



**School of
Engineering**

IDP Institut für Datenanalyse
und Prozessdesign

Bachelorarbeit (Verkehrssysteme)

Kürzere Fahrgastwechselzeiten für die «Zürcher S-Bahn 2G»

Autoren

Andreas Böhler
Daniel Bürgi

Hauptbetreuung

Dr. Thomas Sauter-Servaes, Studiengangleiter Verkehrssysteme
Albert Steiner, Wissenschaftlicher Mitarbeiter IDP

Industriepartner

SBB AG

Externe Betreuung

Bruno Albert, SBB AG, Produktmanagement
Stefan Binder, SBB AG, Strategie & Projektportfoliomanagement

Datum

6. Juni 2014



Leere Seite

Zusammenfassung

Die Nachfrage im schweizerischen Schienenverkehr ist seit Jahren stetig wachsend. Im Jahr 2012 beförderte die Zürcher S-Bahn, an der Stadtgrenze gemessen, täglich knapp 410'000 Personen. Bis 2030 wird eine Erhöhung auf über 700'000 Personen täglich prognostiziert. Der ZVV als Besteller plant zusammen mit der SBB als Betreiberin laufend weitere Ausbauten auf der Angebots-, Infrastruktur- und Rollmaterialeseite. Sämtliche Planungen, welche in den Zeitraum 2030 bis 2050 fallen, werden unter dem Projekt «Zürcher S-Bahn 2G» zusammengefasst. Dieses beinhaltet eine Neustrukturierung des gesamten Angebots auf der Zürcher S-Bahn. Das Netz wird in zwei S-Bahnsysteme «Innere S-Bahn (ISB)» und «Express S-Bahn (ESB)», mit unterschiedlicher Haltepolitik auf sich teilweise überlagernden S-Bahn-Linien aufgeteilt.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den Fahrgastwechselzeiten bei den Haltestellen der ISB. Für einen dichten S-Bahn-Betrieb ist ein effizienter und kurzer Fahrgastwechsel unabdingbar. Das Ziel ist eine Verkürzung der Fahrgastwechselzeiten, was einen unmittelbaren Einfluss auf die Haltezeiten hat. Damit sind kürzere Zugfolgezeiten und eine verbesserte Fahrplanstabilität durch Zeitpuffer möglich.

Anhand von Fachliteratur und Praxisbeispielen wurden die physikalischen Bedingungen des Fahrgastwechsels recherchiert. Anlässlich einer Exkursion nach München konnte das System der «Spanischen Lösung» als Beispiel für schnelle Fahrgastwechsel begutachtet werden. Mit den zuständigen Stellen beim S-Bahn-Betreiber DB Regio AG fand zusätzlich ein Fachgespräch statt.

Die Autoren führten im Rahmen dieser Arbeit Untersuchungen zu Fahrgastwechseln in der Deutschschweiz durch. Die gemessenen Zeiten wurden ausgewertet und lieferten realistische Kennzahlen zu den eingesetzten Rollmaterialtypen. Anschliessend wurde mit der Simulationssoftware «PTV VISWALK» ein Modell zur Simulation und Berechnung von Fahrgastwechseln erstellt. Die erhobenen Daten aus den Beobachtungen konnten statistisch ausgewertet und zusammen mit Daten der SBB AG für die Verifikation und Validierung des Modells verwendet werden.

Damit wurde die Grundlage geschaffen, ein neues Fahrzeuglayout mit räumlicher Trennung der Personenströme für das Ein- und Aussteigen zu erstellen. Verschiedene Ein- und Aussteigerzahlen, u.a. die maximalen Besetzungsgrade der Fahrzeuge, definierten die Szenarien, welche simuliert und mit vorgegebenen Fahrzeuglayouts der SBB AG verglichen wurden. So zeigte sich beispielsweise, dass das neu entworfene Fahrzeuglayout im Vergleich zum bestehenden Fahrzeuglayout des Typs «FLIRT» oder einer ISB mit drei Türen ohne getrenntem Ein- und Aussteigen in 11 der 18 simulierten Szenarien besser abschneidet.

Die Ergebnisse bestätigen, dass das neue Fahrgastwechselkonzept mit angepasstem Fahrzeuglayout und entsprechender Kundenlenkung geeignet ist, um das prognostizierte Fahrgastaufkommen in der vorgegebenen Zeit bewältigen zu können. Damit lassen sich die geforderten Zugfolgezeiten von 90 Sekunden einhalten.

Abstract

The demand of public transport in Switzerland is still growing. Zurich's suburban railway transports almost 410'000 people per day. An increase to over 700'000 people daily is forecasted by 2030. The commissioning ZVV, is planning together with the SBB the next steps of the public transport system. This is a project, called «Zurich's 2nd generation suburban railway», for the period from 2030 to 2050, which includes all planning steps within this period. The whole concept is to be restructured: An Inner Suburban Railway (ISB) and an Express Suburban Railway (ESB) are to operate on the same suburban railway network with different frequency of stops on the same lines.

This bachelor project focuses on the entry and alighting time of passengers at stations of the ISB. Efficient entry and alighting of passengers is imperative for a highly frequented suburban railway network. The aim is to reduce the time passengers need, which would have a positive effect on the signal headway and stability of the net schedule.

The physical parameters of passengers' entry and alighting time were researched in the literature and practical examples. An excursion to Munich offered the opportunity to inspect the suburban railway with its «Spanish Solution» and to interview the local operator.

The authors examined different occurrences of passengers' entry and alighting in the german part of Switzerland by means of observations. The times measured provided realistic data for the rolling stock in operation. Afterwards the simulation software PTV VISWALK from PTV group was used to construct a model for the simulation and evaluation of passengers' entry/ alighting. The times measured and the data base of SBB could be used to verify and validate the constructed model.

This was used as a base to create a new carriage layout with a separation of entry and exit flows. Differing entry and exiting passenger numbers, as well as the maximum carriage capacity were used to define examples which were compared to the standard SBB layouts. This newly designed layout proved to be better in 11 out of 18 cases than the currently used layout-type «FLIRT» or an ISB-layout with 3 doors and without separation of entry and exit flows.

The results confirm that the newly designed passenger-concept with separate entry and exit flows is able to manage the predicted passenger volume in the defined time. This means that the planned signal headway of 90 seconds can be attained.

Vorwort

Diese Bachelorarbeit bildet den Abschluss des Studiums im Studiengang «Verkehrssysteme» an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW). Dadurch wird der Titel «Bachelor of Science ZFH in Verkehrssysteme» erlangt. Die Arbeit entstand im Teilzeitstudium während des letzten Semesters, nebst den beruflichen Anstellungen bei der SBB AG, resp. der Siemens Schweiz AG.

Die Idee zum gewählten Thema und dem Ansatz des räumlich getrennten Ein- und Aussteigens stammt von den Studenten Andreas Böhler und Daniel Bürgi. Industriepartner für diese Bachelorarbeit ist die SBB AG. Von der ZHAW stellten sich Dr. Thomas Sauter-Servaes und Albert Steiner als Betreuer zur Verfügung. In ihrer Betreuungsfunktion standen sie jederzeit mit Hinweisen und Ratschlägen zur Seite und vermittelten uns wertvolle Kontakte und Interviewpartner im In- und Ausland. Deshalb gebührt ihnen an dieser Stelle besonderer Dank.

Für das Projekt durften wir zudem auf die Unterstützung von verschiedenen Fachdiensten zurückgreifen. Namentlich erwähnt seien hier insbesondere folgende Personen, bei denen wir uns ebenfalls recht herzlich bedanken möchten:

- Bruno Albert, SBB Personenverkehr, Zürich
- Stefan Binder, SBB Personenverkehr, Bern
- Daniel Bösch, SBB Infrastruktur, Zürich
- Erasmus Bautsch, DB Regio AG, München
- Michael Gödde, DB Regio AG, München

Für die Simulation des Fahrgastwechsels konnte dank freundlicher Unterstützung der PTV Group Karlsruhe auf das bewährte und breit angewandte Simulationstool PTV VISWALK zugegriffen werden. Dies ist vor allem Herrn Axel Leonhardt zu verdanken.

Leere Seite

Glossar

Abkürzung	Bedeutung
ZG	2. Generation
AFZ	Automatisches FahrgastZähl system
ARE	Amt für Raum Entwicklung
BR	Bau Reihe
DB	Deutsche Bahn
DPZ	Doppelstock Pendel Zug
DTZ	Doppelstock Trieb Zug
ESB 150	Express SBahn (Zuglänge 150 Meter)
ETCS	European TrainControl System
FDV	Fahr Dienst Vorschriften
FLIRT	Flinker Leichter Innovativer Regional Trieb zug
HB	Haupt Bahnhof
HVZ	Haupt Verkehrs Zeit
ISB 150	Innere SBahn (Zuglänge 150 Meter)
LZB	Linien Zug Beeinflussung
MIV	Motorisierter Individual Verkehr
MRTA	Mass Rapid Transit Authority
MVV	Münchner Verkehrs Verbund
NDW	Niederflur Doppelstock Wagen
NVZ	Neben Verkehrs Zeit
öV	öffentlicher Verkehr
PUK	Personen Übergang Kupplung
RBS	Regional verkehr Bern Solothurn
SBB	Schweizerische Bundes Bahnen
SNCF	Société Nationale des Chemins de fer Français
VBZ	Verkehrs Betriebe Zürich
ZAM	Zug Anzeige Modul
ZVV	Zürcher Verkehrs Verbund

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung 10**
 - 1.1 Relevanz der Arbeit 10
 - 1.2 Aufgabenstellung..... 11
 - 1.3 Zielsetzung..... 12
- 2 Ausgangslage..... 13**
 - 2.1 Städtische Entwicklung Zürich 13
 - 2.2 Leuchtturmprojekt «Zürcher S-Bahn 2G» 14
 - 2.3 Rahmenbedingungen zur Bachelorarbeit..... 16
 - 2.4 Eingrenzungen zur Bachelorarbeit 16
- 3 Vorgehen beim Erstellen dieser Bachelorarbeit 17**
 - 3.1 Prozess zur Beantwortung der Aufgabenstellung 17
 - 3.2 Verwendete Software..... 19
- 4 Theoretische Grundlagen zum Fahrgastwechsel..... 20**
 - 4.1 Begriffe und Definitionen 20
 - 4.2 Modellierung und Simulation von Personenströmen 22
 - 4.3 Literaturrecherche zur Simulation von Personenströmen 22
 - 4.4 Einflussfaktoren beim Fahrgastwechsel 24
- 5 Betriebskonzept im Kernbereich der Zürcher S-Bahn 25**
 - 5.1 Bahnhöfe im Kernbereich der Zürcher S-Bahn..... 26
 - 5.2 Operative Merkmale der Zürcher S-Bahn..... 31
- 6 Betriebliche Beispiele aus der Praxis 34**
 - 6.1 Öffentlicher Schienennahverkehr Bangkok..... 34
 - 6.2 S-Bahn München 37
 - 6.3 Regionalverkehr Bern–Solothurn (RBS) 45
 - 6.4 Kennzahlenvergleich der eingesetzten Rollmaterialtypen..... 46
 - 6.5 Beobachtungen Fahrgastwechsel..... 50
 - 6.6 Erkenntnisse aus den Beobachtungen 51
- 7 Neuer Lösungsansatz für die «Zürcher S-Bahn 2G» 54**
 - 7.1 Fahrzeuglayouts für die ISB 54
 - 7.2 Kundenlenkung «2G» 63
- 8 Simulation von Personenströmen bei Fahrgastwechseln der «Zürcher S-Bahn 2G» 67**
 - 8.1 Modell..... 68
 - 8.2 Verifikation des Modells..... 72

8.3	Validierung des Modells	81
8.4	Vergleichssimulationen FLIRT-/ ISB-Wagen	83
8.5	Zusammenfassung Vergleichssimulationen FLIRT-/ ISB-Wagen	85
8.6	Vergleichssimulation ISB-Wagen mit und ohne getrenntem Ein- und Aussteigen	87
8.7	Zusammenfassung Vergleichssimulationen ISB mit und ohne getrenntem Ein- und Aussteigen.....	88
8.8	Vergleichssimulation ISB/ ISBv3 eines ganzen Zuges	90
8.9	Simulation ISB in Vierfachtraktion im Bahnhof Hardbrücke	92
9	Auswertungen der Simulationen	95
9.1	Getroffene Annahmen.....	95
9.2	Resultate.....	96
10	Diskussion und Ausblick	98
10.1	Diskussion der Resultate	98
10.2	Bewältigung des prognostizierten Fahrgastaufkommens.....	99
10.3	Zielgenaues Anhalten	100
10.4	Fazit	100
10.5	Empfehlung an die SBB AG und den ZVV	101
10.6	Einstöckiges oder doppelstöckiges Rollmaterial?	101
10.7	Stand der Arbeit, weitere Schritte, Ausblick	101
10.8	Erkenntnisse aus dem Simulationstool PTV VISWALK.....	102
10.9	Lessons learned	103
11	Verzeichnisse	104
11.1	Literaturverzeichnis	104
11.2	Abbildungsverzeichnis	106
11.3	Tabellenverzeichnis	112
12	Anhang	114
12.1	Simulationsdesign FLIRT-/ ISB-Wagen.....	114
12.2	Simulationsdesign ISB-Wagen mit und ohne getrenntem Ein- und Aussteigen	132
12.3	Fahrzeuglayouts ISB Variante 1 und 2.....	151
12.4	Fahrzeuglayout ISB Variante 2 in bestehenden Gleistopologien	159
12.5	Fahrgastzähldaten aus eigenen Beobachtungen.....	165

1 Einleitung

1.1 Relevanz der Arbeit

Der stetige Angebotsausbau und die damit verbundenen steigenden Passagierzahlen stellen hohe Anforderungen an die bestehende Infrastruktur der SBB AG. Der verfügbare Raum und die finanziellen Mittel für weitere Ausbauten sind begrenzt. Gefragt sind alternative Lösungsansätze, welche primär auf der vorhandenen Infrastruktur aufbauen und diese optimal nutzen können.

Hinzu kommt die Wichtigkeit der Haltezeit von Zügen, vor allem zu den Hauptverkehrszeiten (HVZ). In ihr widerspiegelt sich direkt die Stabilität des publizierten Fahrplans. Ein wesentlicher Anteil der Haltezeit an den einzelnen Stationen ist die Fahrgastwechselzeit. Dieser Zeitanteil variiert je nach Station, Tageszeit und Fahrgastaufkommen sehr stark und stellt die Fahrplanplaner der SBB AG vor grosse Herausforderungen.

Diese Bachelorarbeit behandelt mit dem Vorgang des räumlich getrennten Ein- und Aussteigens einen möglichen Lösungsansatz, um die geforderte Stabilität zu erreichen und die Haltezeiten zu verkürzen. Der Ansatz bewegt sich im Planungs-dreieck Rollmaterial-Infrastruktur-Zugführung, mit spezifischen Anforderungen an das Rollmaterial und die Infrastruktur. Dadurch soll die verfügbare Kapazität der Publikumsanlagen (Bahnsteige mit den Zu- und Abgänge) sowie die Kapazität von neuartigem Rollmaterial optimal genutzt werden. Die Zahl der notwendigen und kostspieligen Infrastrukturausbauten liesse sich reduzieren.

Wie nachfolgend im Kapitel 2 beschrieben, handelt es sich bei dem Leuchtturmprojekt «Zürcher S-Bahn 2G» um einen Systemwechsel mit der Einführung eines neuen Angebotskonzepts, kombiniert mit neuem Rollmaterial. Hierbei bietet sich die einmalige Gelegenheit, den weitreichenden Ansatz des räumlich getrennten Ein- und Aussteigens grossflächig auf Fahrzeug- und Infrastrukturebene einzuführen, so wie es auf der Abb. 1-1 zu sehen ist. Dieser ist von hoher Wichtigkeit für die Akzeptanz und dauerhafte Etablierung bei den Fahrgästen sowie die reibungslose Abwicklung eines darauf ausgelegten Betriebs. Auf das hierfür benötigte Rollmaterial lässt sich während der Ausschreibungs- und Beschaffungsphase gezielt Einfluss nehmen. Die Fahrgäste können durch frühzeitige Informationskampagnen auf das neue System vorbereitet werden.



Abb. 1-1: Markierte Zonen für Ein- und Aussteiger, am Beispiel eines FLIRT im Bahnhof Zürich Museumstrasse (Fotomontage).

1.2 Aufgabenstellung

Die Arbeit untersucht mittels Simulationen von Fahrgastwechselprozessen den Effekt des räumlich getrennten Ein- und Aussteigens mit Wirkung auf die Fahrgastwechsel- und Haltezeiten. Zusätzlich soll der aktuelle Stand der Technik bezüglich zielgenauem Anhalten aufgezeigt werden:

In den Jahren bis ca. 2030 ist eine Verdopplung der Nachfrage im Kernbereich der Zürcher S-Bahn prognostiziert. Um dieser Nachfrage gerecht zu werden, hat die SBB AG zusammen mit dem ZVV ein Leuchtturmprojekt, die sogenannte «Zürcher S-Bahn 2G» initialisiert.

In diesem Zusammenhang ist die Konzeption von einer «Inneren» sowie einer «Express» S-Bahn angedacht. Ebenso wird überlegt, ob zukünftig wieder einstöckiges Rollmaterial auf der Inneren S-Bahn zum Einsatz kommt, welches stehplatz-optimiert ist.

Um die Transportkapazität der prognostizierten Nachfrage zu erreichen sind kurze Zugfolgen mit optimierten Fahrgastwechselzeiten ein zentrales Thema.

Der Fokus dieser Arbeit ist eine Reduktion der Haltezeit mit dem Ziel kürzerer Fahrgastwechselzeiten durch Kombination von zielgenauem Anhalten der Züge in den Bahnhöfen, neuer Kundenlenkung auf den Bahnsteigen und darauf abgestimmtem Rollmaterial.

Hypothese 1, unter der Annahme einer sehr hohen (>99%) Verfügbarkeit der Türen:

- *Durch räumlich getrenntes Ein- und Aussteigen kann der Fahrgastwechsel beschleunigt werden. Somit kann die Haltezeit verkürzt werden.*

Hypothese 2, unter der Annahme eines räumlich getrennten Ein- und Aussteigens:

- *Das räumlich getrennte Ein- und Aussteigen kann durch eine gezielte Kundenlenkung auf dem Bahnsteig und im Zug erreicht werden.*

Hypothese 3, unter der Annahme, dass dadurch keine Fahrzeitverluste entstehen:

- *Das zielgenaue Anhalten, abgestimmt auf eine effiziente Kundenlenkung kann durch eine elektronische Unterstützung des Lokführers erfolgen.*

Zentrales Problem für effiziente Fahrgastwechsel und entsprechend kurze Haltezeiten bildet die Schnittstelle Fahrgastraum-Bahnsteig.

Lösungsansatz:

Um die prognostizierten Passagieraufkommen bewältigen zu können, muss der Fahrgastwechsel anhand folgender Voraussetzungen stattfinden:

- Sehr hohe Verfügbarkeit der Türen (> 99%)
- Zielgenaues Anhalten (unterbindet Längsbewegungen der Fahrgastflüsse auf dem Bahnsteig).

Um obige Hypothesen zu untersuchen sollen Fahrgastwechsel-Simulationen von bestehendem und zukünftigem Rollmaterial durchgeführt werden.

Ziel der Arbeit ist es eine Bestvariante eines Fahrzeuglayouts zu finden, das durch einen Variantenvergleich von verschiedenen Simulationen, die sich im Vor-, bzw. Nachlauf des Prozesses „Fahrgastwechsel“ unterscheiden. Diese soll in einem Bericht als Empfehlung an die SBB AG abgegeben werden.

Zusätzlich wird in der Empfehlung die notwendige Personenlenkung und Personenhydraulik auf den Bahnsteigen sowie Möglichkeiten der Verknüpfung mit einem neuartigen Fahrgastwechselkonzept einfließen.

Weiter soll der aktuelle Stand der Technik hinsichtlich systemunterstütztem, zielgenauem Anhalten aufgezeigt werden.

1.3 Zielsetzung

Ein wesentlicher Bestandteil der Haltezeit wird durch den Fahrgastwechsel bestimmt. Die Fahrgastwechselzeit wiederum ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, u.a. von der Anzahl der ein- und aussteigenden Fahrgästen, der Anzahl und Breite der Türen, Niederflur oder den Treppen im Einstiegsbereich.

Um herauszufinden, ob und wie stark sich ein räumlich getrenntes Ein- und Aussteigen auf die Fahrgastwechselzeit auswirkt, soll ein direkter Vergleich mit dem heutigen FLIRT angestellt werden. Hierzu wird ein typischer Mittelwagen eines vierteiligen FLIRT simuliert und mit einem Mittelwagen des selbst entworfenen ISB-Layouts verglichen. Ausserdem wird dasselbe Fahrzeuglayout der ISB an die Vorgaben der SBB AG einer ISB 150 angepasst (3 Türen mit je 1.40 Meter lichter Weite pro Wagen) und wiederum einem Vergleich unterzogen. Beobachtungen der Fahrgastwechselprozesse im laufenden Betrieb, welche zu Beginn dieser Arbeit stattfanden, dienen dabei zur Validierung dieses Modells. Anschliessend werden diese Modellparameter auf das entworfene Fahrzeuglayout mit getrenntem Ein-/ Ausstiegskonzept adaptiert. Über verschiedene Simulationläufe soll eine signifikante Verbesserung der Fahrgastwechselzeiten bestätigt oder verworfen werden. Zusammen mit den Untersuchungen zu den Hypothesen 2 und 3 sollen die Ergebnisse am Ende dieser Arbeit in Form einer Empfehlung an die SBB AG und den ZVV zusammengestellt werden.

Das neue Fahrgastwechselkonzept der ISB soll die prognostizierte Verdoppelung des Fahrgastaufkommens bewältigen können, welches mit dem Konzept der «Zürcher S-Bahn 2G» erwartet wird. Die Beantwortung dieser Fragestellung wird abschliessend im Kapitel 10 behandelt.

