. The focus is on the adaption of the travel mode decision model.

There are two different approaches shown. The first approach handle about a *Stated Preference* survey. The interviewed have to decide if they are in the hypothetical situation of a introduction of a bike-rental system. Therefore, the decision parameter and the resulting values can be evaluated.

The main part of the thesis is to apply a case study into the developed concept. The case study is given by the virtual world Erzhausen-Zwingenberg. This world was developed during the SMD project at the Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik of TU Darmstadt.

The base for the integration of an active-based model is the model structure of an example from PTV AG („Halle_ABM“).

This example is analyzed in the first step and all discreet decision models are described. In the following chapter, this model structure is integrated into the virtual world Erzhausen-Zwingenberg. The virtual world (synthetic population included) is customized in the way, that the decision models of the model „Halle_ABM“ are operating. This model is named „Nullfall“.

In the next step, during the model „Nullfall“, the bike sharing system is included. For this purpose, the concept was used. The number of implementated stations of the bike sharing system is chosen by the numbers given from the german bike sharing systems. The number of rented bikes is defined by the generated demand, which is given during the modulation.

The following adjustments were done:

In the context of the thesis, there was no survey done. This is the reason for choosing the second approach for the integration of the bike-rental system into the selection of mode of travel. The mode choice model of „Halle_ABM“ is a multinominal Logit-Model. The decision criteria is the traveling time between the zones for each travel mode.

The traveling times of the bike-rental system are divided into access/departure time, borrowing/return time and driving time by using the rental bike.

These part-travel times are given parameters of other travel modes:

- access/departure time -> Parameter of transport: „walking“
- borrowing/return time -> Parameter of transport: „public transport“
- driving time by using the rental bike -> Parameter of transport: „bike“

Moreover, there are criteria for decision choices, which are based on the research of this work. However, the paramter for the dicision for a bike-rental system are fluctuating from city to city, for this thesis only paramters are used which were consistent over many publications.

Therse parameters are verified by sesitivity analysis. Hereby, the qualitativ behaviour of the model is checked by changing one of the parameters.

During the Model „Halle_ABM“, the traveling time of the travel modes is given by Logsums into the primary Location choice (place of educational institute or place of work) and implemented into the destination choice. The Logsum parameters of the bike-rental system are chosen analogous to the model described before.

There are two models defined:

The first model describes if the primary choice of location and aim of the bike-rental system is implemented.

The second model does not include the bike sharing system in primary location and destination choice. The models, where the FVS is implemented into the virtual world Erzhausen-Zwingenberg, are named „Planfall“.

Following findings were concluded:

- The used concept of including bike sharing system in primary location and destination choice does not work.
 - The concept of including bike sharing system into the mode choice model provides realistic results for the demand of a bike sharing system.
 - The resulting modal share of bike sharing systems is too small to result in significant change of other modal shares. The changes of the other modal shares could be from model fluctuations.
 - Activity based models are suitable for modelling the demand of small demand groups. If the necessary data base is existing, criteria for decision choices and parameters can be calculated for the target group.
-