
Kurzfassung

Name: Tianjiao Wang

Thema: Entwurf eines Modells zur Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Reisendenstromlenkung im Bahnhof

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze
Dipl.-Ing. Moritz von Mörner

Aufgrund der Verlässlichkeit, des Reisekomforts sowie der Umweltfreundlichkeit gewinnt der öffentliche Personenschienenverkehr mehr und mehr an Bedeutung. Dabei stellen sich die betrieblichen Unregelmäßigkeiten, die aufgrund der externen Einflussfaktoren sowie internen Abhängigkeiten entstanden sind, ein Hindernis dar. Fahrgäste wollen pünktlich abfahren und ankommen. Verspätungen beeinträchtigen sowohl den Eisenbahnbetrieb und verursachen bei Fahrgästen Zeitverlust und sorgen dafür, dass ihre Reisen nicht planmäßig stattfinden können.

Bei Störfällen müssen die Reisendenströme schnell und effizient gelenkt werden. In verschiedenen Störfallsituationen werden Maßnahmenbündel ergriffen, um die gefährdeten Reiseketten der Bahnkunden wieder herzustellen. Es ist sinnvoll die Auswirkungen der eingesetzten Maßnahmen zur Reisendenstromlenkung (RSL) im Vorfeld abzuschätzen. So wäre es für Eisenbahnunternehmen möglich, die optimalste Maßnahme durch den Vergleich unterschiedlicher Optionen herauszufinden und somit die beste Lenkungswirkung zu erreichen. Ziel dieser wissenschaftlichen Arbeit ist daher die Erstellung eines Modells, mit dessen Hilfe die Auswirkungen von spontanen Anschlussproblemen und die darauf umgesetzten Maßnahmen in einem Bahnhof bewerten zu können.

Die Akzeptanz der Maßnahmen von Fahrgästen spielt bei der RSL eine wichtige Rolle. Die Akzeptanz wird im Rahmen dieser Arbeit als Befolgungsgrad verstanden. Im Störfall, bei dem die Reisendenströme zu lenken sind, werden Fahrgäste von Eisenbahnunternehmen über die aktuelle Verkehrslage informiert und bekommen Reiseempfehlungen zur Weiterführung ihrer Reisekette mitgeteilt. Die Wirkung der RSL-Maßnahmen, ergriffen von Eisenbahnunternehmen, hängt stark davon ab, ob die den Fahrgästen empfohlenen Weiterreisemöglichkeiten angenommen werden oder nicht. Erst wenn eine hohe Akzeptanz vorhanden ist, bzw. die RSL-Maßnahmen von Fahrgästen befolgt werden, wird die beabsichtigte Lenkungswirkung erreicht.

Die Akzeptanz der Fahrgäste hängt wiederum stark von weiteren Einflussfaktoren ab. Das in dieser Arbeit entwickelte Modell bildet die verschiedenen Akzeptanzlevels der Fahrgäste ab. Dadurch lassen die Reaktionen der Fahrgäste auf die Wirkungen bestimmter Maßnahmen schließen, was eine Abschätzung der Auswirkungen von RSL-Maßnahmen im Störfall ermöglicht.

Die Einflussfaktoren, die die Akzeptanz des Fahrgastes erheblich beeinflussen, lassen sich durch die Merkmale des Fahrgastes sowie die des Verkehrsangebots zusammenfassen. Die Merkmale des Fahrgastes besteht aus Laufgeschwindigkeit, Sensitivität auf Reisezeit, Sensitivität gegen Aufpreis, Sensitivität gegen Umsteigen sowie Wichtigkeit von Sitzplätzen. Die Merkmale des Verkehrsangebots lassen sich durch Umsteigezeit, verlängerte Reisezeit, (eventuell) erforderlicher Aufpreis, Umsteigehäufigkeit sowie Auslastung des Fahrzeugs zusammenfassen.

Das Modell zur Wirkungsabschätzung beinhaltet hauptsächlich zwei Module, nämlich die Simulation und den Kriterienkatalog.

Mit der Simulation wird es ermöglicht, die Auswirkungen der eingesetzten, nachfrageverändernden RSL-Maßnahmen, die aufgrund der individuell unterschiedlichen Akzeptanz der Fahrgäste schwer abzuschätzen sind, durch Simulationsexperimente im Vorfeld zu untersuchen und vorherzusagen. Mit dem erstellten Kriterienkatalog können die Simulationsergebnisse bewertet werden. Die Ergebnisse der Simulationsexperimente, sowie die Bewertung der Ergebnisse lassen Rückschlüsse auf die Auswirkungen der ergriffenen Maßnahmen zu.