2 Ausgangslage

2.1 Städtische Entwicklung Zürich

Vom Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) wurde eine Studie in Auftrag gegeben, welche die Entwicklung der gesamten Personenverkehrsleistungen in der Schweiz aufzeigen soll. Die Prognosen sind auf Basis von vier möglichen Szenarien für die zukünftige Raumordnung der Schweiz erstellt worden [1, p. IX]. An dieser Stelle wird nicht näher auf diese Szenarien eingegangen. Die Studie bildet dabei den Zeithorizont der Jahre 2000–2030 ab. In der nachfolgenden Abb. 2-1 sind die prognostizierten Entwicklungen der Personenverkehrsleistung im öffentlichen Verkehr (öV) visualisiert. Der öffentliche Verkehr wächst überdurchschnittlich und steigert so den Anteil am Modalsplit des Gesamtverkehrs beispielsweise für das Basisszenario, um rund 3 % auf 20,3 % (rot gestrichelte Linie). Der Anteil der Personenverkehrsleistung im öffentlichen Verkehr steigt im Basisszenario um 45 % an.

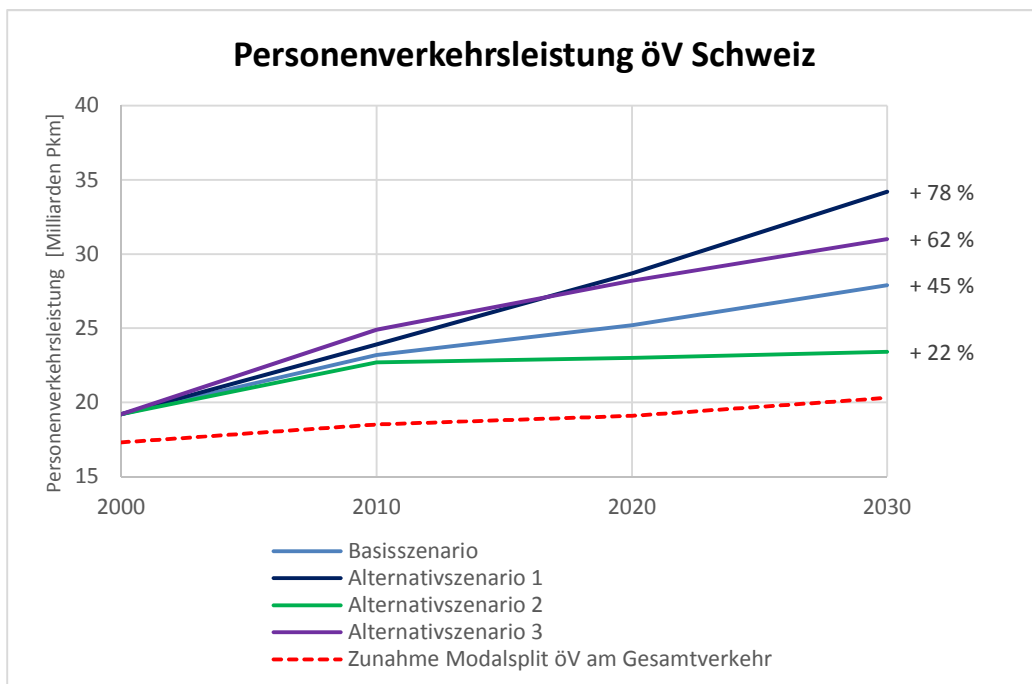


Abb. 2-1: Entwicklung der Personenverkehrsleistung im öV in der gesamten Schweiz nach Szenarien bis 2030 im Vergleich zum Basisjahr 2000 (100 %).

Für den Metropolitanraum Zürich als nationaler und internationaler Wirtschaftsstandort dürfte ebenfalls von einer weiteren Zunahme des Verkehrs ausgegangen werden.

In der Stadt Zürich bildet der westliche Stadtteil Richtung Limmattal ein grosses Entwicklungsgebiet. Dank seiner optimalen Erschliessung durch die Verkehrsträger und den grossen, bebaubaren Flächen, welche auf die Präsenz von ehemaligen Industriebetrieben hinweisen, bietet Zürich-West gute Voraussetzungen für weiteres Wachstum innerhalb der Stadt Zürich.

Diese Wachstumsgebiete nördlich und südlich der Gleisanlagen um den Bahnhof Hardbrücke ist in der Abb. 2-2 dargestellt.

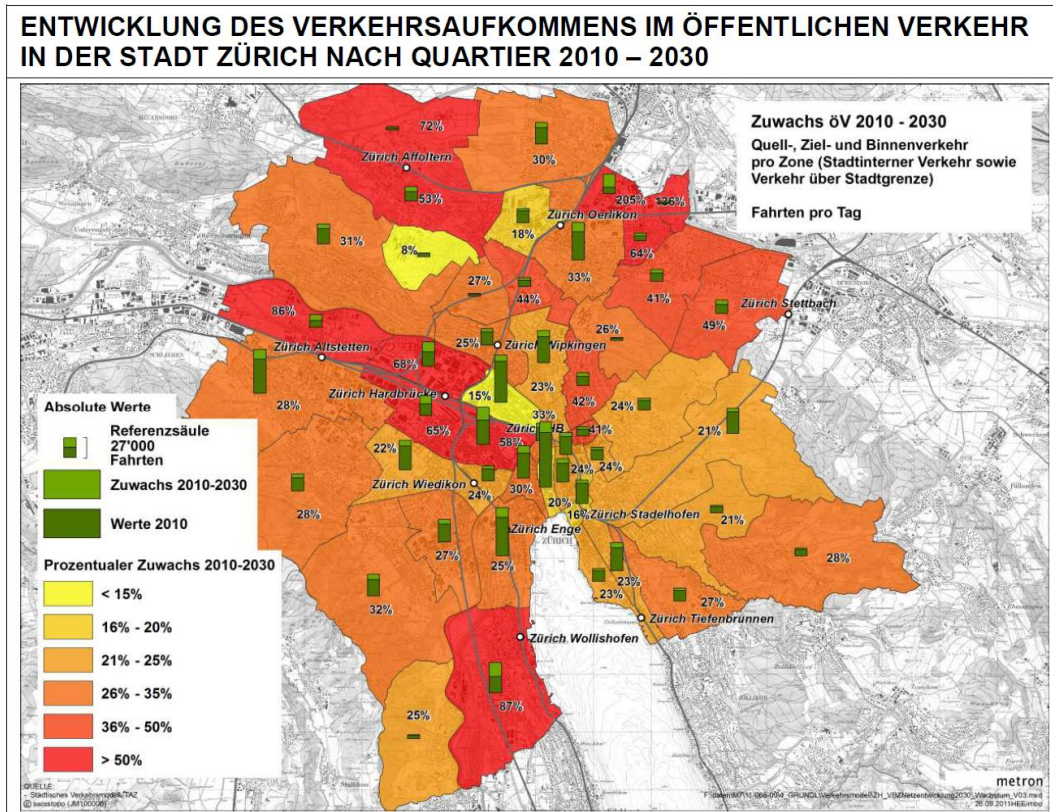


Abb. 2-2: Entwicklung des Verkehrsaufkommens beim öV in der Stadt Zürich im Zeitraum 2010-2030. [2, p. 24].

Der Bahnhof Hardbrücke ist für den Stadtteil Zürich-West ein zentraler und bedeutender Umsteigeknoten. Aufgrund der verzweigten Linienführung mit Bündelung im Bahnhof Hardbrücke befinden sich die Bahnsteige auf drei unterschiedlichen Niveaus. Dies beschränkt die maximale Beförderungskapazität auf rund 55'000–60'000 Personen pro Tag. Mit der Einführung der 4. Teilergänzung der S-Bahn Zürich und dem erwarteten Fahrgastzuwachs wird diese Grenze bald erreicht sein [3]. Die Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) realisieren bis 2018 eine Tramverbindung über die Hardbrücke und werten damit den Bahnhof Hardbrücke als Umsteigeknoten weiter auf [2, p. 10].

Mit der Inbetriebnahme der Durchmesserlinie im Juni 2014 von Altstetten über Zürich Hauptbahnhof (HB) und weiter nach Oerlikon wird die Leistungsfähigkeit des S-Bahn- und Fernverkehrsnetzes zusätzlich erhöht. Um den Bahnhof Hardbrücke für das darüber hinausgehende Wachstum im Hinblick auf die «Zürcher S-Bahn 2G» auszugleichen, sind Bestrebungen im Gang, die Gleis- und Publikumsanlagen umzugestalten. Weiter ist im innerstädtischen Bereich im Bahnhof Stadelhofen ein viertes Gleis geplant. Dieser Ausbau ist zwingend nötig für die Entflechtung der beiden Linien in Richtung Stettbach und Tiefenbrunnen. Für die angestrebte Zugfolgezeit von 90 Sekunden sowie die notwendige Fahrplan- und Betriebsstabilität bei der «Zürcher S-Bahn 2G» sind diese Ausbauten unverzichtbar.

2.2 Leuchtturmprojekt «Zürcher S-Bahn 2G»

Das S-Bahn-Netz stösst an immer mehr Orten an seine Grenzen. Zur Beseitigung von Engpässen und einer weiterhin hohen Verfügbarkeit ist eine Reihe von Ausbauschritten vorgesehen. Die erste Massnahme wird ab Juni 2014 mit der Eröffnung des Durchgangsbahnhofs Löwenstrasse unter dem HB umgesetzt und findet ihren Abschluss mit dem Fahrplanwechsel im Dezember 2014. Ein weiterer Ausbauschritt im Rahmen der 4. Teilergänzung der Zürcher S-Bahn wird zwischen 2014 und 2018 realisiert.

Dieser ermöglicht einen Angebotsausbau und Taktverdichtungen im gesamten Kanton Zürich. Dennoch werden diese Massnahmen nur vorübergehend ausreichen, um den weiteren Fahrgastzuwachs aufnehmen zu können.

Die weiteren Entwicklungen, welche über die 4. Teilergänzung hinausgehen, fallen unter dem Begriff «Zürcher S-Bahn 2G» zusammen. Dabei handelt es sich um ein Leuchtturmprojekt des ZVV in Zusammenarbeit mit der SBB AG. «2G» steht für 2. Generation der Zürcher S-Bahn, nach deren Eröffnung im Jahr 1990.

Die Passagierzahlen dürften sich in den nächsten 20 Jahren gegenüber dem Jahr 2007 auf mehr als 700'000 Personen täglich verdoppeln [4]. Im Zeitraum von 2007 bis 2013 wuchsen die Passagierzahlen bereits um knapp 15 %. Das Projekt ist für den Zeitraum 2030–2050 vorgesehen und strebt eine Verdoppelung der verfügbaren Kapazität an [5]. Erreicht werden soll dies durch eine bessere Nutzung der bestehenden Infrastruktur. Die gesamte Zürcher S-Bahn soll umstrukturiert werden. Das Konzept sieht ein System mit zwei S-Bahn-Ringen vor: eine Innere S-Bahn (ISB) in den Zentren und angrenzenden Agglomerationen sowie einer Express S-Bahn (ESB) in peripher gelegenen Regionen. Die Innere S-Bahn bedient im Viertelstundentakt im Kernbereich sämtliche Stationen entlang einer Strecke. Um die hohen Anforderungen an einen Betrieb mit dichter Zugfolge erfüllen zu können, wird hier leistungsfähiges, stehplatzoptimiertes einstöckiges Rollmaterial eingesetzt (ISB 150) [6]. Dieses erlaubt schnelle Fahrgastwechsel und somit kurze Haltezeiten. Auf den Linien der Express S-Bahn verkehren weiterhin doppelstöckige Züge. Die Streckenabschnitte sind hier länger und die Taktdichte mit 30 Minuten etwas geringer. Deshalb sollen hier weiterhin möglichst viele Sitzplätze angeboten werden. Diese Züge verkehren jedoch teilweise ebenfalls auf Abschnitten der Inneren S-Bahn. Die Doppelstockzüge der ESB verkehren unter dem Namen «ESB 150» [6]. Das Umsteigen von der Express-S-Bahn zu den Zügen der Inneren S-Bahn geschieht an Umsteigeknoten an der Grenze zur Inneren S-Bahn (vgl. Abb. 2-3).

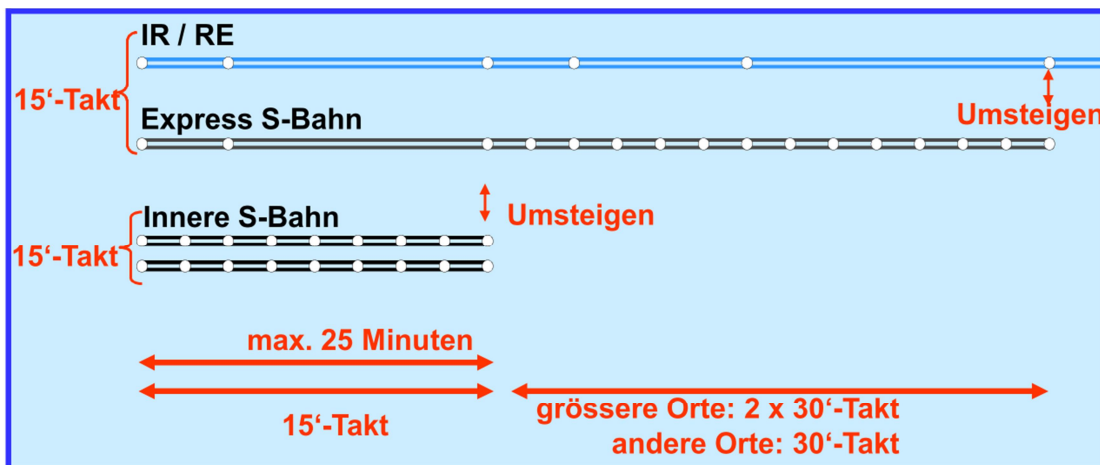


Abb. 2-3: Konzept der «Zürcher S-Bahn 2G» mit innerer und äusserer S-Bahn [7, p. 33].

Um kurze Zugfolgezeiten zu ermöglichen, halten die Züge der Express-S-Bahn im Kernbereich nur an wenigen Stationen. Auf dem Streckenabschnitt Hardbrücke–Stettbach soll damit die minimale Zugfolgezeit zwischen 85 und 95 Sekunden liegen [4]. Zugfolgezeiten von zwei Minuten und weniger sind auf den einzelnen Streckenabschnitten zwischen den Stationen realisierbar. Die Schwierigkeit der betrieblichen Umsetzung findet sich in den Knotenbahnhöfen. Durch eine noch kürzere Aufteilung der Blockabschnitte und der Verwendung des Zugsicherungssystems ETCS L2 wären nochmals kürzere Zugfolgezeiten realisierbar.

2.3 Rahmenbedingungen zur Bachelorarbeit

Hinsichtlich des Rollmaterials gehen die heutigen Planungen der SBB AG in Zusammenarbeit mit dem ZVV von einem einstöckigen ISB- und von einem doppelstöckigen ESB-Wagenkonzept aus. Als Referenz für den Wagenkasten sowie der Traktionseigenschaften der ISB (ISB 150) gilt dabei der FLIRT. Bei der ESB (ESB 150) ist dies bezüglich Wagenkasten der Regio-Dosto, kombiniert mit den Traktionseigenschaften des Doppelstock-Triebzuges (DTZ) [6].

Es wird von einer Zugfolgezeit von zwei Minuten ausgegangen, auch wenn bei der «Zürcher S-Bahn 2G» mit 90 Sekunden geplant wird [4]. Dies entspricht somit 30 Trassen pro Stunde und ist vom Netzauslastungsgrad her analog der S-Bahn München.

2.4 Eingrenzungen zur Bachelorarbeit

Das Betriebsgebiet wird durch die «Zürcher S-Bahn 2G» mit der Einführung einer Inneren und Express S-Bahn gegenüber dem Zustand der vierten Teilergänzung nicht ausgedehnt und beschränkt sich weiterhin auf ein normalspuriges, schienengebundenes Verkehrssystem.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf dem innerstädtischen Stammstreckenabschnitt Zürich Hardbrücke-Zürich Stettbach. Betrachtet wird nur die ISB. Die Züge der ESB, welche diesen Abschnitt ebenfalls befahren, werden nicht weiter betrachtet. Dieser Streckenabschnitt wird heute grundsätzlich nur von S-Bahnen befahren und weist eine hohe Bündelung von verschiedenen S-Bahn-Linien auf.

Die durchgeführten Simulationen mit dem Ziel der Optimierung der Fahrgastwechsel- und Haltezeiten beinhalten im Wesentlichen die Modellierung von Fussgängerströmen mit den erstellten Layouts an der Schnittstelle Fahrzeug/ Bahnsteig.

Die Zu- und Abgänge zu den Bahnsteigen werden nur teilweise betrachtet. Die Simulationen befassen sich mit einstöckigem Rollmaterial der ISB. Notwendige Anpassungen auf der Infrastrukturseite sind ebenfalls nur auf das einstöckige Rollmaterial ausgerichtet.

Das Konzept setzt ein standardisiertes, zielgenaues Anhalten an definierten Haltepunkten voraus. Damit werden markierte Aufenthaltsbereiche auf den Bahnsteigen ermöglicht. Diese Arbeit geht nicht vertieft auf die technischen Möglichkeiten dieser den Lokführer unterstützenden Form des Anhaltens ein.

Ebenso wird nicht detailliert auf bestehende Grundlagen¹ eingegangen, sondern der Fokus auf die Lösungsfindung zukünftiger Fahrgastaufkommen und Personenflüsse gelegt.

¹ Bestehende Grundlagen für diesen Bericht sind [8], [9] und [40].

3 Vorgehen beim Erstellen dieser Bachelorarbeit

Für die vorliegende Arbeit wurden zahlreiche Interviews, Begehungen vor Ort und eine Literaturrecherche durchgeführt. Die einzelnen Prozessschritte sind im nachfolgenden beschrieben.

3.1 Prozess zur Beantwortung der Aufgabenstellung

Die Abb. 3-1 zeigt den schematischen Ablauf dieser Bachelorarbeit auf. Die Arbeit begann mit dem Vorstellen des Themas bei der SBB AG, welche sich anschliessend als Industriepartner zur Verfügung stellte. Die Definition und klare Eingrenzung des Themas wurden ebenfalls während des ersten Interviews in Bern im Februar 2014 festgelegt (Kapitel 1 und 2).

Anlässlich einer zweitägigen Exkursion nach München konnte das S-Bahn System beobachtet und wertvolle Erfahrungen der DB Regio AG in einem Expertengespräch thematisiert werden. Mehrere Führerstandsfahrten ermöglichten Einblicke in die komplexen betrieblichen Abläufe in München und später auf dem Netz der Zürcher S-Bahn. Diese beiden Begehungen wurden zudem dafür genutzt, um den realen Fahrgastwechsel zu beobachten und zu messen. Die Erkenntnisse aus den durchgeführten Interviews bei der SBB AG und der DB Regio AG sowie die erhobenen Daten von Fahrgastwechseln beim eingesetzten Rollmaterial, bildeten die Grundlagen für die Erstellung eines eigenen Fahrzeuglayouts und die spätere Simulation.

Die Recherche beinhaltete weitere Praxisbeispiele wie den RBS-Bahnhof Bern oder das Schienennahverkehrssystem in Bangkok. Der überwiegende Teil der Literaturrecherche diente jedoch zur Erarbeitung von mathematischen Grundlagen der Personenhydraulik und der Evaluierung eines geeigneten Simulationstools für die zu beantwortende Fragestellung (Kapitel 4 bis 6).

Ein neues, von den Autoren entworfenes Fahrzeuglayout für die ISB wurde in bestehende Bahnhofsanlagen implementiert. Durch Anpassungen am Layout konnten anschliessend weitere Verbesserungen erzielt werden. Parallel dazu wird auf einzelne Hypothesen der Arbeit eingegangen (Kapitel 7).

Die darauf folgenden Schritte enthalten das Übertragen des modifizierten, eigenen Fahrzeuglayouts in ein Tool für Fussgängersimulationen. Durch Anpassung von bestimmten Modellparametern konnten verschiedene Szenarien realitätsnah, auch in bestehenden Bahnhofsanlagen, simuliert werden (Kapitel 8). Die Ergebnisse liessen sich im Anschluss auswerten und mit der Ist-Situation vergleichen, so dass sich abschliessend ein Fazit über das neue Ein-/ Ausstiegskonzept bei S-Bahn Zügen ziehen liess. Diese Ergebnisse und die weiteren Schritte sind im vorliegenden Bericht dokumentiert (Kapitel 9 und 10).

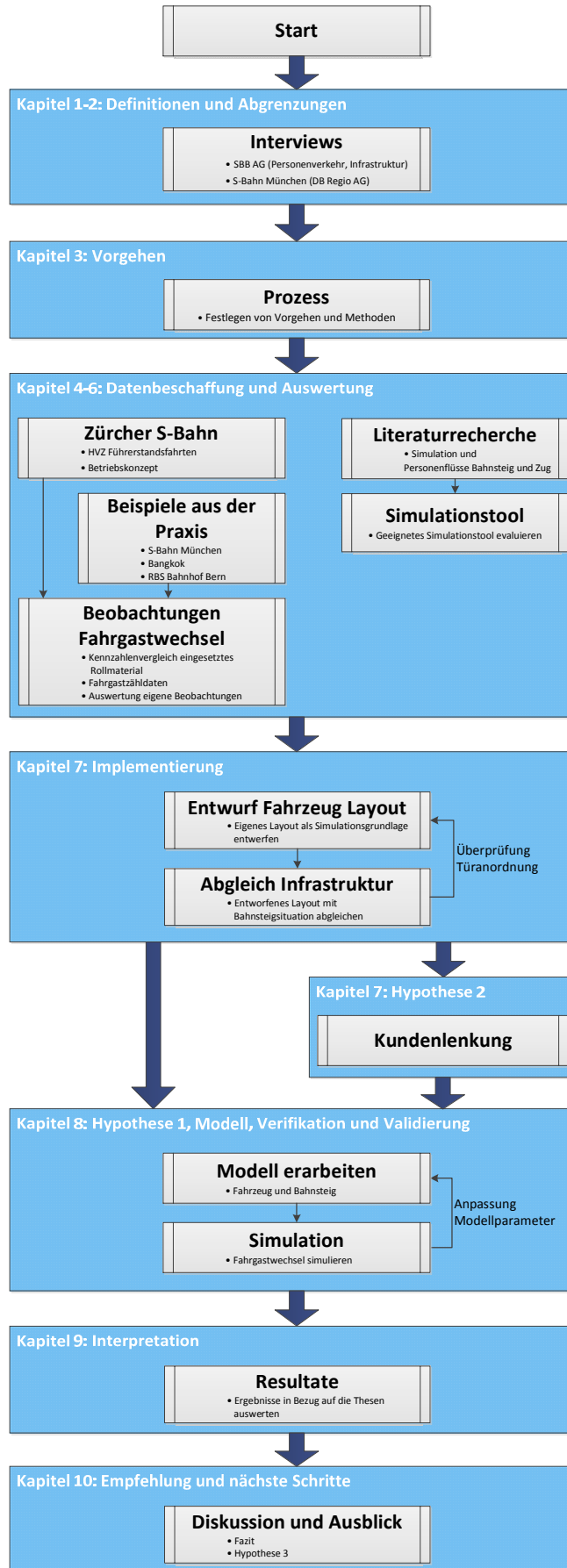


Abb. 3-1: Prozessablauf für die Erstellung dieser Bachelorarbeit.

3.2 Verwendete Software

Um die Fahrgastwechselkennzahlen zu ermitteln wurden hauptsächlich zur Hauptverkehrszeit am Morgen sowie am Abend über mehrere Wochen verteilt Videos auf verschiedenen Regionalverkehrsfahrzeugen aufgenommen (vgl. Kapitel 6.5). Mittels eines in *Excel* programmierten Makros wurden die Beobachtungen der Fahrgastwechsel ausgewertet. Hierzu wurde bei der Videoauswertung jedem Passagier beim Durchqueren der Türöffnung ein Zeitstempel mitgegeben. Somit konnten die Anzahl beteiligter Personen am Fahrgastwechsel und die effektive Fahrgastwechselzeit gleichzeitig gemessen werden. Mit diesen Informationen liess sich anschliessend die spezifische Türleistungsfähigkeit berechnen, welche als wichtige Kenngrösse für zukünftige Fahrzeuglayouts dient.

Das entworfene Layout der Züge wurde mittels *MS Visio* massstäblich erstellt, als AutoCAD-Datei abgespeichert und anschliessend mit Hilfe des CAD-Programmes *QCad* in die realen Bahnhofspläne der vier betrachteten Stationen Hardbrücke, Museumstrasse, Stadelhofen und Stettbach integriert. Damit konnten die Züge und deren Länge optimal auf die bestehende Infrastruktur mit den Zu- und Abgängen abgestimmt werden.

Die Simulation der Fussgängerströme auf dem Bahnsteig, in den Zugteilen sowie während dem Fahrgastwechsel erfolgte mit dem Verkehrssimulationstool *PTV VISWALK* der PTV Group Karlsruhe. Weitere Details sind dem Kapitel 8, Simulation, zu entnehmen. Entwickelt wurde die Software an der Technischen Universität Karlsruhe. Das Programm wurde bisher noch nicht für die Simulation der Schnittstelle Fahrzeug/ Bahnsteig verwendet. In gewisser Weise stellt diese Arbeit deshalb eine Pionierleistung dar.

Die Resultate aus den verschiedenen Simulationsläufen mit bestehendem und zukünftigem Rollmaterial konnten mithilfe von *R Studio* statistisch ausgewertet werden.

4 Theoretische Grundlagen zum Fahrgastwechsel

4.1 Begriffe und Definitionen

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Begriffe, welche für eine quantitative Aussage zum Fahrgastwechsel gebräuchlich sind, beschrieben. Die aufgeführten Formeln und Definitionen stammen vollumfänglich aus [8] und sind hier nur ergänzend zum besseren Verständnis aufgeführt.

Fahrgastwechselzahl: Summe der Fahrgäste, welche an einer bestimmten Haltestelle oder Türe ein- und aussteigen.

$$F = E + A \quad (4.1)$$

wobei F Fahrgastwechselzahl an einer Haltestelle oder Türe [P]

Fahrgastwechselzeit: Zeitdauer, während welcher sich Fahrgäste durch den Querschnitt einer Türe bewegen. Die mittlere Fahrgastwechselzeit ergibt sich, indem die Fahrgastwechselzeit durch die Fahrgastwechselzahl dividiert wird. Sie kann auf eine bestimmte Türe oder ein ganzes Fahrzeug bezogen werden.

$$t_{h,fm} = \frac{t_{h,f}}{F} \quad (4.2)$$

wobei $t_{h,fm}$ Mittlere Fahrgastwechselzeit an einer Haltestelle oder Türe [s/P]
 $t_{h,f}$ Fahrgastwechselzeit an einer Haltestelle oder Türe [s]

Spezifische Fahrgastwechselzeit: Standardmass für die Fahrgastwechselzeit pro Person unter Berücksichtigung der Türbreite.

$$t_{h,fs} = \frac{t_{h,f} * \sum_{i=1}^N I_{T,bi}}{F} \quad (4.3)$$

wobei $t_{h,fs}$ Spezifische Fahrgastwechselzeit [sm/P]
 $I_{T,bi}$ Breite der Türe i [m]
 N Anzahl der betrachteten Türen [-]

Türleistungsfähigkeit: Kehrwert der mittleren Fahrgastwechselzeit. Sie gibt die Zahl der Fahrgäste an, welche pro Sekunde ein Fahrzeug bestiegen oder verlassen können. Die Türleistungsfähigkeit kann auch auf eine einzelne Türe bezogen werden.

$$L = \frac{1}{t_{h,fm}} = \frac{F}{t_{h,f}} \quad (4.4)$$

wobei L Leistungsfähigkeit des Türsystems des ganzen Kurses oder einer bestimmten Türe [P/s]

Spezifische Türleistungsfähigkeit: Standardmass der Türleistungsfähigkeit, bezogen auf den lichten Querschnitt (Lichte Weite) der Türe. Sie ist der Kehrwert der spezifischen Fahrgastwechselzeit.

$$L_s = \frac{1}{t_{h,fs}} \quad (4.5)$$

wobei L_s Spezifische Türleistungsfähigkeit [P/sm]

Spezifische Türbelastung: Mass für die Beanspruchung des Türsystems. Zahl der Personen im Referenzzustand bezogen auf die zur Verfügung stehende Türbreite. Der Referenzzustand kann durch die Maximalauslastung oder durch einen anderen Auslastungsgrad definiert sein.

$$Q_{T,s} = \frac{F_R}{\sum_{i=1}^N l_{T,bi}} \quad (4.6)$$

wobei $Q_{T,s}$ Spezifische Türbelastung [P/m]
 F_R Anzahl Fahrgäste im Referenzzustand [P]

Die Haltezeit an einer Station setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, einem festen sowie einem variablen Anteil. Der feste Anteil wird hauptsächlich durch die technischen Prozesszeiten bestimmt. Dazu kommen die Reaktionszeiten des Fahrpersonals und der Fahrgäste beim Öffnen und Schliessen der Türen. Die Haltezeit beginnt zum Zeitpunkt des Anhalterucks und endet beim Anfahrdruck. Der feste Anteil wird im Wesentlichen durch die Bauart der Türen und der Dauer der Teilprozesse während dem Haltevorgang bestimmt. Der variable Anteil ist hauptsächlich abhängig von der Fahrgastwechselzahl und der Leistungsfähigkeit des Türsystems. Für die Simulationen im Kapitel 8 wurde nur der variable Anteil «Fahrgastwechsel» betrachtet.

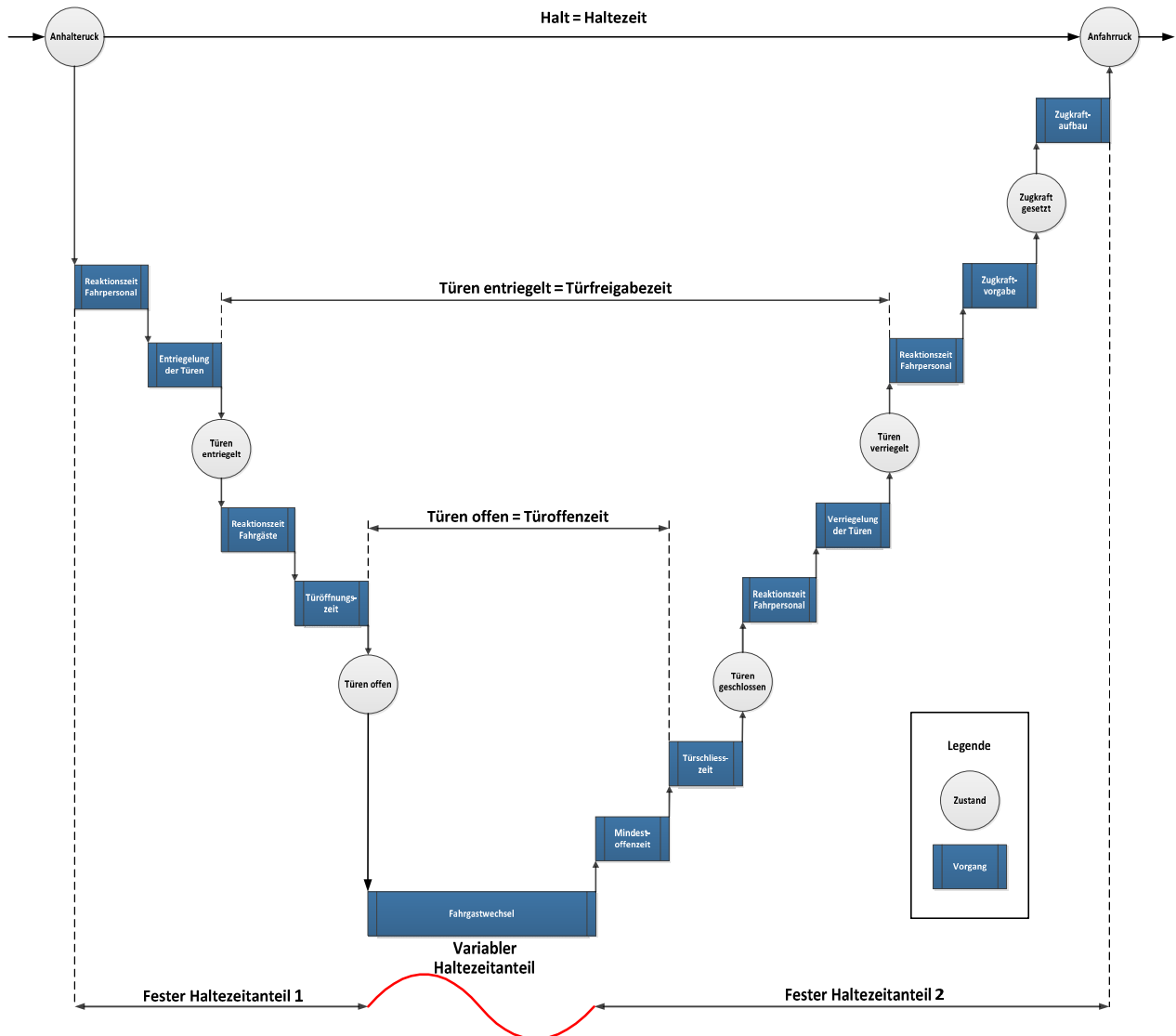


Abb. 4-1: Prozessablauf eines Haltevorganges und den gegenseitigen Abhängigkeiten [8, p. 10], bearbeitet.

4.2 Modellierung und Simulation von Personenströmen

Bei den Simulationen im Verkehrswesen unterscheidet man grundsätzlich die zwei Arten makroskopisch und mikroskopisch.

Makroskopische Simulation: Bei dieser Art der Simulation interessiert nicht die Dynamik einzelner Verkehrsteilnehmer wie einzelne Autos oder auch Fussgänger, sondern viel mehr die Gesamtdynamik eines Verkehrssystems. Makroskopische Modelle werden vor allem für die Simulation von grossen Flächen wie beispielsweise dem Verkehr auf Autobahnabschnitten verwendet.

Mikroskopische Simulation: Ist das Verhalten einzelner Verkehrsteilnehmer von Interesse, z.B. bei Detailuntersuchungen auf kleineren Räumen, wird der mikroskopische Ansatz gewählt. Hierbei werden alle relevanten Eigenschaften der betrachteten Verkehrsteilnehmer berücksichtigt. Bei Autos sind dies beispielsweise die individuellen Abmessungen oder Beschleunigungswerte, bei Fussgängern kann dies der Körperumfang oder die Gehgeschwindigkeit sein. Ausserdem wird die Wechselwirkung zwischen den betrachteten Einheiten individuell berechnet und dargestellt.

Bei den mikroskopischen Simulationstools hat sich im Bereich Personenfluss in den letzten Jahren der Ansatz des «Social Force» etabliert. Dieser wurde von Helbing et al. um 1995 entwickelt [9].

Dabei handelt es sich um eine Art sozialer Wechselwirkung zwischen den Fussgängern, die auf physikalischen Prinzipien aufbauen. Die Fussgänger (Agenten) können sich dabei völlig frei auf den begehbaren Flächen bewegen. Sie folgen Potenzialfeldern und beeinflussen sich gegenseitig mit abstossenden Kräften. Durch einfache Vektoraddition entstehen bei Begegnungen mit anderen Fussgängern resultierende Kräfte, welche wiederum Rückschlüsse auf neue Beschleunigungen (Gehgeschwindigkeiten) zulassen. Das Ganze basiert auf dem Newton'schen Gesetz: Kraft gleich Masse mal Beschleunigung ($F = m * a$).

Ein weitere Möglichkeit der Fussgängersimulation sind die sogenannten zellulären Automaten. Bei dieser Methode ist der Bewegungsfluss gegenüber dem Social Force-Ansatz leicht eingeschränkt. Die begehbaren Flächen sind in Zellen eingeteilt. Die Agenten können sich somit in jede beliebige, freie Nachbarzelle bewegen. Die Wahl der nächsten Zelle hängt unmittelbar vom eigenen und den benachbarten Zellenzuständen ab.

4.3 Literaturrecherche zur Simulation von Personenströmen

Um herauszufinden, was auf dem Gebiet der Fussgängersimulation, insbesondere bei solchen mit der Schnittstelle Bahnsteig/ Fahrzeug Stand der Technik ist, wurde zu Beginn dieser Arbeit eine Literaturrecherche durchgeführt. Obwohl sich ein Grossteil der recherchierten Dokumente ausschliesslich mit der Betrachtung von Fussgängerströmen, deren spezifischen Eigenschaften sowie Besonderheiten auseinandersetzt, wurden auch verschiedene Ansätze zur Untersuchung des Ein- und Ausstiegsprozesses im Bahnverkehr gefunden. Eine tabellarische Übersicht der dabei erwähnten oder eingesetzten Simulationstools ist in der Tabelle 4-1 ersichtlich.

Im Auftrag der «Transport for New South Wales (TfNSW)» suchte DOUGLAS Economics [10] eine alternative Berechnungsmethode für die Haltezeiten von Zügen. Bezüglich Simulationstechnik kamen sie zum Schluss, dass es momentan auf dem Markt kein Simulationstool gibt, welches vorsieht die Situation Zug und Bahnsteig abzubilden. Eine Möglichkeit wurde jedoch aufgezeigt: Die Resultate einer Stationssimulation könnten als Input für eine Bahnbetriebssimulation oder umgekehrt verwendet werden. Als denkbare Kombination schlugen sie *LEGION* und *RailSys* vor.

Eine kombinierte Betrachtungsweise Zug/ Bahnhof ist in [11] ersichtlich. Mit dem Simulationstool *CLICSim* (City Loop and Inner Core) wurde mit einer agentenbasierten Simulationstechnik das sogenannte «crowding» (Gedränge) in Zügen und am Bahnhof Melbourne untersucht. Allerdings lag der Fokus hierbei nicht auf

spezifischen Rollmaterialeigenschaften oder Haltezeiten, sondern auf den Personenflüssen aller ein- und aussteigenden Passagiere an einem Tag durch die gesamte Bahnhofsanlage.

Im Rahmen einer Diplomarbeit an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich wurden in [12] verschiedene Simulationstools zur Planung von Umsteigeanlagen untersucht. Dabei stellte sich in Bezug auf die Simulation eines Fahrgastwechsels heraus, dass die verwendeten Tools *SimWalk* und *SimPed* noch nicht vollumfänglich in der Lage sind, die dynamischen Prozesse eines Fahrgastwechsels ab- bzw. nachzubilden.

Ein interessanter Ansatz, um die gewünschte Simulation Zug/ Bahnsteig zu ermöglichen, wird in [13] beschrieben. Mit dem Simulationstool *Starlogo* soll der Einfluss verschiedener Grössen von Gruppierungen während des Ein- und Ausstiegsprozesses der Metro in Beijing untersucht werden. Dabei wurden das Fahrzeuglayout und der Bahnsteig in Zellen eingeteilt, die jeweils nur von einem Agent besetzt sein können. Mit unterschiedlichen Energielevels (Druck, Gedränge von Passagieren), Verhaltensregeln bezüglich der nächsten Zellenwahl sowie Zielflächen im Fahrzeuginneren wurden die Fahrgastwechselsituationen simuliert.

Die Société Nationale des Chemins de Fer Français (SNCF) geht bereits so weit, dass sie zukünftige Fahrzeuglayouts dahingehend optimieren wollen, um die Haltezeiten und die derweil chaotisch ablaufenden Fahrgastwechsel verkürzen zu können. In [14] stellten die Autoren anlässlich des 9. World Congress on Railway Research (WCRR) in Lille ihre Studie vor. Zusammen mit der Firma Golaem wurde ein Simulationstool, inklusive Konfigurationseditor (Zug/ Bahnsteig) zur Nachbildung von Fahrzeugen und Bahnsteigen, entwickelt. Das Tool kann Fahrzeuglayouts mit verschiedenen Sitzanordnungen, Türbreiten, Plattformhöhen und variabler Anzahl der Stufen zur Plattform abbilden. Da es speziell für den Fahrgastwechsel ausgelegt ist, bietet es zusätzlich eine Vielzahl an Parametern für die Simulation der Agenteneigenschaften an. Dieses Tool wurde bei der SNCF angefragt. Leider kam keine Antwort innert nützlichen Frist für diese Arbeit.

Anlässlich eines Interviews mit der Division Infrastruktur der SBB AG für diese Arbeit stellte sich heraus, dass das Simulationstool *VISSIM* bzw. *VISWALK* verwendet wird [15]. *VISSIM* ist ein multimodales Simulationstool der PTV Group Karlsruhe und eignet sich vor allem, um die verschiedenen Verkehrsabläufe beim motorisierten Individualverkehr (MIV) oder öV zu untersuchen. Das Akronym *VISSIM* steht dabei für «Verkehr in Städten–Simulationsmodell». Mit dem Zusatzprodukt *VISWALK* können ausserdem Fussgänger auf mikroskopischer Ebene simuliert werden. Da dieses Tool bereits bei der SBB AG verwendet wird und es sich für die Untersuchung der Thesen dieser Arbeit eignet, fiel die Wahl für die Weiterarbeit auf *VISSIM* bzw. *VISWALK*. Die PTV-Group erklärte sich bereit, die erwähnten Produkte im Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit zur Verfügung zu stellen.

Simulationstool	Typ	Prinzip
ClicSim	Agentenbasiert, Mikroskopische Simulationsebenen	Entscheidungsbasierte Zugzuteilung in Verbindung mit Fussgängermodell
Legion	Agentenbasiert, Mikroskopische Simulationsebene	Geringster Aufwand
SimPed	Mikro- und Makroskopische Simulationsebene	Geringster Aufwand
SimWalk	Agentenbasiert, Mikroskopische Simulationsebene	Social Force
Starlogo	Agentenbasiert, Mikroskopische Simulationsebene	Zellulärer Automat, Potentialfelder
PTV VISWALK	Agentenbasiert, Mikroskopische Simulationsebene	Social Force

Tabelle 4-1: Übersicht der eingesetzten Simulationstools aus der Literaturrecherche.

4.4 Einflussfaktoren beim Fahrgastwechsel

Aus der oben erwähnten Literatur, aus [8] sowie mit eigenen Beobachtungen konnten die wesentlichen Einflussgrößen beim Fahrgastwechsel identifiziert werden. Wichtiges Merkmal in Bezug auf die geplanten Simulationen ist, dass es sich bei den Fahrgastwechsel- und Haltezeiten um reine Zufallsgrößen handelt. Dies hängt mit der beträchtlichen Anzahl an Freiheitsgraden bei einem Fahrgastwechsel zusammen. Die spezifische Türleistungsfähigkeit eines Zuges oder einer einzelnen Türe wird massgeblich durch die Verteilung auf den Bahnsteigen bestimmt. Diese ist wiederum direkt mit den Zu- und Abgängen der Bahnsteiganlage verknüpft.

Die Abb. 4-2 zeigt die Einflussgrößen in Abhängigkeit des jeweiligen Prozessschrittes des Fahrgastwechsels.