Kern des Simulationsmodells sind die hypothetischen Verhaltensregeln der Fahrgäste, die auf der Theorie der individuellen Nutzenmaximierung basieren. Dabei sind sowohl Merkmale des Verkehrsangebotes, als auch Merkmale des Fahrgastes eingebunden. Es wird angenommen, dass ein Fahrgast immer die Verkehrsverbindung auswählt, die für ihn am vorteilhaftesten ist, bzw. von der er den höchsten Nutzen erzielen kann.

Der Kriterienkatalog, der bei der Bewertung der Simulationsergebnisse herangezogen wird, beinhaltet grundsätzlich drei Kriterien, nämlich die Auslastung der Fahrzeuge, die Auslastung des Bahnsteigs sowie die Wartezeit am Bahnsteig. Sie dienen gemeinsam zur fahrgastbasierten Bewertung. Eine Bewertung für die Eisenbahnunternehmen ist nicht in Betracht gezogen. Die Bewertung erfolgt auf Basis eines identischen Bewertungsschemas, wobei jedes Kriterium mit unterschiedlichen, situationsabhängigen Gewichtungen versehen wird.

Es werden Szenarien gebildet, die für eine Modellierung geeignet sind. Die Einteilung der Szenarienbildung findet durch das Merkmal der RSL-Maßnahmen, nämlich die beabsichtigte

Lenkungswirkung, statt. Dabei sind drei grundlegende Fälle zu betrachten: Umsteigen beschleunigen, (teilweise) Verlagerung auf Alternativen und zeitliche Verlagerung der Reise.

Das Simulationsmodell ist mithilfe der Simulationssoftware AnyLogic7 entwickelt. Grundsätzlich werden zwei Agententypen bei der Simulation verwendet: Passenger simuliert einen Fahrgast und Train repräsentiert ein Eisenbahnfahrzeug. Die ereignisorientierte und objektorientierte Struktur zieht sich durch den Modellentwurf. Die mathematische Sprache spielt dabei eine wichtige Rolle: Die Merkmale des Fahrgastes sowie die des Verkehrsangebotes sind quantifiziert und die zuvor beschriebenen Verhaltensregeln von Fahrgästen sind als Logik im Simulationsmodell eingebunden.

Die Simulationen werden ebenfalls in AnyLogic7 durchgeführt. Zwei Szenarien, jeweils für den Regelbetrieb und einen Störfall, sind als Beispielfälle für die exemplarische Umsetzung in der Simulation ausgewählt.

Die Funktionsfähigkeit des Simulationsmodells wird in dieser Arbeit ebenfalls validiert. Ziel dieser Validierung ist der Nachweis des Modellkonzepts, wobei auf zwei Arten vorgegangen wird. Zum einen werden die Merkmale eines Verkehrsangebotes geändert und zum anderen werden die Merkmale der Fahrgäste variiert. Die Ergebnisse der durchgeführten Simulation werden dann mit den im Voraus definierten Erwartungen verglichen.

Aufgrund der Komplexität der Thematik kann das Simulationsmodell die RSL in einem Bahnhof nur vereinfacht abbilden. Beim Entwurf des Simulationsmodells sind Annahmen für Einflussgrößen getroffen, die für die Verhaltensmodellierung relevant sind, aber dazu keine fundierten Aussagen gefunden werden können. Somit hat das Simulationsmodell noch Bedarf an weiterer Forschung und Untersuchungen zur theoretischen Unterstützung. Mit neueren Versionen des Simulationswerkzeuges AnyLogic7 werden wahrscheinlich auch noch Fehler behoben, die sich für die Erweiterung des Simulationsmodells als hinderlich dargestellt haben.

Es kann somit festgehalten werden, dass der Einsatz des Modells zur Wirkungsabschätzung im Störfall Möglichkeiten bietet, die Auswirkungen im Vorfeld abzuschätzen und somit die Fahrgäste besser zu lenken. Jedoch hat das Simulationsmodell noch Nachbesserungs- und Weiterentwicklungsbedarf, damit eine Anwendung in der Praxis möglich wird. Hierdurch kann ein verbessertes Simulationsmodell realisiert werden. Für Einsteiger können andere Simulationsanwendungen einfacher sein, jedoch lassen sich mit AnyLogic7 und entsprechenden Java-Kenntnissen sehr komplexe Simulationen modellieren.

Abstract

Name: Tianjiao Wang

Topic: **Development of a model to assess impacts of passenger guidance measures in train stations**

Supervisor: Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze
Dipl.-Ing. Moritz von Mörner

Due to the reliability of travel comfort and increasing environmental friendliness within the population, public passenger rail transport continues to gain importance. However, the operational irregularities that have arisen due to external influences as well as internal dependencies constitute as an obstacle. Punctual departures and arrivals are very important for passengers. Not only are delays disturbing for the daily schedule of passengers much worse the whole railway operation within a network cannot be kept.