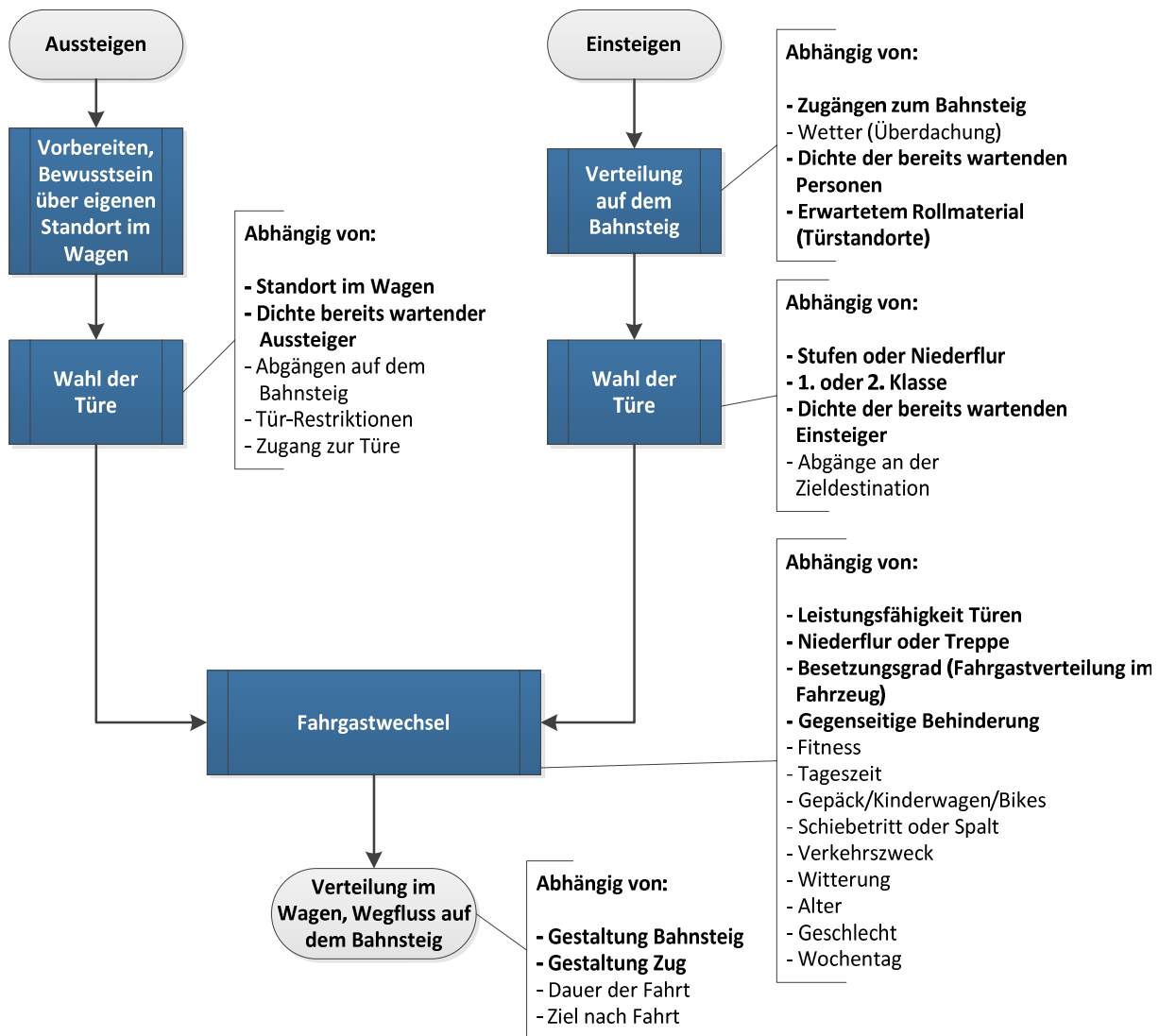


Abb. 4-2: Wesentliche Einflussgrößen des Fahrgastwechsels bei der S-Bahn. Die Priorisierung der Einflussgrößen wurde aus Autorsicht absteigend nach deren Wichtigkeit sortiert. Die fett gedruckten Einflussgrößen sind dabei als massgebend eingestuft und werden bei den Simulationen sowie dem weiteren Verlauf dieser Arbeit berücksichtigt.

5 Betriebskonzept im Kernbereich der Zürcher S-Bahn

Das Netz der Zürcher S-Bahn ist heute das am grössten zusammenhängende S-Bahn-Gebiet der Schweiz. Einzelne Linien dieses flächendeckenden Systems im Kanton Zürich führen in die angrenzenden Kantone. Die Linien sind mehrheitlich als Durchmesserlinien durch den Zürcher Hauptbahnhof konzipiert. Davon werden wiederum viele auf dem Abschnitt im Kernbereich Hardbrücke–Stadelhofen gebündelt. Dies ist in der Abb. 5-1 ersichtlich.

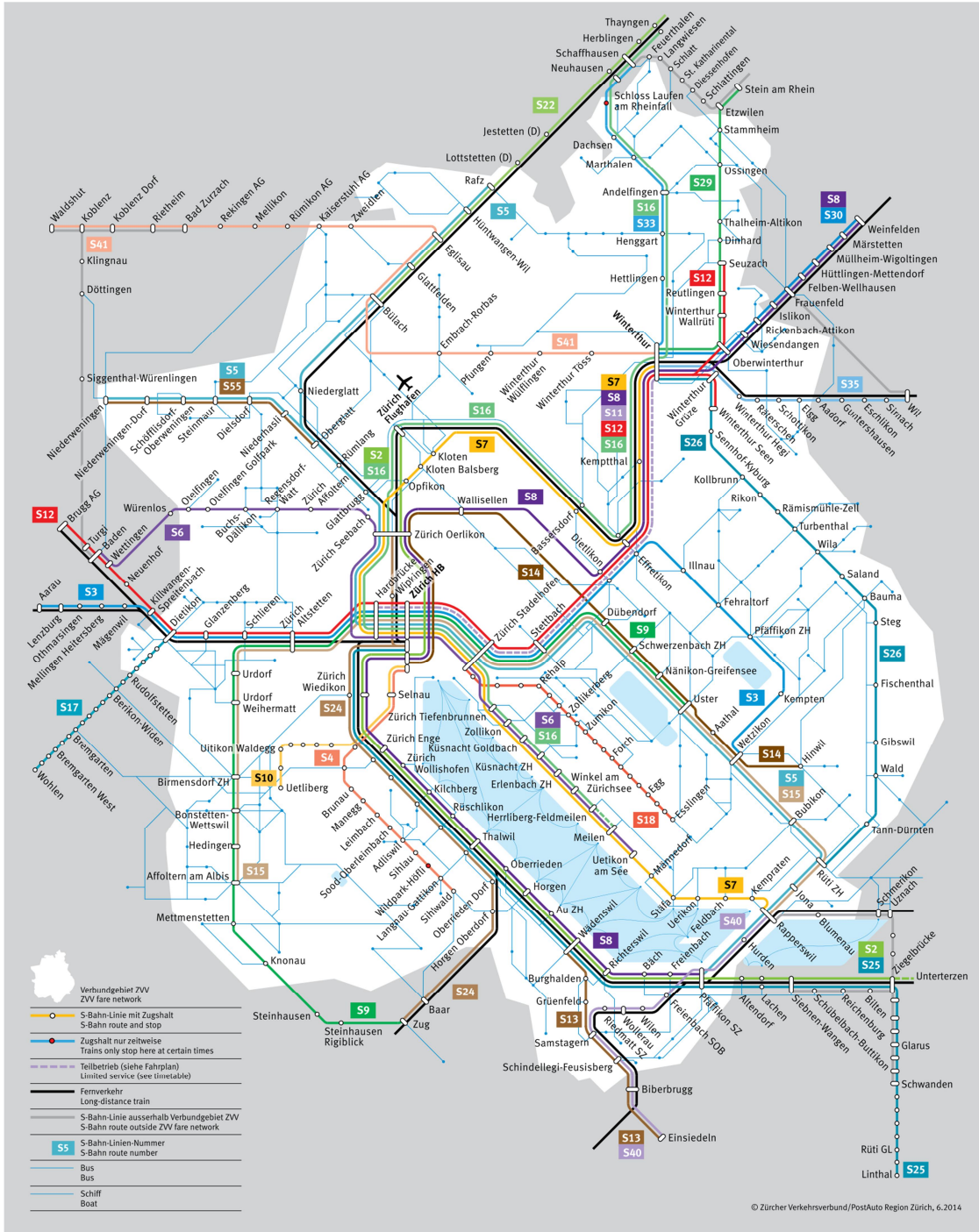


Abb. 5-1: Liniennetzplan des ganzen Zürcher Verbundgebiets [16].

Zur Erlangung von wichtigen Erkenntnissen legten die Autoren den Fokus auf das Betriebskonzept im Abschnitt Hardbrücke–Stettbach/ Tiefenbrunnen. Damit konnte der am stärksten befahrene Abschnitt vom Westen Zürichs weiter Richtung Nord- und Südosten sowie entlang des nördlichen Ufers des Zürichsees untersucht werden. Während der abendlichen HVZ an einem Montag wurde der Betrieb auf mehreren Führerstandsfahrten beobachtet.

5.1 Bahnhöfe im Kernbereich der Zürcher S-Bahn

Nachfolgend werden die einzelnen Bahnhöfe im Kernbereich vorgestellt. Auf diesem Abschnitt werden die meisten S-Bahn-Linien des Gesamtnetzes der Zürcher S-Bahn gebündelt.

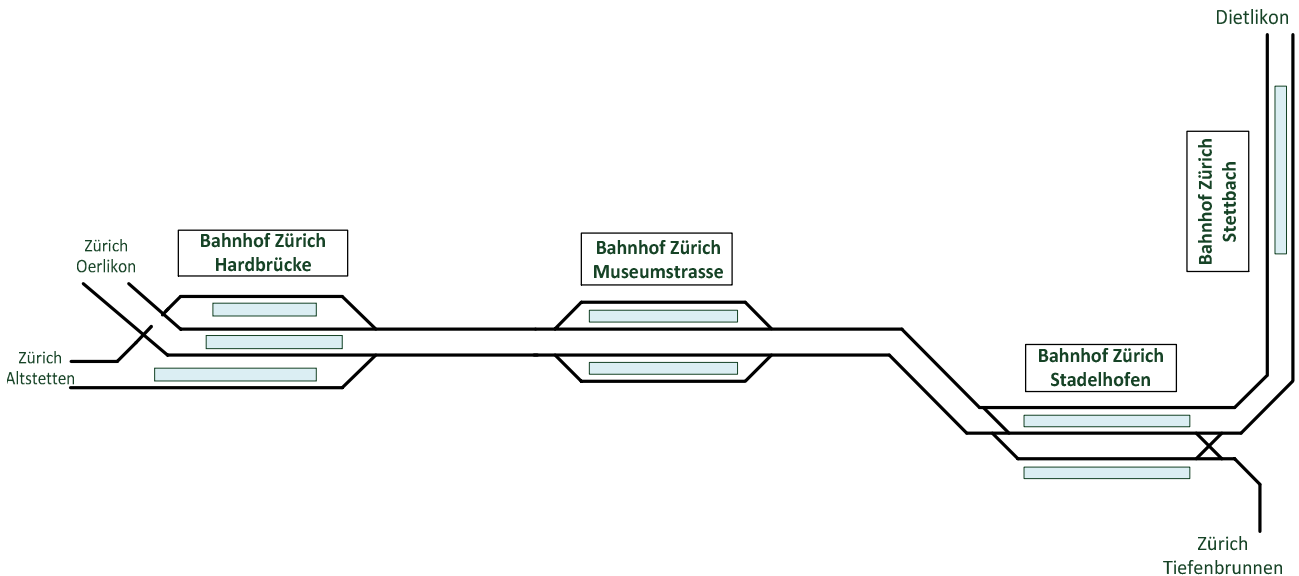


Abb. 5-2: Übersicht über den untersuchten Streckenabschnitt im Kernbereich.

5.1.1 Zürich Hardbrücke

Der Bahnhof Hardbrücke liegt knapp zwei Kilometer westlich des Zürcher Hauptbahnhofs. Die Publikumsanlagen verfügen über vier Gleise. Pro Fahrriichtung werden im Regelbetrieb zwei Gleise bedient. Wie üblich in der Schweiz herrscht auf einem doppelspurigen Streckenabschnitt Linksverkehr. Unmittelbar östlich der Bahnsteige vereinigen sich die vier Gleise auf eine Doppelspur, welche weiter in Richtung Bahnhof Museumstrasse führt (vgl. Abb. 5-3).

Über das gesamte Gleisareal verläuft oberhalb der Bahnsteige die namensgebende Hardbrücke. Im Bahnhof Hardbrücke verzweigen sich die Linien in westlicher Richtung weiter nach Altstetten sowie nordwärts direkt nach Oerlikon. Dabei steigen die beiden mittleren Gleise 2 und 3 im Bahnhof selbst an, um das Gleis 1, welches nach Altstetten führt, zu überqueren und dann weiter Richtung Oerlikon zu schwenken. Dies führt zur Besonderheit des Bahnhofs Hardbrücke, dass nur der mittig angeordnete Bahnsteig ein Mittelbahnsteig ist. Die beiden äusseren Bahnsteige werden jeweils nur von den Gleisen 1 und 4 erschlossen. Der Zugang zu den drei Bahnsteigen erfolgt einerseits über Treppen und Lifte von der Hardbrücke her, andererseits via Unterführung von den nördlich angeschlossenen Strassen.

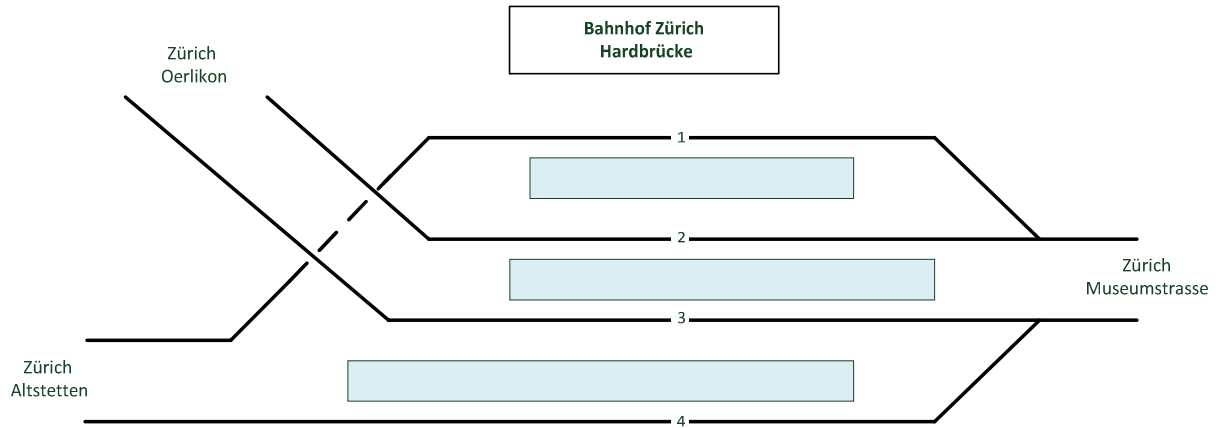


Abb. 5-3: Gleis topology im Bahnhof Hardbrücke mit den drei Bahnsteigen.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Situation am Bahnhof Hardbrücke auf.



Abb. 5-4: Links ist der Bahnsteig mit Gleis 1 abgebildet. Auf dem rechten Bild fährt die S7 aus Oerlikon kommend auf Gleis 2 ein.



Abb. 5-5: Via Treppen und Lift gelangt man von der Hardbrücke zu den Bahnsteigen. Auf der Hardbrücke bestehen Umsteigemöglichkeiten zu städtischen Buslinien.



Abb. 5-6: Die Züge auf Gleis 4 verkehren weiter westwärts in Richtung Altstetten.

5.1.2 Zürich Museumstrasse

Der Bahnhof Museumstrasse ist in den Zürcher Hauptbahnhof eingegliedert und dient ausschliesslich der Bedienung von S-Bahnen. Die komplette Anlage ist unterirdisch auf vier Gleisen mit zwei Mittelbahnsteigen ausgebaut, wie in der Abb. 5-7 ersichtlich.

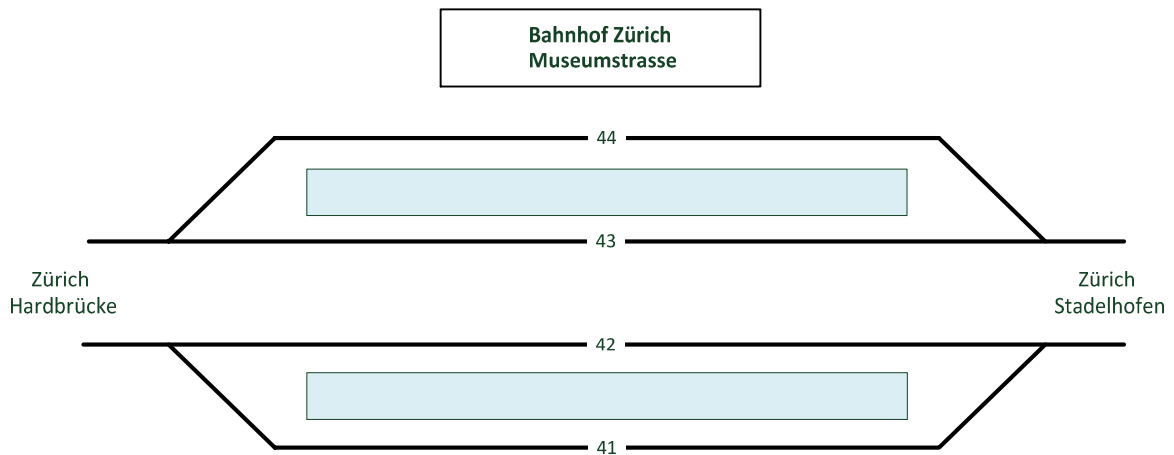


Abb. 5-7: Der unterirdische Bahnhof Museumstrasse mit den vier Durchgangsgleisen.

Im Regelbetrieb benutzen die Züge in westlicher Fahrtrichtung die Gleise 41 und 42. Die Züge mit östlicher Fahrtrichtung nach Stadelhofen benutzen die Gleise 43 und 44. Um die Zugfolgezeit möglichst zu reduzieren, müssen die Züge einander in kurzen Zeitabständen folgen. Dazu werden die aufeinander folgenden Züge alternierend auf die Gleise 41/42 und 43/44 geleitet. Somit kann beispielsweise nach Ankunft des ersten Zuges auf Gleis 41 der kurz darauf folgende Zug auf Gleis 42 geleitet werden.

Den Kunden auf den Bahnsteigen wird die Ankunft des Zuges auf den Monitoren angekündigt, wie in Abb. 5-8 ersichtlich.



Abb. 5-8: Anzeigemonitore auf den Bahnsteigen im Bahnhof Museumstrasse zeigen die Ankunft auf dem jeweiligen Gleis an.

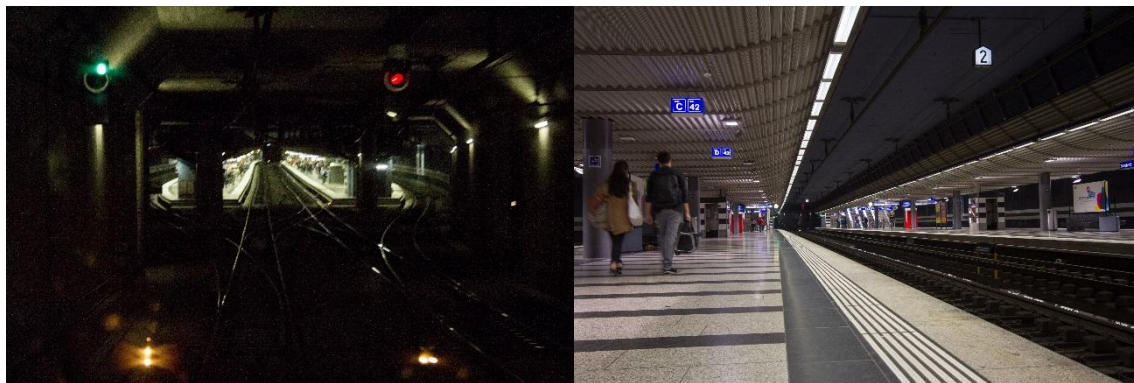


Abb. 5-9: Der Zug fährt von Hardbrücke kommend in den Bahnhof Museumstrasse in das Gleis 43 ein. Das Bild rechts zeigt die Publikumsanlagen mit den Personenaufgängen zum Zürcher Hauptbahnhof.

5.1.3 Zürich Stadelhofen

Zwischen den Bahnhöfen Museumstrasse und Stadelhofen verläuft die Strecke komplett in Tunnels und unterquert unter anderem die Limmat. Im Bahnhof Stadelhofen treffen die Linien aus Winterthur–Stettbach und Meilen–Tiefenbrunnen zusammen (vgl. Abb. 5-10). Mit seinen drei Gleisen bildet er das Nadelöhr im Kernbereich der Zürcher S-Bahn. Das Gleis 3 kann nur für Züge in Richtung Stettbach und weiter nach Winterthur genutzt werden. Züge nach Stettbach und Tiefenbrunnen treffen in Stadelhofen nicht kreuzungsfrei ein, was bedeutet, dass die Ankünfte und Abfahrten aufeinander abgestimmt werden müssen. Dies hat einen massgeblichen Einfluss auf die Fahrplangestaltung und Streckenkapazität in diesem Abschnitt.

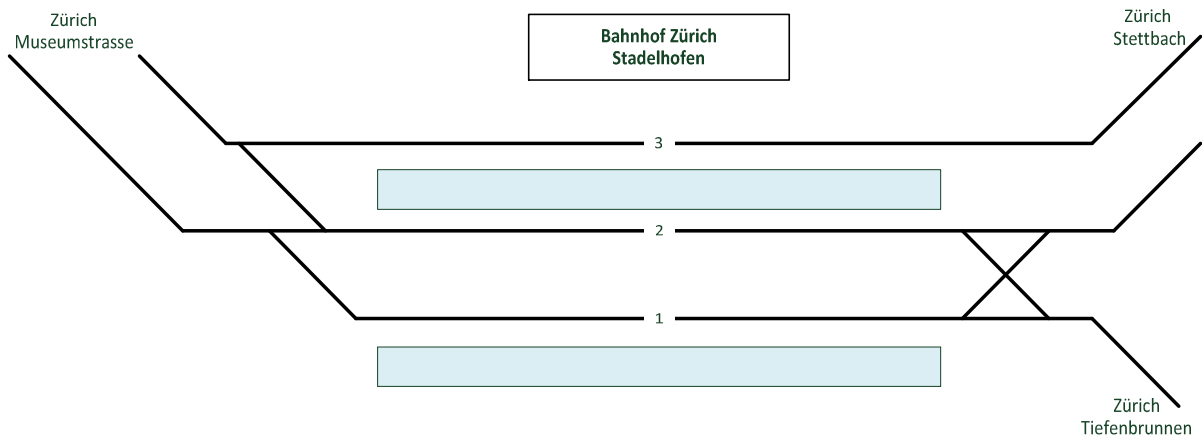


Abb. 5-10: Im Bahnhof Stadelhofen verzweigen sich die Linien in Richtung Stettbach und Tiefenbrunnen.

Für einen Ausbau der Kapazität ist ein viertes Gleis notwendig. Dies wird jedoch dadurch erschwert, dass das Bahnhofsgleis 3 mitten in der Stadt Zürich an die ansteigende Topografie angepasst ist.

Die Gleise 2 und 3 sind über den Mittelbahnsteig sowie Unter- und Überführungen erreichbar (vgl. Abb. 5-12). Der Bahnsteig 1 mit dem Aufnahmegebäude führt direkt auf den vor dem Bahnhof liegenden Platz. Dieser bildet einen wichtigen Umsteigeknoten auf die städtischen und regionalen Tram- und Busverbindungen.

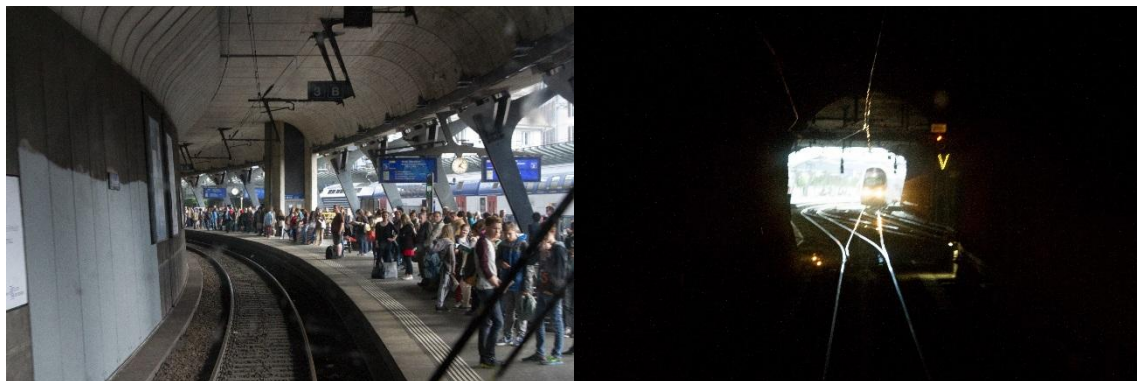


Abb. 5-11: Einfahrt in Gleis 3 erlaubt nur eine Weiterfahrt in Richtung Stettbach. In Bild rechts ist die einspurige Einfahrt aus Tiefenbrunnen in den Bahnhof Stadelhofen abgebildet.

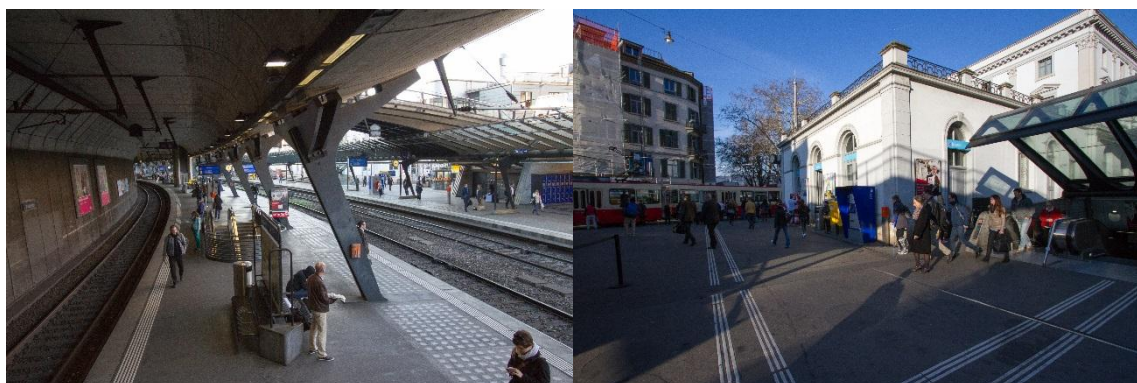


Abb. 5-12: Die Gleise 2 und 3 sind nur über Unter- und Überführungen erreichbar. Der Bahnhofplatz bildet einen wichtigen Umsteigeknoten in städtischen Verkehrsnetz.

5.1.4 Zürich Stettbach

Der Bahnhof Stettbach bildet in Zürich-Nord ebenfalls einen wichtigen Umsteigeknoten zu den städtischen Tram- und Busverbindungen. Die unterirdischen Gleisanlagen beschränken sich auf die beiden Hauptgleise mit einem Mittelbahnsteig, welcher über Treppen und Lifte erreicht wird. Aufgrund seiner Anordnung und der Fahrplananlage wird der Bahnhof nicht von allen S-Bahnen bedient, die diesen Streckenabschnitt befahren.

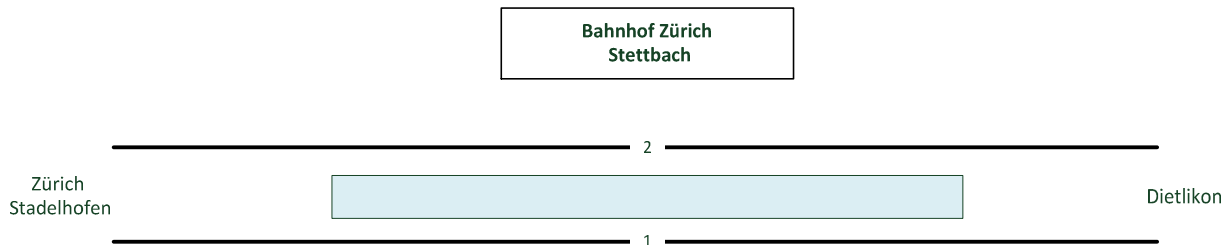


Abb. 5-13: Der Bahnhof Stettbach besteht lediglich aus den beiden Hauptgleisen.

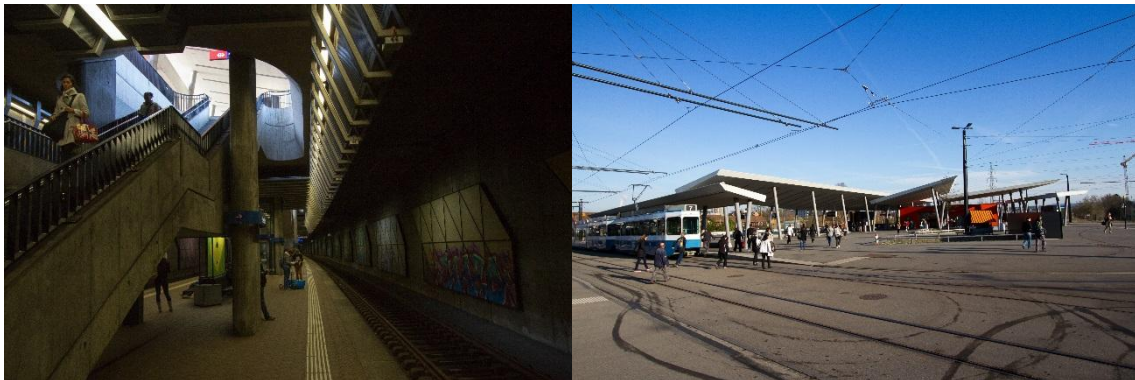


Abb. 5-14: Der unterirdisch angeordnete Bahnhof dient als wichtiger Umsteigepunkt zu den Tram- und Buslinien.

5.2 Operative Merkmale der Zürcher S-Bahn

Für ein dichtes Fahrplanangebot, unter optimaler Auslastung der vorhandenen Infrastruktur ist die Zugfolgezeit entscheidend. Die Dauer, in der ein Zug einen Strecken- oder Blockabschnitt belegt und nach Verlassen für den nachfolgenden Zug frei gibt, damit dieser wiederum in denselben Blockabschnitt einfahren kann, wird als Zugfolgezeit bezeichnet. Die Züge verkehren heute mit zwei Minuten Zugfolgezeit.

Als Zugsicherung sind heute die beiden Systeme Signum und ZUB (Zugbeeinflussung) an neuralgischen Betriebspunkten im Einsatz. Der netzweite Wechsel und die Harmonisierung der Zugsicherung auf ETCS-L1, Limited Supervision sind geplant.

Das Bahnknotensystem hat ungleiche Spitzen. Die Ankunftsspitzen im Zürcher Hauptbahnhof sind auf die Minuten .00 und .30 ausgelegt und verursachen eine unterschiedliche Belastung der Bahnsteiginfrastruktur. Durch das Konzept der «Zürcher S-Bahn 2G» wird dieser Effekt reduziert [17].

5.2.1 Das Kurzblocksystem

Das Streckennetz im Grossraum Zürich, welches auch von den S-Bahnen benutzt wird, ist mit Kurzblöcken ausgerüstet. Das eingesetzte Signalsystem «N (numerisch)» kann je nach Anordnung der Signale flexibel zur Anzeige von Signalbildern verwendet werden. Im Vergleich zu normalen Blockabschnitten bedeutet dies eine weitere Steigerung. In der Regel reicht der Bremsweg bei einem Halt zeigenden Hauptsignal ab dem Vorsignal, welches dem Lokführer mit dem Signalbild «Warnung» den Halt am darauffolgenden Hauptsignal ankündigt. Dies erfolgt innerhalb eines Blockabschnitts, welcher üblicherweise bei einem Hauptsignal neu beginnt. Mit sogenannten Kurzblöcken kann der Abschnitt weiter reduziert werden. Der Bremsweg reicht nun nicht mehr bis zum nächsten Hauptsignal aus. Das Zielsignal, ab welchem eine angekündigte Geschwindigkeit gilt oder Halt zeigt, ist jeweils das übernächste Signal. Durch Herabstufung der Signalisierung wird die Geschwindigkeit tiefer als möglich gehalten, um ein sicheres Anhalten in Bremswegentfernung beim Zielsignal jederzeit zu gewährleisten. Dies hat den Vorteil einer erhöhten Streckenkapazität mit dichter Zugfolge und energiesparender Fahrweise. Somit können vor dem Zug liegende Abschnitte schneller wieder freigegeben und befahren werden. Das System der Kurzblöcke soll anhand der nachfolgenden Abb. 5-15 und Abb. 5-16 auf dem Abschnitt Hardbrücke–Museumstrasse gezeigt werden:



Abb. 5-15: Signalisierung am Beispiel einer S3 Richtung Wetzikon im Bahnhof Hardbrücke.

Der Zug nähert sich von Altstetten her und erhält beim Einfahrsignal von Hardbrücke (1) den Fahrbezug «Warnung». Dies bedeutet, dass beim nächsten Signal (2) Halt zu erwarten und die Geschwindigkeit entsprechend zu reduzieren ist. Die vorausfahrende S-Bahn fährt aus Gleis 1 ab und gibt den Blockabschnitt kurze Zeit später für die S3 frei. Dies ist am Signalbild «Warnung» (3) ersichtlich. Der Zug kann nun mit 40 km/h nachrücken, da am nächsten Signal wiederum «Halt» zu erwarten ist. Sobald die vorausfahrende S-Bahn auch diesen Abschnitt freigegeben hat, wechselt das Signalbild auf «Fahr», mit der in diesem Abschnitt erlaubten Zielgeschwindigkeit von 80 km/h (4).

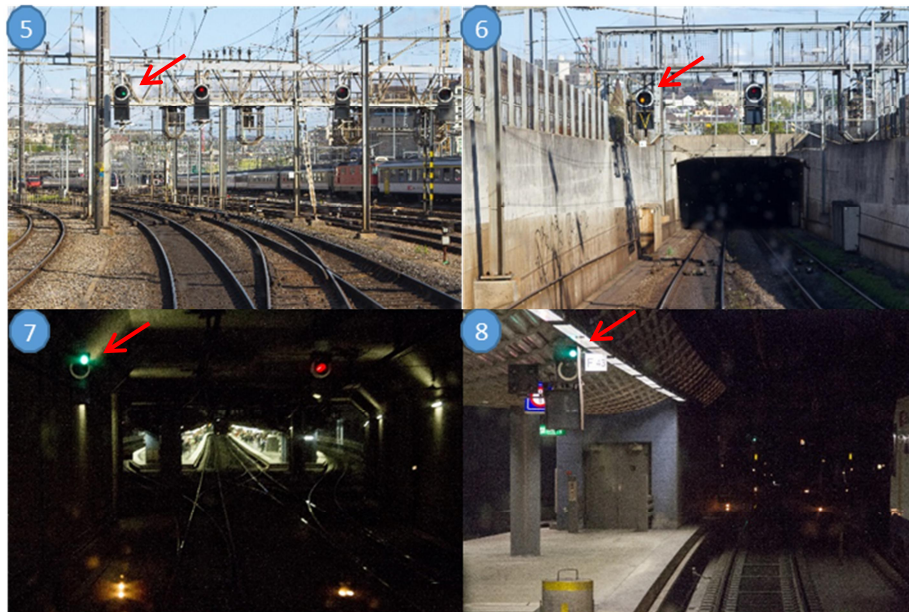


Abb. 5-16: Die nachfolgenden Signale bis zum Bahnhof Museumstrasse.

Der Zug hat nun im folgenden Blockabschnitt zwischen den beiden Stationen freie Fahrt (5). Das Einfahrsignal zum Bahnhof Museumstrasse (6) zeigt das Signalbild «Vorwarnung» an, was bedeutet, dass der Bremsweg ab dem nächstfolgenden Signal bis zum dazugehörigen Hauptsignal nicht ausreicht. Mithilfe dieses angezeigten Signalbilds kann die S3 jedoch näher an den vorausfahrenden Zug heranrücken, als dies bei einem herkömmlichen Signalsystem möglich wäre.

In der Zwischenzeit hat das nächste Blockabschnittsignal (7) bereits auf das höhere Signalbild «Fahrt» gewechselt, da der erweiterte Blockabschnitt ebenfalls freigelegt ist (8). Somit kann die S3 mit maximal erlaubter Zielgeschwindigkeit im Bahnhof Museumstrasse bis zum Haltepunkt einfahren.

5.2.2 Folgefahrt auf ein besetztes Gleis

Eine weitere Möglichkeit zur Verkürzung der Zugfolgezeit besteht darin, auf den Bahnhöfen des Kernbereichs einem vorausfahrenden Zug mittels dem Signalbild «Besetzte Einfahrt» zu folgen. Durch die in den schweizerischen Fahrdienstvorschriften (FDV) festgehaltene Regelung wird dem Lokführer am vorangehenden Hauptsignal gezeigt, dass sich auf dem folgenden Abschnitt, in welchen er einfährt, ein Zug befindet. Mit der maximal erlaubten Fahrgeschwindigkeit von 40 km/h, jedoch so schnell, dass auf Sichtdistanz angehalten werden kann, darf der Lokführer nun in den besetzten Blockabschnitt vorrücken.

Die Anlage ist so ausgelegt, dass dieses Signalbild erst nach einer gewissen Zeit oder im Störfall aufleuchtet, nachdem der vorausfahrende Zug losgefahren und dabei mit der Zugspitze bereits auf Höhe des Ausfahr- oder Gleisabschnittsignals ist.

6 Betriebliche Beispiele aus der Praxis

Die nachfolgenden Beispiele geben eine Übersicht, welche Schienennahverkehrssysteme sich weltweit in grossen Ballungsräumen etabliert haben. Sie dienen als Vergleich zur in dieser Bachelorarbeit angestrebten Lösung.

6.1 Öffentlicher Schienennahverkehr Bangkok

Die Hauptstadt ist mit mehr als 8 Millionen Einwohnern das wirtschaftliche und kulturelle Zentrum Thailands und zusammen mit dem Umland eine Megacity im südostasiatischen Raum [18]. Um das Verkehrsaufkommen bewältigen zu können und den Verkehrsüberlastungen auf den Strassen entgegenzuwirken, wird der Ausbau des Schienenverkehrs forciert. Abb. 6-1 zeigt den Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs in Bangkok (Stand 2013). Es sind nach aktuellem Stand weitere Linien in Planung [19].

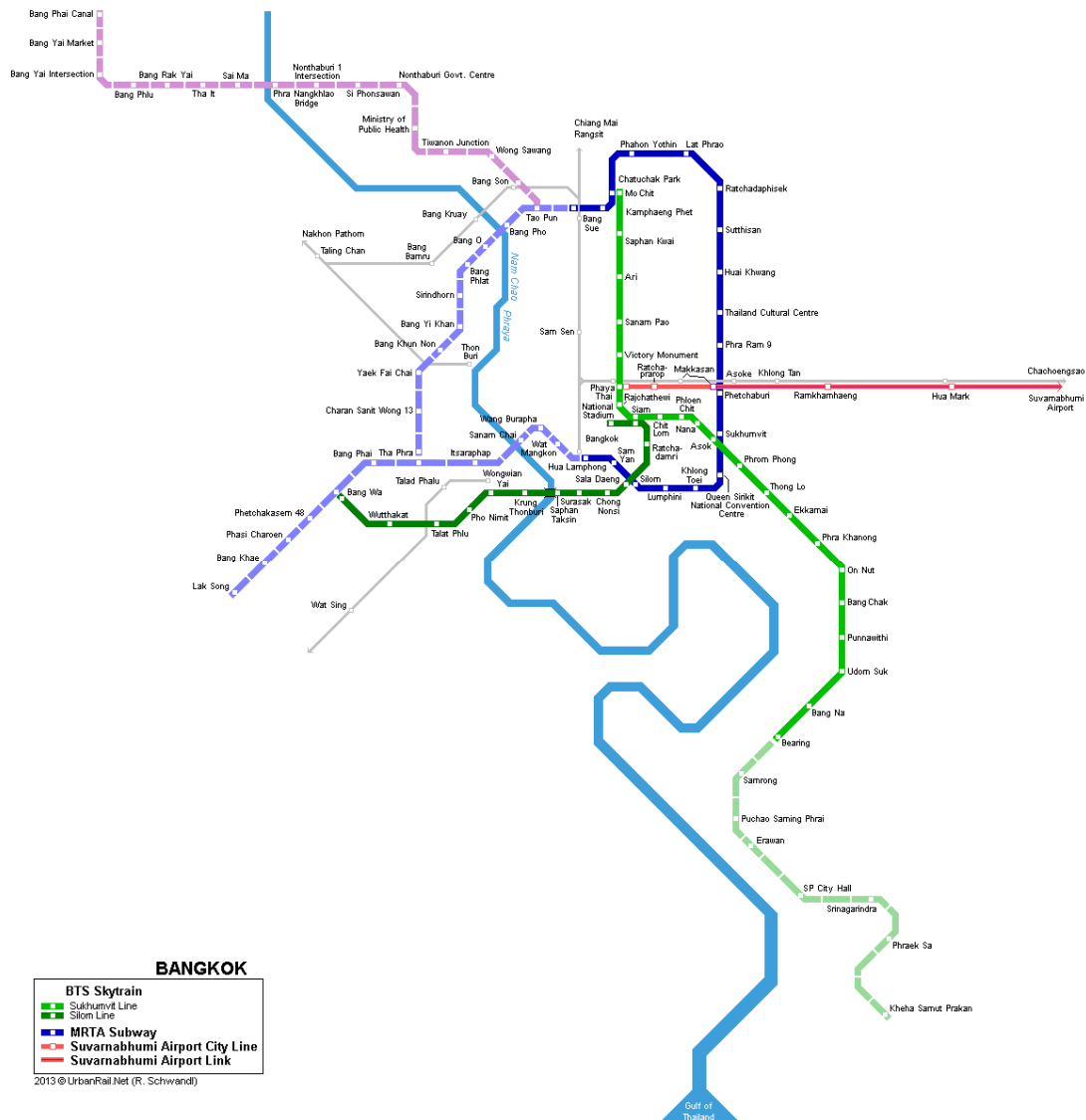


Abb. 6-1: Liniennetzplan des Schienennahverkehrs in Bangkok [19].

Der öffentliche Schienennahverkehr in Bangkok setzt sich gemäss Abb. 6-1 hauptsächlich aus dem Skytrain (Bangkok Transit System BTS), der Bangkok Metro und dem Airport Rail Link zusammen. Die Spurweite des Schienennetzes beträgt 1435 mm Normalspur.

6.1.1 Bangkok Transit System (BTS)

Bei diesem Begriff handelt es sich um den Skytrain. Das Netz ist als Hochbahn ausgelegt und verläuft permanent auf Viadukten über den Strassen. Die Züge verkehren mit bis zu 80 km/h. Das Netz besteht gemäss Abb. 6-1 aus den beiden grünen Linien mit total 35 Haltestellen, verteilt auf rund 34 km Gesamtstreckenlänge. Zur HVZ verkehren die Züge im Zwei-Minuten-Takt. Eine Zugseinheit besteht aus drei Wagen. Jeder Wagen verfügt dabei über vier Türen pro Seite, was einen schnellen Fahrgastwechsel und kurze Zugfolgezeiten ermöglicht. Pro Monat wird der Skytrain von rund 10 Millionen Fahrgästen genutzt [20].



Abb. 6-2: Das Trasse des Skytrains verläuft komplett auf Viadukten hoch über dem Grund [19].

6.1.2 Bangkok Metro (MRTA)

Der Bau der Bangkok Metro wurde nach den ersten Erfolgen mit dem Skytrain 2001 aufgenommen. Das Netz weist heute eine Länge von rund 20 Kilometern und 18 Stationen auf, was bedeutet, dass sich die Haltestellen in Distanzen von rund einem Kilometer befinden. An drei Knotenpunkten bestehen Umsteigemöglichkeiten zum Skytrain. Das eingesetzte Rollmaterial auf dem Sky Train und der Metro ist sehr ähnlich und zudem stehplatzoptimiert. So besteht die Möglichkeit, in Zukunft Züge netzübergreifend einzusetzen. Grosse Stehplatzflächen und Sitze entlang den Fahrzeugwänden bilden das Fahrzeuglayout ab. Es wird nur eine Einheitsklasse angeboten und es sind keine WCs im Zug vorhanden. Pro Tag nutzen rund 200'000 Personen die Metro [21].



Abb. 6-3: Ausrüstung der Bahnsteige mit automatischen Türschleusen zum Zug [19].