To work against these negative effects, measures should be taken to control the passenger flow and the passengers should be guided effectively as well as efficiently. This guidance needs to be calculated and modelled in order to find the best solution without shifting the problems to another route. . Therefore it is essential to estimate the impact of these measures in advance. Herewith it would be possible for railway companies to find the best possible action by comparing different options with achieving the optimal control effect. Therefore, the aim of this master thesis is the development of a model that allows the assessment of actions taken in a train station in order to analyse the impacts of connection problems due to delays.

The acceptance of these measures of passengers play an important role in passenger flow control. Acceptance is understood within the framework of this thesis as a level of compliance. In case of an incident, the passengers are informed about the current traffic situation by visual and auditory Signals within train stations and are given travel recommendations to resume their travel purposes. The effects of passenger guidance measures depend on whether the passengers accept the recommendations of alternative travel routes or not. Only when the level of acceptance is high and the recommendations of these measures are followed, positive effects can be achieved.

Other factors like additional travel time, transfer frequencies and extra charge influence the passengers' acceptance. The model which has been developed within this thesis describes the different acceptance levels of the passengers. In this way, the effects of certain measures can be

inferred from the reactions of passengers, which allows an estimation of the impact of passenger guidance measures in the event of an incident.

The factors that significantly affect the acceptance of the passenger can be summarized by the features of passengers and their transport choices. Hereby passengers' choices are influenced by personal habits like walking speed, sensitivity on travel time, sensitivity with extra charges, sensitivity to changes as well as the importance of seats. The features of the transport choice can be assigned to the following criteria: transfer time, extended travel time, (possible) necessary extra charge, transfer frequency and utilization of the vehicle.

The model for the impact assessment contains mainly the following two modules: the simulation and the criteria catalogue.

The impacts of the implemented, demand-changing passenger guidance measures are difficult to estimate because of the different individual acceptance of passengers. The simulation enables to examine and predict the impacts of these measures. The simulation results can be evaluated with the developed criteria catalogue. The results of the simulation experiments as well as the evaluation of the results allows drawing conclusions on the impacts of the measures taken for passenger guidance.

The core of the simulation model is the hypothetical behavioural rules of the passengers based on the theory of individual utility maximization. Both, the features of the transport choice and the features of the passenger are involved. It is assumed that a passenger always selects the transport connection, which is the most advantageous, respectively, from which he can achieve the highest benefit.

The criteria catalogue, which is used in the evaluation of the simulation results, basically includes three criteria, namely the utilization of the vehicles, the utilization of the platform and the waiting time at the platform. They all serve to the passenger-based evaluation. An assessment for the railway company is not contemplated. The assessment is based on an identical evaluation schemes, whereby each criterion is provided with various, situation-related weighting.

There are also developed scenarios that are suitable for modelling. The classification of the development of scenarios is based on the proposed effect of the passenger guidance measures. Three basic cases are included: the accelerated transfer, the (partial) displacement to alternatives and the shifting peak loads of passengers.

The simulation model is developed in the simulation software AnyLogic7. Basically, two types of agents are created in the simulation: *Passenger* simulates travellers and *train* represents

railway vehicles. The event-oriented and object-oriented concept is very important for the model design. The mathematical language plays an important role by model design: The passengers' features as well as the features of transport choices were quantified and the hypothetical behavioural rules of passengers are integrated as logic in the simulation model.

This software also gives the opportunity to perform actual simulations. Two scenarios, one for regular operations and one in case of an incident, have been selected as examples for the implementation in the simulation.

In addition to the design of the model itself, the functionality of the simulation model has also been validated within this thesis. The aim of this validation was the demonstration of the model concept, whereby two methods were used. Firstly, the features of a transport choice have been changed, and then the features of the passengers have been varied. Afterwards the results of the simulation have been compared with the expectations which were defined in advance.

Due to the complexity of the topic, the simulation model can only represent the passenger guidance in a railway station in a simplified manner. As the substantiated statements to some influencing factors that are relevant for the behavioural modelling are unknown, assumptions about them have to be made in the design of the simulation model.

Within the research and the design of the simulation model with AnyLogic7 some boundaries arose which led to errors that have shown to be a hindrance for the extension of the simulation model. Newer versions of the software may lead to the elimination of these restrictions and result in better outcomes.

Therefore, it can be stated that the use of the model for the assessment of impacts in case of an incident enables to estimate the effects in view of the different acceptance of the passengers in advance, and thus to control the passenger flows better.