Die Abb. 6-3 zeigt die Ausrüstung der Bahnsteige mit Glastrennwänden zum Gleis hin. Diese reichen bis an die Decke und erhöhen dadurch die Sicherheit der wartenden Fahrgäste auf dem Bahnsteig. Daneben reduzieren sie durch Abtrennung vom Gleisbereich den hohen Energieverbrauch für die Klimatisation der Publikumsanlagen. Die Glastüren öffnen sich zeitgleich mit den Fahrzeugtüren und ermöglichen zusammen mit gelben Richtungspfeilen auf dem Boden einen schnellen Fahrgastwechsel.

6.1.3 Airport Rail Link

Seit 2010 besteht eine Verbindung vom Zentrum Bangkoks zum Flughafen. Zwei parallel verlaufende Linien führen ins Stadtzentrum. Eine Linie (Airport City Line) verfügt über 8 Stationen und ist mit den Linien des Skytrains und der Metro verknüpft. Die Linie weist eine Gesamtlänge von knapp 29 km auf. Die Expresslinie verfügt über keine Zwischenstationen und ist knapp 26 km lang. Die Endstation ist nur mit der Metro verknüpft.

Die Bahnsteige sämtlicher Stationen sind wie bei der Metro mit Glastrennwänden ausgestattet. Der Grossteil der Linien verläuft oberirdisch auf Viadukten und ist für Geschwindigkeiten bis zu 160 km/h ausgelegt. Als Zugsicherungssystem kommt das Linienzugbeeinflussungssystem LZB700 mit automatischer Zugbeeinflussung zum Einsatz, welches automatisches Fahren und präzises Anhalten erlaubt. Zurzeit beträgt die Zugfolgezeit aufgrund des Angebotskonzepts 15 Minuten und soll bis zur letzten Ausbaustufe des Netzes auf 8,8 Minuten sinken. Die Aufenthaltszeiten auf den Zwischenstationen betragen heute 30 Sekunden [22].

6.2 S-Bahn München

Um einen Vergleich mit der Situation in Zürich anzustellen, begutachtete das Projektteam anlässlich einer zweitägigen Exkursion das S-Bahn-Netz in München. Dabei lag der Fokus auf den drei Aspekten Zugführung, Infrastruktur und Rollmaterial. Diese wurden eingehend beobachtet und anlässlich eines Expertengesprächs mit Vertretern der DB Regio AG in München thematisiert.

6.2.1 Eckdaten

Täglich benutzen rund 800'000 Personen die S-Bahn München [23]. Betreiber der S-Bahn München ist die DB Regio AG. Zum Vergleich: Im Betriebsjahr 2012 wurden, gemessen an der Stadtgrenze zu Zürich, knapp 410'000 Reisende mit der S-Bahn befördert [24].

Die S-Bahn München ist im Münchner Verkehrsverbund MVV integriert und nimmt dort eine tragende Funktion ein. Die gesetzliche Grundlage ähnelt jener der Zürcher S-Bahn: Der Zürcher Verkehrsverbund ZVV bestellt die Leistungen, welche dann je nach Strecke von den Kantonen abgegolten werden.

Das S-Bahn-Netz in München gliedert sich gemäss nachfolgender Abbildung in radial auf die Innenstadt zulauende Linien. Die Linien S1-S8 sind als Durchmesserlinien konzipiert und verkehren auf dem Abschnitt Laim-Ostbahnhof über die Stammstrecke gebündelt. Die S5 existiert gemäss Netzgrafik nicht.



Abb. 6-4: Liniennetzplan der S-Bahn München [25].

Das S-Bahn-System München verfügt im Kernbereich über eine Besonderheit auf der Infrastruktureseite: die sogenannte Spanische Lösung. Auf den drei frequenzstarken Stationen Hauptbahnhof, Karlsplatz (Stachus) und Marienplatz im innerstädtischen Bereich wird eine Kombination aus Mittel- und Aussenbahnsteigen angewandt. Durch die räumliche Entflechtung des Ein- und Aussteigens erlaubt die Spanische Lösung einen schnelleren Fahrgastwechsel mit der Folge kürzerer Haltezeiten. In der Abb. 6-5 ist ersichtlich, dass die Abmessungen des Aussenbahnsteigs für die aussteigenden Personen relativ schmal dimensioniert sind. Dies ist aufgrund des geringeren Flächenbedarfs bei einem leeren Bahnsteig für den ungehinderten Abfluss der Personen möglich.

Die Dimensionierung von einzelnen Bahnhöfen mit Mittel- und Aussenbahnsteigen entstand in München im Zuge der Ausbaurbeiten für die olympischen Sommerspiele Anfang der 1970er Jahre.



Abb. 6-5: Der Aussenbahnsteig (links) und der Mittelbahnsteig (rechts) bei der S-Bahn-Station Hauptbahnhof erlauben einen schnellen Fahrgastwechsel.

Der Abschnitt auf der Stammstrecke Laim–Ostbahnhof ist eine reine S-Bahnstrecke und verläuft grösstenteils im Tunnel. Dieser Streckenabschnitt wird nur von S-Bahn Zügen benutzt. Als Zugsicherung wird die Linienzugbeeinflussung (LZB) eingesetzt. Dies ermöglicht die kontinuierliche Geschwindigkeitsüberwachung mit kurzen Blockabschnitten und eine hohe verfügbare Streckenkapazität. Dadurch wären theoretisch 36 Züge pro Stunde und Richtung möglich, effektiv angeboten werden 30 Züge [23].

Wie in der Abb. 6-6 erkennbar ist, entstehen bei grösseren Fahrgastaufkommen auf Stationen ohne Spanische Lösung dieselben Konfliktsituationen, wie sie bei der Zürcher S-Bahn auftreten.



Abb. 6-6: Bei Bahnsteigen ohne Spanische Lösung offenbaren sich die Probleme der gegenseitigen Behinderung von Ein- und Aussteigern.

6.2.2 Beobachtungen Stammstrecke

Um die Leistungsfähigkeit des S-Bahnsystems untersuchen zu können, wurden während der HVZ am Morgen (07.30-09.00 Uhr) und am Abend (16.00-18.00 Uhr) entlang der Stammstrecke der Berufsverkehr beobachtet sowie verschiedene Kennzahlen gemessen. Folgende Werte wurden dabei erfasst:

- Türöffnungs- und Türschliesszeit
- Haltezeit
- Fahrgastwechselzeit
- Zugfolgezeit

Aufgrund des knapp bemessenen Terminplans für die Beobachtung des Streckenabschnitts, konnten nur wenige Züge und deren Kennzahlen in beiden Richtungen beobachtet werden. Deshalb sind die Ergebnisse stark zufallsverteilt und nur bedingt repräsentativ.

In den Abb. 6-7 und Abb. 6-8 sind die Fahrgastwechselzeiten und Haltezeiten der beobachteten Züge abgebildet. Beim Vergleich ist ersichtlich, dass die Werte in Richtung Ostbahnhof-Laim stärker variieren als in entgegengesetzter Richtung. Zudem ist bei den stark frequentierten Stationen im Kernbereich, Hauptbahnhof, Karlsplatz und Marienplatz, eine leichte Zunahme der Fahrgastwechselzeit feststellbar. Bis auf wenige Ausreisser liegen die Zeiten jedoch unter 15 Sekunden. Solche niedrigen Werte sind dank der Spanischen Lösung realisierbar, wo durch entflochtene Ein- und Aussteigerströme wertvolle Sekunden gewonnen werden.

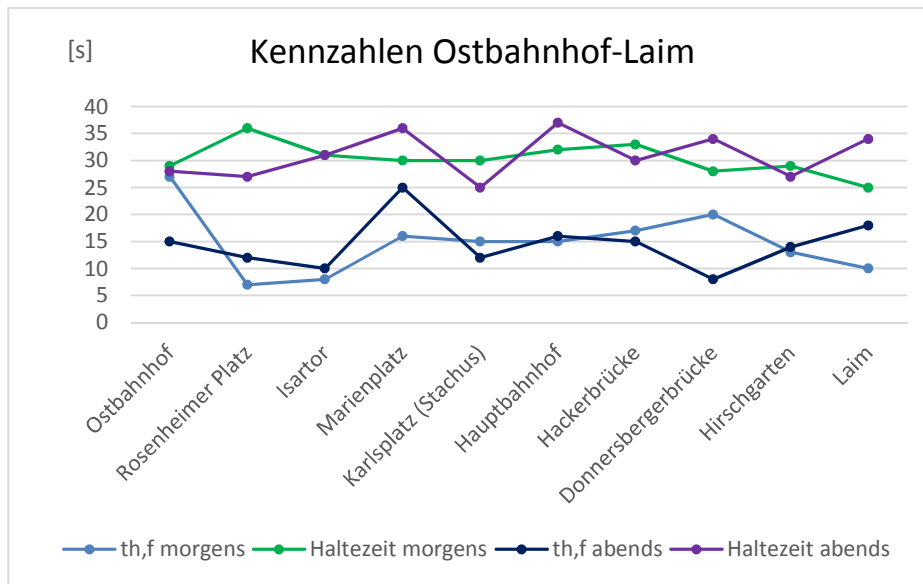


Abb. 6-7: Die gemessenen Fahrgastwechselzeiten $t_{h,f}$ und Haltezeiten zur morgendlichen und abendlichen HVZ.

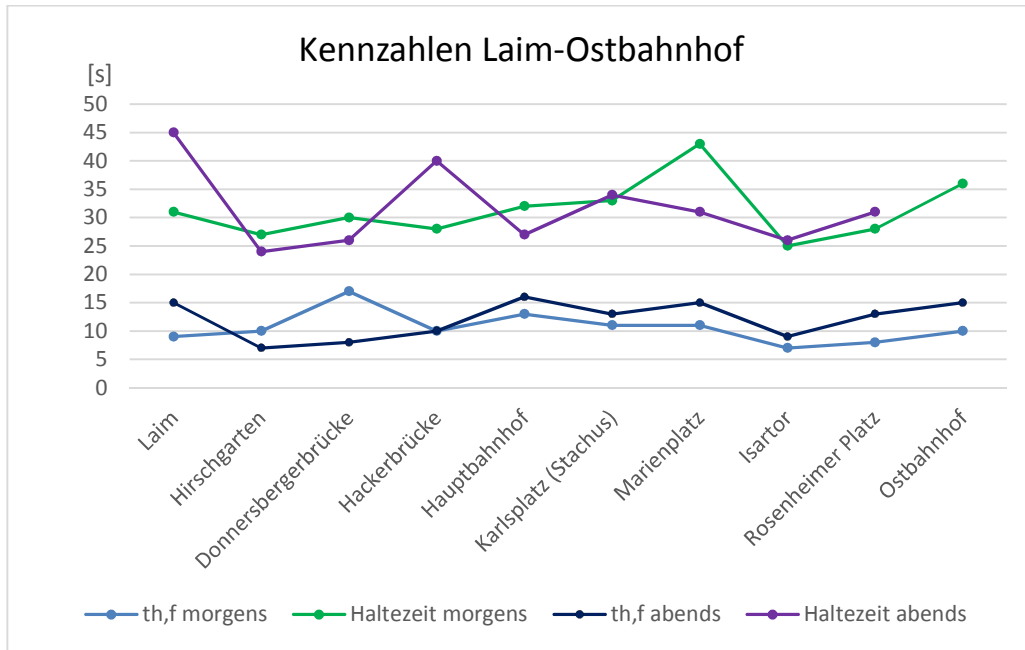


Abb. 6-8: Die gemessenen Fahrgastwechselzeiten $t_{h,f}$ und Haltezeiten zur morgendlichen sowie abendlichen HVZ in entgegengesetzter Richtung. Der Messpunkt Ostbahnhof entfällt teilweise aufgrund wendenden S-Bahn-Linien.

Die Züge folgen einander in sehr kurzen Abständen von bis zu 75 Sekunden. Gemessen wurde diese Zeit zwischen Anfahrdruck des abgehenden Zuges und dem Halteruck des nächst ankommenden Zuges auf demselben Gleis. Die Fahrgastwechselzeit erfolgt durchschnittlich in 12 Sekunden. Zusammen mit raschen Türöffnungs- und Schliesszeiten von je 3 Sekunden sind Haltezeiten von rund 32 Sekunden gemessen worden. Bis auf wenige Einzelbeobachtungen wird das System mit beidseitigen Bahnsteigen sehr diszipliniert benutzt.

Nachfolgend sind die einzelnen Schritte einer haltenden S-Bahn in der Station Hauptbahnhof in einem Prozessbild dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die Fahrgastwechselzeit den grössten Zeitanteil darstellt. Die Zeiten für die Türfreigabe und -schliessung sowie weitere feste Haltezeitanteile können durch Anpassen der Technik minimiert werden.

Entscheidend für kurze Fahrgastwechsel- und Haltezeiten sind hauptsächlich die menschlichen Faktoren.

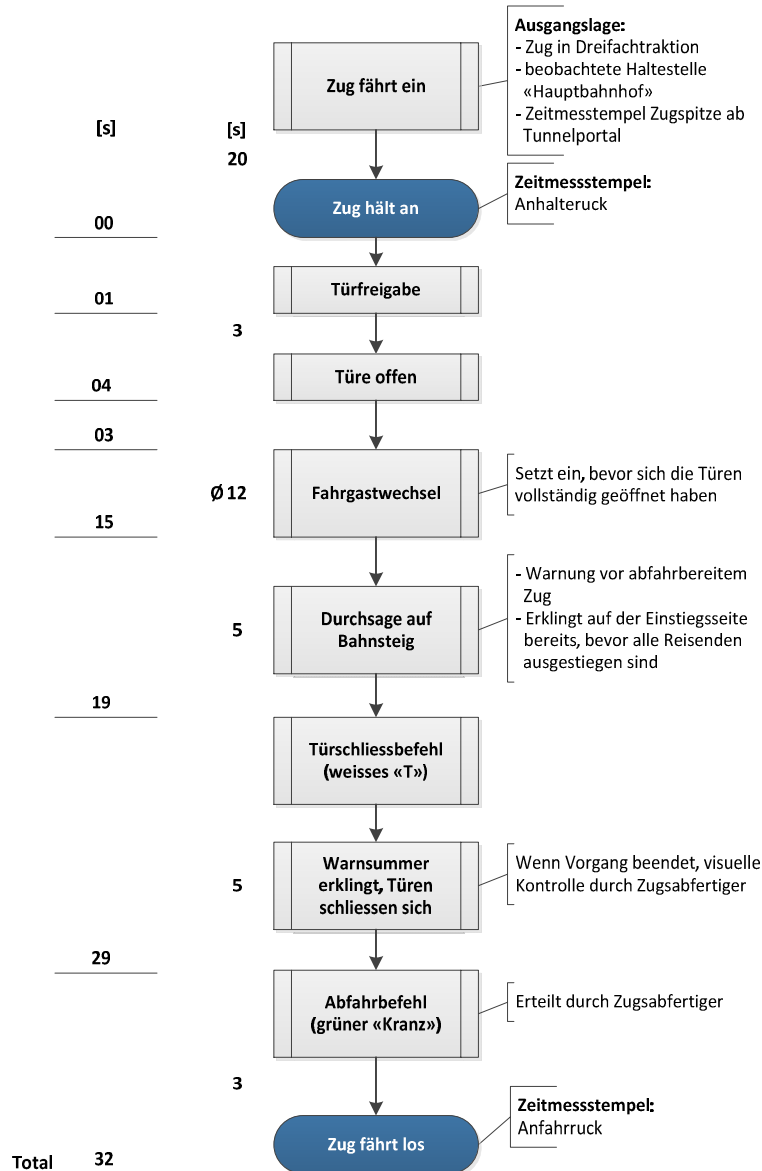


Abb. 6-9: Prozess eines haltenden Zuges, beobachtet in der Station «Hauptbahnhof». In den beiden linken Spalte sind die zeitlichen Zwischenschritte in Sekunden angegeben.

6.2.3 Operative Merkmale

Eingesetzt wird einheitliches Rollmaterial der Baureihe 423. Dieses verfügt über leistungsfähige Beschleunigungswerte:

- 1.0 m/s² maximale Anfahrbeschleunigung
- 0.9 m/s² Verzögerung

Bei der Dimensionierung von Rollmaterial im innerstädtischen Bereich wird von maximalen Beschleunigungswerten von 1.2 m/s² ausgegangen [26]. Die Fahrzeuge verfügen pro Wagenkasten über drei Türen pro Seite, was ebenfalls für kurze Fahrgastwechselzeiten sorgt. Der Spalt zwischen Fahrzeugkasten und Bahnsteigkante beträgt rund zehn Zentimeter, was keine Schiebe- oder Klapptritte bedingt. Der ebenerdige Ausstieg auf den Bahnsteig startet deshalb schon bei noch nicht vollständig geöffneten Türen.

Die schweizerische Behindertengesetzgebung und die Vorgaben zur Sicherheit lassen ein solches Konzept ohne Schiebetritte heute nicht mehr zu. Die maximale Spaltbreite darf 50 Millimeter nicht überschreiten. Zudem bedingt das Lichtraumprofil in der Schweiz einen solchen Tritt [17].

Die Verfügbarkeit sämtlicher Türen der bei der S-Bahn München im Einsatz stehenden Fahrzeuge wird für das Jahr 2013 mit 98.42 % angegeben [25]. Bei den aufgetretenen Türstörungen ist jedoch nicht erfasst, ob der betroffene Zug weiterhin im Betrieb war oder unverzüglich der korrektiven Instandhaltung zugeführt wurde. Zudem lässt sich nicht sagen, ob die erfassten Störungen in jedem Fall zu einen Ausfall der betroffenen Türe geführt haben. Dies zieht in der Regel verschiedene Handlungen des Fahrpersonals an der betroffenen Türe mit sich, was mit einem Zeitverlust verbunden ist. Bei der Berechnung der Türverfügbarkeit ist man vom schlechtesten Wert ausgegangen, so dass die Verfügbarkeit real noch etwas höher liegen dürfte.



Abb. 6-10: Hindernisfreie Fläche bei den Ausstiegsbahnsteigen sorgt für einen widerstandslosen Personenfluss, hier im Bahnhof Marienplatz.

Die S-Bahnen verkehren je nach Verkehrsnachfrage und Linie in Einfach- bis zu Dreifachkompositionen. Es wird generell nur die zweite Klasse angeboten. Zudem verfügen die Züge über keine Toiletten. Für weitere technische Merkmale der Baureihe 423 wird an dieser Stelle auf das Kapitel 6.4 verwiesen.

Allgemein konnte beobachtet werden, dass der Bahnsteig zur abendlichen HVZ konstant hoch, jedoch nie übermässig mit Personen belegt war. Aufgrund der Netzstruktur mit einer Bündelung der Linien auf der Stammstrecke spielt die Wahl der S-Bahn für den Kurzstreckenbereich keine Rolle. Für Fahrten in peripher gelegene Stationen kann ebenfalls auf den Stationen der Stammstrecke zugestiegen werden, was die hohe Anzahl an wartenden Fahrgästen auf den Bahnsteigen erklärt (vgl. Abb. 6-11).



Abb. 6-11: Der Fahrgastwechsel für den abfahrtsbereiten Zug hat bereits stattgefunden, die Personendichte auf dem Bahnsteig ist dennoch hoch.

Um den Abfahrprozess auf dem dichtbefahrenen Abschnitt der Stammstrecke zu beschleunigen, wird zusätzliches Personal eingesetzt. Die Funktion dieser Zugsabfertiger liegt in der Beobachtung des Fahrgastwechsels mittels Kameras. Aufgrund der Gleistopologie auf einigen Stationen mit Kurvenlage ist eine vollständige Überschaubarkeit des gesamten Zuges alleine durch den Triebfahrzeugführer nicht möglich.

Der Fahrgastwechsel wird mit einer automatischen Durchsage auf dem Bahnsteig abgeschlossen. Anschliessend erteilt der Zugsabfertiger dem Triebfahrzeugführer mit einem weiss leuchtenden Signal «T» die Erlaubnis für einen zentralen Schliessbefehl der Türen. Sobald alle Türen verriegelt sind, ist die Traktionssperre aufgehoben. Anschliessend erteilt der Zugsabfertiger dem Triebfahrzeugführer den Abfahrauftrag mittels eines Lichtsignals mit einem grün leuchtenden Ring («grüner Kranz»).



Abb. 6-12: Lichtsignale «Zp 9» und «Zp 10» zur fahrdienstlichen Abfertigung des Zuges [27].

6.2.4 Kundenlenkung

Die Kundenlenkung auf dem Bahnsteig geschieht mit optischen und akustischen Mitteln. Zu den optischen zählen insbesondere:

- Zuganzeigemodule (ZAM)
- Sektortafeln
- Richtungsschilder zu den Ein- und Ausgängen, keine Durchgänge
- Halteorte der Züge, je nach Zuglänge mit Tafeln «Kurzzug», «Langzug» und «Vollzug». Diese Tafeln dienen auch dem Triebfahrzeugführer als Haltepunkt und sind ebenfalls entlang der Bahnsteigkante montiert.

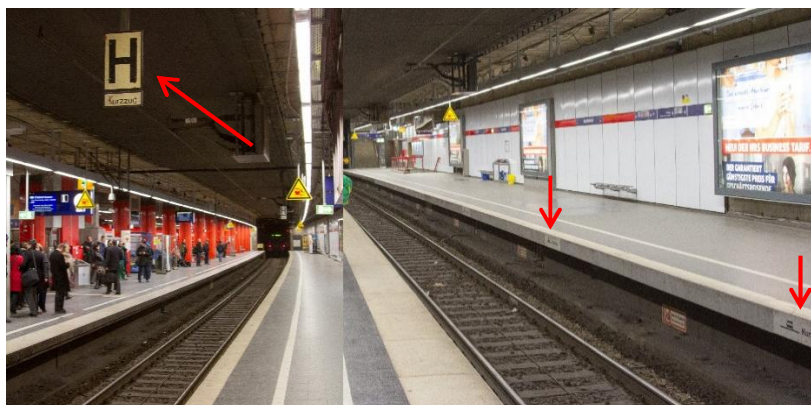


Abb. 6-13: Haltetafeln dienen dem Triebfahrzeugführer und den Einstiegenden als Halteort für die jeweilige Zuglänge. Dazu sind an der Bahnsteigkante zusätzliche Hinweistafeln montiert.

Die akustische Kundenlenkung auf dem Bahnsteig und im Zug geschieht mittels Lautsprecherdurchsagen. Zudem verfügen die Türen über einen akustischen Schliesston als Hinweis für sehbehinderte Personen. Durch die Lautsprecherdurchsagen wird in erster Linie auf den Abschluss des Fahrgastwechsels und den abfahrenden Zug aufmerksam gemacht. Diese Durchsagen können automatisch ab Band oder manuell ausgelöst werden.

Die Fahrgastinformation an den Anzeigetafeln auf den Bahnsteigen zeichnet sich dadurch aus, dass anstelle der publizierten Abfahrtszeiten die verbleibende Zeit bis zum Eintreffen der nächsten Züge angezeigt wird. Weiter sind die nächstfolgenden S-Bahnen mit Endbahnhof und der Zugzusammensetzung aufgeführt. Das konsistente Verwenden der Linienfarben und einfacher Symbole für die Zugkompositionen unterstützt das intuitive Lesen der relevanten Fahrgastinformation (vgl. Abb. 6-14).

In Nahverkehrsnetzen mit dichten Zugfolgen ist es für die Kunden sinnvoller, anstelle der Fahrplanzeit die Wartezeit bis zur nächsten Ankunft anzuzeigen. Dieses System mit Echtzeitinformation wird auch bei städtischen Busbetrieben auf den Haltestellen angewendet und ist vor allem auf verspätungsanfälligen Streckenabschnitten vorteilhaft. Die S-Bahn München visualisiert die aktuellen Fahrplandaten der Züge auf ihrer Internetseite und einer App für Smartphones. Durch das Abrufen der Echtzeitpositionen der Züge können die Fahrgäste die Wartezeiten auf den Bahnsteigen minimieren und ihre Reiser Strecken im Voraus genau planen [28].



Abb. 6-14: Übersichtliche und verständliche Darstellung der Fahrgastinformationen auf den Bahnsteigmonitoren.

6.3 Regionalverkehr Bern–Solothurn (RBS)

Der Bahnhof Bern ist mit mehr als 200'000 Personen pro Tag nach dem Zürcher Hauptbahnhof der zweitgrösste Bahnhof der Schweiz [29].

Im Bahnhof Bern endet zudem der unterirdische, viergleisige Bahnhof des RBS. Diese meterspurigen Strecken sind in die S-Bahn Bern integriert. Täglich wird dieser Bahnhof von rund 60'000 Reisenden frequentiert. Bei seiner Eröffnung 1965 wurde er für 16'000 Personen ausgelegt. Während der morgendlichen HVZ fährt im Bahnhof Bern alle 90 Sekunden ein Zug ein oder aus. Dies hat zur Folge, dass die Publikumsanlagen notorisch überlastet sind [30].

Um die Ein- und Aussteiger beim Bahnhof Bern möglichst effizient vom Bahnsteig zu- und wegzuführen wendet der RBS ein spezielles Konzept an. Die Einsteiger werden nach Ankunft des Zuges auf der Stirnseite der Bahnsteige solange zurückgehalten, bis der Strom der Aussteigenden den Bahnsteig verlassen hat. Anschliessend öffnen sich die Schranken zu den Bahnsteigen. Dadurch lässt sich die Aufenthaltszeit der Züge reduzieren und unabhängiger vom Fahrgastwechsel gestalten.



Abb. 6-15: Situation am Bahnhof RBS Bern. Die Bilder zeigen exemplarisch, wie durch gezielte Kundenlenkung und Bodenmarkierungen auf engem Raum ein reibungsloser Betrieb abgewickelt wird.

Anhand der Abb. 6-15 lässt sich der Ablauf des Fahrgastwechsels wie folgt beschreiben:

1. Die rot gekennzeichneten LED-Schranken halten die Einsteiger zurück.
2. Ankommende Fahrgäste steigen aus und verlassen den Kopfbahnhof seitwärts.
3. Zug ist nun bereit für die einsteigenden Fahrgäste.
4. Einsteiger gelangen nach Öffnung der Glastüren zu den Zügen.

Der ganze Prozess variiert je nach Tageszeit und Verkehrsaufkommen. In den beobachteten Fällen lief der Prozess innerhalb von 90 Sekunden ab.

Auf den Bahnsteigen sind Verbotszonen für Wartende markiert (vgl. Abb. 6-15, Bild 3 im Vordergrund). Damit soll erreicht werden, dass die Aussteiger möglichst ungehindert zum Ausgang gelangen. Trotz Rückhaltung der Einsteiger kommt es vor, dass sich vereinzelt Personen bereits vorzeitig auf den Bahnsteig begeben, insbesondere wenn die Züge (z.B. S7 und S8) zeitnah am Bahnhof eintreffen und diesen wieder verlassen [31].

6.4 Kennzahlenvergleich der eingesetzten Rollmaterialtypen

Vergleicht man Zürich mit der Situation in München oder Bangkok so fällt auf, dass in diesen viel grösseren Ballungsräumen primär einstöckiges Rollmaterial eingesetzt wird. Dieses ist speziell in Bangkok auf möglichst viele Stehplätze ausgerichtet. Eine schnelle Platzwahl und stufenlose Wege begünstigen einen effizienten Fahrgastwechsel. Für Strecken mit möglichst kurzen Zugfolgezeiten, wie es bei Metrosystemen im Kernbereich notwendig ist, scheint dies die optimale Lösung zu sein. Deshalb erstaunt es nicht, dass bei den Metrosystemen weltweit einstöckiges Rollmaterial zum Einsatz kommt.

Die in der vorliegenden Arbeit betrachteten und vielfältig eingesetzten Zugstypen weisen auch unterschiedliche Spezifikationen hinsichtlich der Gestaltung ihrer Eingangsbereiche auf. Diese wurden anlässlich der durchgeführten Messungen und Exkursion nach München ebenfalls betrachtet und dokumentiert.

6.4.1 Einstiegssituation DPZ

Mit Ausnahme der Niederflur Doppelstockwagen (NDW) verfügen der Doppelstock Pendelzug (DPZ) über keinen Niederflureinstieg. Die Türen weisen eine Breite von 1.90 Meter auf. Einzige Ausnahme ist die Türe im Steuerwagen beim Führerstand mit 1.40 Meter. Durch die Unterteilung des Einsteigebereichs mit einem Aufstiegsgeländer können gleichzeitig zwei Personen einsteigen und eine Person aussteigen. Auf der Plattform angekommen gelangen die Fahrgäste durch herunter- oder hinaufsteigen zu den Sitzplätzen im Ober- oder Unterdeck.



Abb. 6-16: Eingangsbereich eines DPZ.

Von den drei Wagen pro Zugseinheit verfügen zwei über reine 2. Klasse-Wagen. Der 1. Klasse-Wagen beinhaltet im Oberdeck einen 2. Klasse-Anteil von 50 %.

6.4.2 Einstiegssituation DTZ

Der DTZ weist praktisch einen identischen Eingangsbereich wie der NDW auf, welcher als Niederflurwagen in den DPZ eingereiht ist. Die untere Ebene kann ohne Treppen erreicht werden. Beim Aufstieg in das Oberdeck gelangt man via Treppen auf die Zwischenebene mit dem Wagenübergang zum angrenzenden Wagen. Für den Weg weiter ins Oberdeck müssen nochmals Treppen bewältigt werden. Der Fahrgast vollzieht dabei eine 180°-Wendung, was sich nachteilig auf den Personenfluss auswirkt.



Abb. 6-17: Eingangsbereich eines DTZ.

Vier Wagen eines Zuges sind mit je zwei Türen pro Seite ausgestattet. Von diesen vier Wagen ist ein Wagen als reine 1. Klasse ausgelegt und weist dementsprechend geringere Frequenzen auf als die 2. Klasse-Wagen. Dieser 1. Klasse-Wagen hat speziell für die nächstgelegene 2. Klasse-Türe einen negativen Einfluss auf deren Türbelastung, da viele Personen auf dem Bahnsteig unwissentlich im Haltebereich der 1. Klasse warten und sich in der Folge zu den angrenzenden 2. Klasse Wagen begeben. Dieser Umstand wirkt sich wiederum negativ auf die gesamte Fahrgastwechselzeit dieses Zuges aus [32].

6.4.3 Einstiegssituation FLIRT

Die Fahrzeuge des Typs FLIRT weisen ebenfalls durchgängig Niederflureinsteige auf. Die Eingangsbereiche sind unterschiedlich gestaltet. Bei wenigen gelangt man sofort zu den Vierersitzabteilen. Die meisten Eingänge sind jedoch grosszügig ausgelegt, um einen schnellen Fahrgastwechsel zu begünstigen. Dazu gehören Stehplatzbereiche mit Haltestangen und Stehkissen sowie längs angeordnete Klappsitze. Der Teil der 1. Klasse des Zuges ist durch eine separate Einsteigetür sowie durch eine Glastür vom übrigen Fahrgastraum her erreichbar.



Abb. 6-18: Eingangsbereich eines FLIRT.

6.4.4 Einstiegssituation Regio-Dosto

Der Regio-Dosto ist zurzeit das jüngste SBB-Fahrzeug im Regionalverkehr. Er weist ein anderes Farbkonzept wie die Fahrzeuge vorangehender Versionen auf und entspricht somit dem aktuellen Corporate Design der SBB AG. Die Eingangsbereiche ähneln denen des DTZ oder NDW. Als gewichtiger Unterschied weist der Regio-Dosto jedoch keine reinen 1. Klasse-Wagen auf. Damit kann die Türbelastung über den gesamten Zug konstanter gehalten werden.



Abb. 6-19: Eingangsbereich eines modernen Regio-Dosto.

6.4.5 Einstiegssituation BR 423

Die BR 423 kommt bei der S-Bahn München zum Einsatz. Unmittelbar angrenzend an die 1.30 Meter breiten Türen folgen die Vierersitzabteile. Die meisten Eingangsbereiche sind damit eher knapp bemessen und bieten nur wenig Platz für Stehende. An den Zugsenden sind diese Eingangsbereiche grösser dimensioniert und bieten damit auch Platz für Rollstuhlfahrer oder Kinderwagen. Sämtliche Züge verfügen nur über 2. Klasse-Wagen und weisen keine Toiletten auf.



Abb. 6-20: Der Eingangsbereich am Zugschluss und in der Mitte einer BR 423.

Wie aus der folgenden Tabelle 6-1 ersichtlich ist, verkehrt auf der Zürcher S-Bahn hauptsächlich doppelstöckiges Rollmaterial. Diese Doppelstockzüge bieten damit mehr Plätze pro Laufmeter Zug an, weisen aber längere Fahrgastwechselzeiten an den Stationen auf. Das Fassungsvermögen pro Laufmeter Zug ergibt sich aus dem Quotienten an maximal möglichen Sitz- und Stehplätzen sowie der Gesamtlänge eines Zuges.

Typ	Einsatzgebiet	Bauart ¹	Sitz-/ Stehplätze ²	Anzahl Türen pro Seite ³	Anteil Niederflureinstiege	Lichte Weite Türen in Meter	Zuglänge in Meter	Wagenkastenlänge in Meter ⁴	Fassungsvermögen ⁵	Beschleunigung, Verzögerung
Regio-Dosto (sechsteilig)	Schweiz	DS	535 635	2 / 12	100 %	1.40	150.000	Bt: 25.360 AB, B: 24.820	7.80	+a = 1.1 m/s ² -a = n/a
Regio-Dosto (vierteilig)	Schweiz	DS	337 / 534	2 / 8	100 %	1.40	100.360	Bt: 25.360 AB, B: 24.820	8.68	+a = 1.3 m/s ² -a = n/a
DTZ	Schweiz (ZH)	DS	378 / 460	2 / 8	100 %	1.40	100.000	25.000	8.38	+a = 1.05 m/s ² -a = 1.11 m/s ²
DPZ+ Türe bei Fst. NDW	Schweiz (ZH)	DS	379 / 375	2 / 6	33 %	1.90 1.40 1.33	98.800	26.800	7.63	+a = n/a -a = n/a
FLIRT(sechsteilig)	Schweiz (TI)	ES	250 / 280	At: 1 B: 2 Total: 10	100 %	1.30	106.278	At: 20.939 B: 16.100	4.99	+a = 1.2 m/s ² -a = n/a
FLIRT (vierteilig)	Schweiz	ES	169 / 163	2 / 8	100 %	1.30	74.078	ABt, Bt: 20.939 B: 16.100	4.48	+a = 1.2 m/s ² -a = n/a
BR 423	München	ES	192 / 264	3 / 12	100 %	1.30	67.400	16.850	6.77	+a = 1.0 m/s ² -a = 0.9 m/s ²
MRTA	Bangkok	ES	126 / 760	4 / 12	100 %	1.40	65.100	20.760	13.61	+a = 1.3 m/s ² -a = 0.9 m/s ²

Tabelle 6-1: Vergleich des bestehenden Rollmaterials bei der Zürcher S-Bahn inklusive FLIRT, BR 423 der S-Bahn München sowie des MRT aus Bangkok.

¹ DS = doppelstöckig, ES = einstöckig

² Annahme Stehplätze: 3 P/m²

³ Pro Wagen und Zug

⁴ A: 1. Klasse, B: 2. Klasse, AB: 1./ 2. Klasse, t: Steuerwagen

⁵ Sitz- und Stehplätze pro Laufmeter Zug [P/m]

6.5 Beobachtungen Fahrgastwechsel

Um Leistungswerte für die Türen und den Fahrgastwechselprozess beim bestehenden Rollmaterial der SBB AG zu erhalten, wurden durch die Autoren während drei Wochen Messungen auf verschiedenen Streckenabschnitten durchgeführt:

- Grossraum Zürich
- Zürich–Basel
- Bahnhof Basel SBB
- Lenzburg–Zürich
- Olten–Luzern
- Stadtbahn Zug

Die nachstehende Tabelle zeigt die erhobene Datensätze, welche zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung stehen.

Zugtyp	Lichte Weite Türen [m] ¹	Anzahl Datensätze
DPZ	1.90	48
DPZ Steuerwagen	1.40	14
DPZ+ (NDW)	1.33	20
DTZ	1.40	52
Flirt (vierteilig)	1.30	105
Regio Dosto (sechsteilig)	1.40	18

Tabelle 6-2: Übersicht der durchgeführten Messungen von Fahrgastwechseln auf den verschiedenen Rollmaterialtypen.

Dadurch konnten 257 Datensätze aus insgesamt 213 Beobachtungen gewonnen werden, welche Aufschluss über das verschiedentlich eingesetzte Rollmaterial ergeben. Die Messungen fanden hauptsächlich zu HVZ am Abend und Morgen statt. Sie sind nur bedingt repräsentativ, da die Messungen in kurzen Zeitabschnitten erfolgten und somit keine Jahresganglinie darstellen. Ausserdem ist die Menge der Datensätze zu gering um eine statistisch korrekte Aussage zu tätigen. Es lässt sich jedoch generell festhalten, dass Fahrgastwechsel- und Haltezeiten Zufallsgrössen darstellen. Dies entspricht den theoretischen Grundlagen aus [8]. Sämtliche Messungen bilden betriebliche normale Szenarien ab. Das bedeutet, dass keine ausserordentlichen Ereignisse, wie beispielsweise Türstörungen oder sonstige betriebliche Behinderungen in die Messungen miteingeflossen sind.

Die Verteilung der Fahrgäste auf dem Bahnsteig und in den Zugteilen hat einen massgeblichen Einfluss auf die spezifische Türleistungsfähigkeit L_s eines Zuges. Die ausgewerteten Datensätze dienten als Inputwerte für die Verifikation des bestehenden Rollmaterials und anschliessend für die Modellierung sowie Simulation des neu entworfenen Layouts.

¹ Ohne Berücksichtigung der Griffstangen im Eingangsbereich

6.6 Erkenntnisse aus den Beobachtungen

Der überwiegende Teil der Messungen wurde beim Rollmaterialtyp FLIRT durchgeführt, um aussagekräftige Resultate für die Verifikation und Validierung des eigenen Simulationsmodells zu erhalten. Die Messungen fanden grösstenteils im Bahnhof Basel SBB und bei der Stadtbahn Zug statt. Die Strecken weisen kurze Haltestellendistanzen auf dem doppelspurigen Regelgleis von Baar bis kurz vor Rotkreuz auf. Das bedeutet, dass die verfügbaren Trassen mit den Interregiozügen auf der Strecke Zürich–Zug–Luzern und weiteren Zügen geteilt werden müssen. Der Flirt ist dank seinem hohen Beschleunigungsvermögen auf solche Betriebsszenarien ausgelegt. Die Haltezeiten an den Stationen sind sehr kurz bemessen. Zwischen der Entriegelung der Türen und der gesamten Türöffnungszeit vergehen rund drei Sekunden. Die Reaktionszeit des Lokführers und die anschliessend betätigte Verriegelung der Türen dauern knapp 9 Sekunden.

Der Flirt verfügt über Schiebetritte, welche vor dem Öffnen ausgefahren, resp. vor dem Anfahren wieder eingefahren sein müssen. Dieser Prozessschritt benötigt wertvolle Sekunden und beeinflusst die gesamte Haltezeit. Viele Personen halten sich nach dem Zusteigen im Einstiegsbereich auf, ohne einen verfügbaren Sitzplatz aufzusuchen. Dadurch verlangsamen sie den Prozess des Einsteigens. Dies verlängert die Haltezeit an den Stationen.

Ähnlich hohe Datensätze weist der DPZ auf. Er bildet bis heute das Rückgrat der Zürcher S-Bahn. Auch bei den DPZ und DTZ konnte beobachtet werden, dass der Einsteigebereich als Stehplatzzone benutzt wird. Die Treppen werden zudem als Sitzgelegenheit benutzt, auch wenn die Personen grössere Strecken mit Zeiten bis zu 10 Minuten oder mehr zurücklegen. Für die Aus- und Einsteigenden erschwert sich somit der Prozess und es gehen weitere wertvolle Sekunden der Fahrgastwechselzeit verloren.

Aus der Tabelle 6-1 geht hervor, dass mit Ausnahme des DPZ+ sämtliche untersuchten Rollmaterialtypen über 100 % Niederflureinstieg verfügen. Der DPZ ist in der Tabelle jedoch nicht enthalten. Er verfügt nur über zweistufige Treppenaufstiege. Diese Höhenüberwindung wirkt sich unmittelbar auf die Fahrgastwechselzeit aus und verlängert diese [8, p. 167]. Dementsprechend widerstandsloser verläuft der Fahrgastwechsel bei Niederflureinstiegen ab. Die Dimensionierung des Einstiegsbereichs ist nebst einem Niederflureinstieg ebenfalls von hoher Bedeutung für die Fahrgastwechselzeit. Sie bestimmt massgeblich, wie schnell sich wie viele Personen in andere Bereiche im Fahrzeuginneren begeben können, um Platz für nachfolgende Personen zu gewähren. Dasselbe gilt für den Aussteigeprozess.

6.6.1 Gemessene Fahrgastwechselzeiten

Die durchschnittlichen Fahrgastwechselzeiten $t_{h,f}$ betragen beim DPZ inkl. der Beobachtungen bei der 1.40 Meter breiten Steuerwagentüre 23 Sekunden. Bei den NDW-Wagen, welche im DPZ eingereiht sind, dauert der Fahrgastwechsel im Mittel 25 Sekunden. Bei dem vom Einstiegsbereich her ähnlichen DTZ dauerte der Fahrgastwechsel im Mittel 19 Sekunden. Der letzte beobachtete doppelstöckige Zug, der sechsteilige Regio-Dosto, hatte Fahrgastwechselzeiten von durchschnittlich 17 Sekunden. Der FLIRT wies mit über 100 Beobachtungen im Schnitt ebenfalls knapp 17 Sekunden für die Fahrgastwechselzeit auf.

6.6.2 Türleistungsfähigkeit L und spezifische Türleistungsfähigkeit L_s

Untenstehend sind in den beiden Abb. 6-21 und Abb. 6-22 die Plots der beobachteten Fahrgastwechsel abgebildet. Die Regressionsgerade der einzelnen Grafiken beschreibt dabei den linearen Zusammenhang zwischen der Fahrgastzahl F und der Türleistungsfähigkeit L , resp. der spezifischen Türleistungsfähigkeit L_s , welche zusätzlich die effektive Türbreite berücksichtigt.

Die Abb. 6-22 zeigt exemplarisch, dass die spezifische Leistungsfähigkeit der Türe von FLIRT und DTZ höher sind als beispielsweise beim DPZ. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die Türe beim Flirt mit 1.30 Meter schmaler als bei den anderen Rollmaterialtypen ist und den Leistungswert deshalb tendenziell in die Höhe trieb. Diese gemessenen Kennzahlen sind jedoch nur bedingt repräsentativ für das Fahrplanjahr 2014 und weisen stark schwankende Fahrgastzahlen auf. Bei sämtlichen untersuchten Rollmaterialtypen ist jedoch ersichtlich, dass die Leistungsfähigkeit L und L_s mit zunehmender Fahrgastzahl F steigt. Eine höhere Fahrgastzahl erhöht den Druck gegenüber den umgebenden Personen sich zu bewegen und beschleunigt damit den Fahrgastwechsel. Dies lässt sich auch aus den beobachteten Fahrgastwechseln ableiten, da sich die Fahrgastwechselzeiten bei rund 30 Ein- und Aussteigern nicht wesentlich unterscheiden wie bei 40 Ein- und Aussteigern (vgl. Kapitel 12.5).

Vergleicht man die untersuchten Rollmaterialtypen untereinander so zeigt sich, dass der Fahrgastwechsel bei den doppelstöckigen Zügen länger dauert als beim einstöckigen FLIRT. Nebst der Konstruktion des Einstiegsbereichs, welche einen raschen Fahrgastwechsel ermöglichen soll, weisen Doppelstockzüge ein rund 1.5 mal grösseres Fassungsvermögen auf als einstöckiges Rollmaterial. Das bedeutet auch, dass mehr Passagiere den gleichen Türquerschnitt passieren müssen.

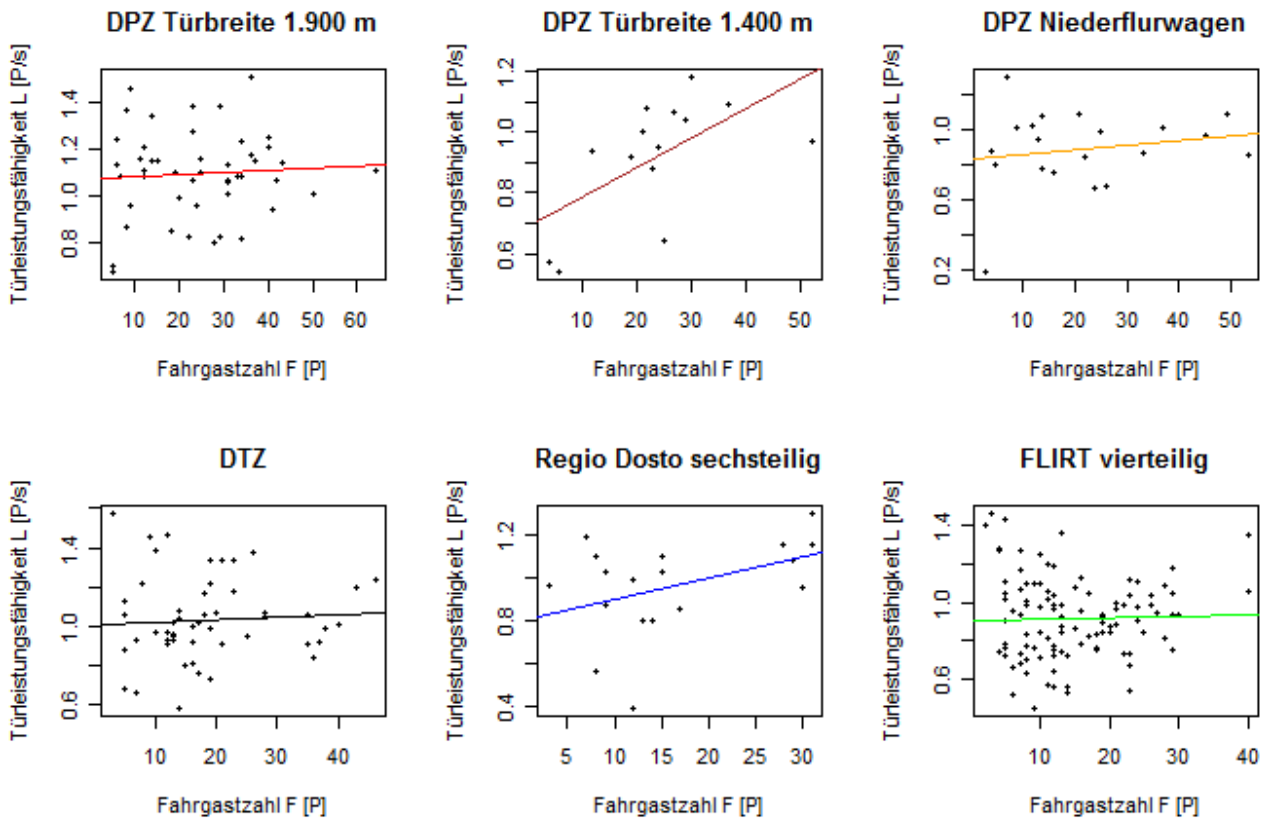


Abb. 6-21: Regressionsgeraden, die den Zusammenhang zwischen Fahrgastwechselzahl F und der Türleistungsfähigkeit L aufzeigen.

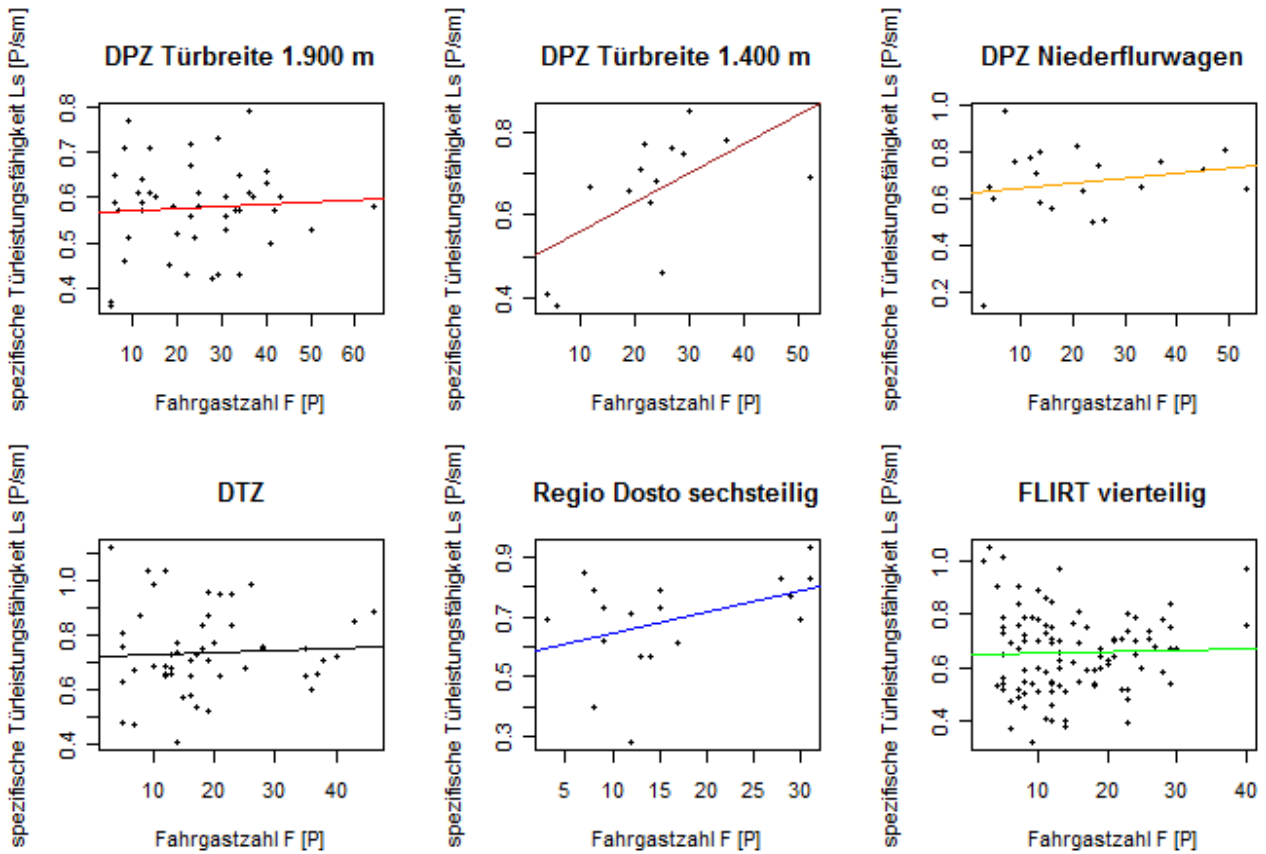


Abb. 6-22: Regressionsgeraden, die den Zusammenhang zwischen Fahrgastwechselzahl und der spezifischen Türleistungsfähigkeit L_s aufzeigen.

Die Beobachtungen lieferten wertvolle Informationen über den Fahrgastwechsel und dienten nebst der recherchierten Literatur als Eckdaten für die spätere Simulation des Fahrgastwechsels. Zudem zeigte sich am Verhalten der Fahrgäste exemplarisch, dass ein geordneter Fahrgastwechsel in Verbindung mit einer effizienten Kundenlenkung die Fahrgastwechselzeit positiv beeinflussen kann.

7 Neuer Lösungsansatz für die «Zürcher S-Bahn 2G»

7.1 Fahrzeuglayouts für die ISB

Für die Untersuchung der Hypothesen 1 und 2 gemäss Kapitel 1.3 wird der Ansatz eines neuartigen Fahrzeuglayouts für Regionalverkehrsfahrzeuge im Bahnverkehr verfolgt. Das getrennte Ein- und Aussteigen mit der sogenannten Spanischen Lösung ist nur durch erhebliche Infrastrukturausbauten realisierbar, da es bei diesem überaus effizienten Lösungsansatz eine Kombination von Mittel- und Aussenbahnsteigen benötigt. Daher wurden die weiteren Betrachtungen bezüglich dem getrennten Ein- und Aussteigen nur auf das Rollmaterial ausgerichtet. Da geplant ist, zumindest für die ISB neues Rollmaterial zu beschaffen, bietet sich somit die einmalige Gelegenheit für die SBB AG, einen Systemwechsel durchzuführen.

Die Autoren kamen zum Schluss, dass die prognostizierte Nachfrageentwicklung nur mit einstöckigem Rollmaterial sowie kurzen Zugfolgezeiten bewältigt werden kann, um die Leistungsfähigkeit dieser ISB-Fahrzeuge gegenüber den heutigen Regionalverkehrsfahrzeugen zu erhöhen (vgl. auch Kapitel 10.2). Beobachtungen im Betrieb sowie bei den Messungen zu Kapitel 6.6 haben gezeigt, dass die Fahrgastwechselzeit bei doppelstöckigen Fahrzeugen länger dauert, da sich der Personenfluss aus und zu den oberen Stockwerken den Fahrgastwechsel z.T. stark verzögert. Um die Türleistungsfähigkeit L zu erhöhen, gehen die Autoren weiter von drei Türen pro Wagenkastenseite aus. Eine weitere Annahme bzw. Voraussetzung für die vorgeschlagenen Wagenlayouts ist der Einsatz von sogenannten Jakobsdrehgestellen, welche sich zwischen den Wagenübergängen befinden. Diese Art der Drehgestelle erlaubt einen vollständigen Niederfluranteil und lässt viel Freiraum für das Anordnen der Türen zu. Eine grössere Darstellung der Zeichnungen in Abb. 7-1 bis Abb. 7-4 ist im Anhang, Kapitel 12.3, einsehbar.

7.1.1 Variante 1

Unter obigen Voraussetzungen und der Analyse bestehender Regionalverkehrsfahrzeuge (vgl. Tabelle 6-1) entstand die erste Variante eines Wagenlayout für die «Zürcher S-Bahn 2G» (Abb. 7-1). Zur einfacheren Einteilung und Übersicht wurde der Wagenkasten in 0.50 Meter-Raster unterteilt. Die Wagenkastenbreite von 3.00 Meter wurde zur besseren Visualisierung gewählt und kann je nach effektiver Wagenlänge und Drehzapfenabstand der Drehgestelle variieren. Um das maximal zulässige Lichtraumprofil im Einsatzbereich nicht zu verletzen sind Einsparungen in der Wagenkastenbreite von bis zu 10 Zentimeter möglich, ohne die Innenraumgestaltung zu verändern.

Für das Ein- und Aussteigen stehen getrennte Türen zur Verfügung. Die Türen für das Einsteigen sind jeweils an den Wagenenden platziert, wobei das Aussteigen an der mittleren Türe stattfindet. Die Sitze sind bewusst so ausgerichtet, dass die Fahrgäste nur die Ausstiegstüre in Blickrichtung sehen. Damit soll erreicht werden, dass die Fahrgäste vor dem Aussteigen unmittelbar die richtige Türe aufsuchen. Als kundenlenkende Massnahme sind die Flächen am Boden bei den Einstiegstüren rot markiert, was für die Fahrgäste im Fahrzeuginneren bedeutet, dass hier keine Stehplatzzonen vorhanden sind und der Bereich für die Einsteigenden freizuhalten ist. Eine weitere Massnahme kann sein, dass die Einstiegstüren innen sowie die Ausstiegstüren aussen keinen Öffnungstaster aufweisen. Beispiele von kundenlenkenden Massnahmen im Bereich des Rollmaterials sind zudem im Kapitel 7.2 aufgeführt.

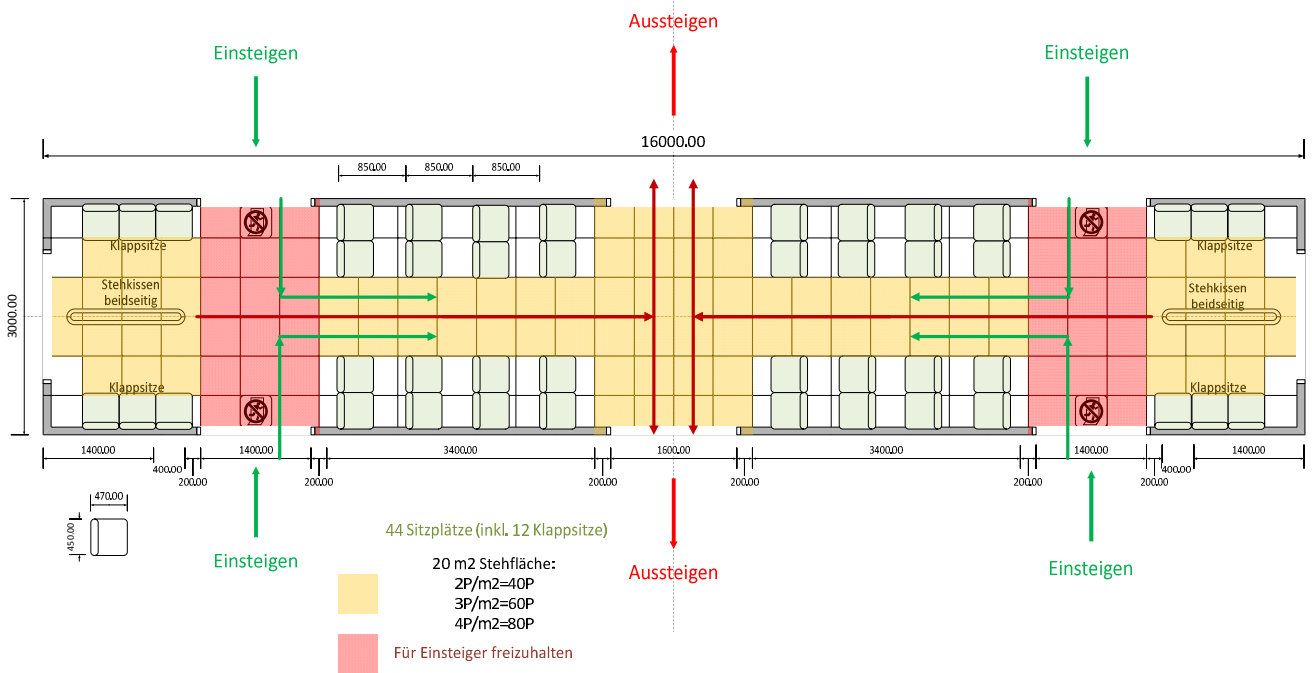


Abb. 7-1: Fahrzeuglayout eines Zwischenwagens der ISB, Variante 1, alle Masse in Millimeter.

Die Wagenübergänge sind bewusst breit gewählt, damit auch im Fahrzeuginneren ein Personenfluss von Wagen mit hohem Besetzungsgrad in solche mit geringerem Besetzungsgrad stattfinden kann. Ein Zug setzt sich aus insgesamt vier Wagen zusammen. Zwei Endwagen sowie zwei Mittelwagen, die bezüglich Türen und Sitzplatzanordnung vollständig identisch und symmetrisch aufgebaut sind. Die Zugszusammensetzung von vier Wagen wurde gewählt, damit betriebliche Flexibilität gewährleistet werden kann. Eine Mehrfachtraktion von bis zu vier Zügen ist denkbar und hätte somit eine Gesamtlänge von knapp 300 Metern.

Vierteilige Züge lassen sich in der Nebenverkehrszeit (NVZ) auslastungsoptimierter einsetzen und gewähren hohe betriebliche Flexibilität. Da weiter vorgesehen ist, infrastrukturseitig eine Kundenlenkung auf den Bahnsteigen einzuführen, wurde bewusst auf sechsteilige Züge verzichtet. Der dadurch entstehende mögliche Mischbetrieb vier-/ sechsteilige Züge in Mehrfachtraktion würde diese kundenlenkenden Massnahmen zusätzlich erschweren. Weitere Details hierzu sind im Kapitel 7.1.3 beschrieben.

Die Tabelle 7-1 zeigt die wichtigsten Kennwerte dieses Fahrzeuglayouts:

Parameter	Wert
Länge (ohne PUK)	16.00 m
Länge Zug	74.70 m (inkl. Kupplung)
Länge Zug in Dreifachtraktion	≈ 224 m
Länge Zug in Vierfachtraktion	≈ 300 m
Breite	2.90–3.00 m
Lichte Weite Türe Aussteigen Wagen	1.60 m
Lichte Weite Türen Einsteigen (gesamt) Wagen	2.80 m
Lichte Weite Türen Aussteigen (gesamt) Zug	6.40 m
Lichte Weite Türen Einsteigen (gesamt) Zug	11.20 m
Anzahl Sitzplätze (inkl. Klappsitze) Wagen	44
Anzahl Stehplätze (3P/m ²) Wagen	60
Anzahl Sitzplätze (inkl. Klappsitze) Zug	176
Anzahl Stehplätze (3P/m ²) Zug	240
Fassungsvermögen pro Laufmeter Zug [P/m]	5.57 (sitz- und stehplatzbezogen)
Abstand zw. zwei Sitzgruppen	0.85 m
Gangbreite	0.80–1.00 m (abhängig von der effektiven Wagenkastenbreite)
Abstand zw. zwei Einstiegstüren im Zug	10.50 m/ 6.00 m
Abstand zw. zwei Ausstiegstüren im Zug	16.50 m

Tabelle 7-1: Kennwerte der Variante 1 einer ISB.

Ein Nachteil dieser Variante ist das mögliche Kreuzen von Passagieren, die von den Stehplatzzonen an den Wagenenden zum Aussteigen in die Wagenmitte gelangen müssen. Findet dieser Personenfluss erst beim Stillstand und bei bereits freigegebenen Türen statt, ist eine negative Beeinflussung der Einsteiger zu erwarten. Diese Tatsache war ausschlaggebend für den Entwurf einer zweiten, verbesserten Variante.

7.1.2 Variante 2

Der wesentliche Unterschied zur ersten Variante ist in der Aufteilung der Türen für das Ein- und Aussteigen. Durch einfaches Tauschen der Türfunktionen konnte der Konfliktpunkt aus der Variante 1 behoben werden. Ausserdem wurden die lichten Weiten der Türen für einen besseren Personenfluss im Fahrzeuginneren angepasst. Die Sitze sind weiterhin konsequent auf die Ausstiegstüren ausgerichtet. Für das Einsteigen steht nun eine Türe mit lichter Weite von 1.90 Metern zur Verfügung (analog DPZ). Die beiden Ausstiegstüren besitzen eine lichte Türöffnung von je 1.30 Metern (analog NDW). Aus Sicherheitsgründen macht es Sinn, den Ausstiegstüren insgesamt mehr Öffnungsweite zu geben, damit im Falle einer Evakuierung das Fahrzeug schnell verlassen werden kann. Mit diesem angepassten Layout ist es auch für Passagiere des Nachbarwagens problemlos und ohne Queren von einsteigenden Passagierströmen möglich, das Fahrzeug bei den dafür vorgesehenen Türen zu verlassen. Durch das neue Anordnen der Türen wird zudem mehr Stehplatzfläche gewonnen.

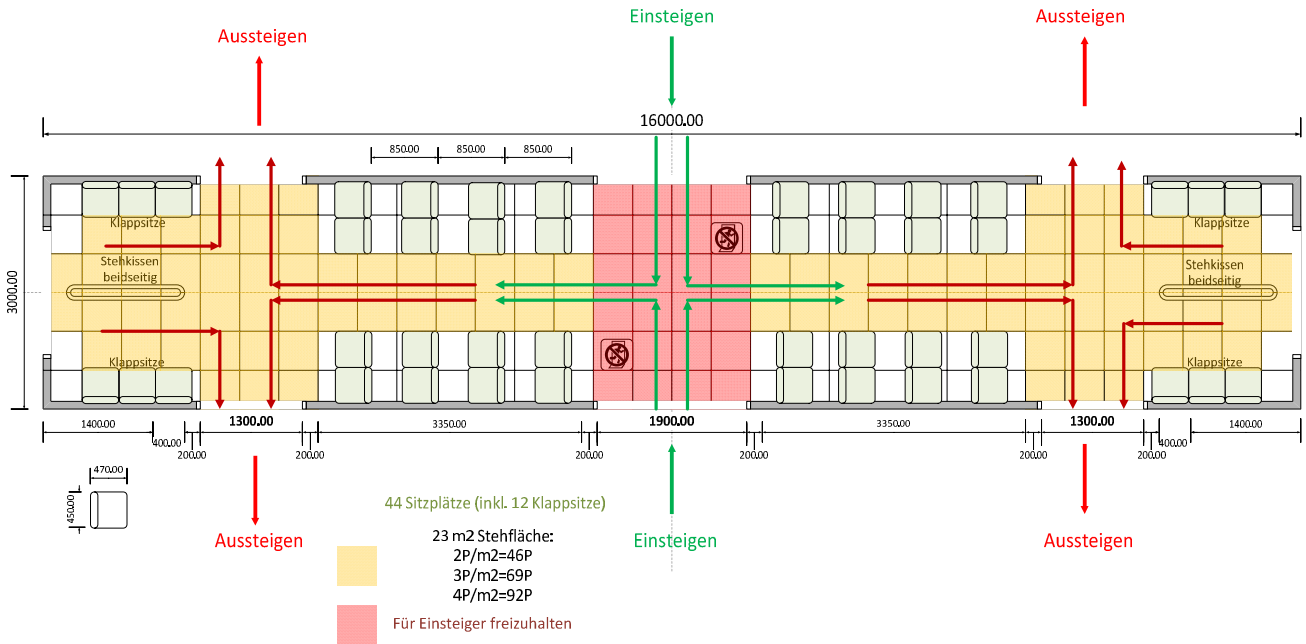


Abb. 7-2: Fahrzeuglayout eines Zwischenwagens der ISB, Variante 2, alle Masse in Millimeter.

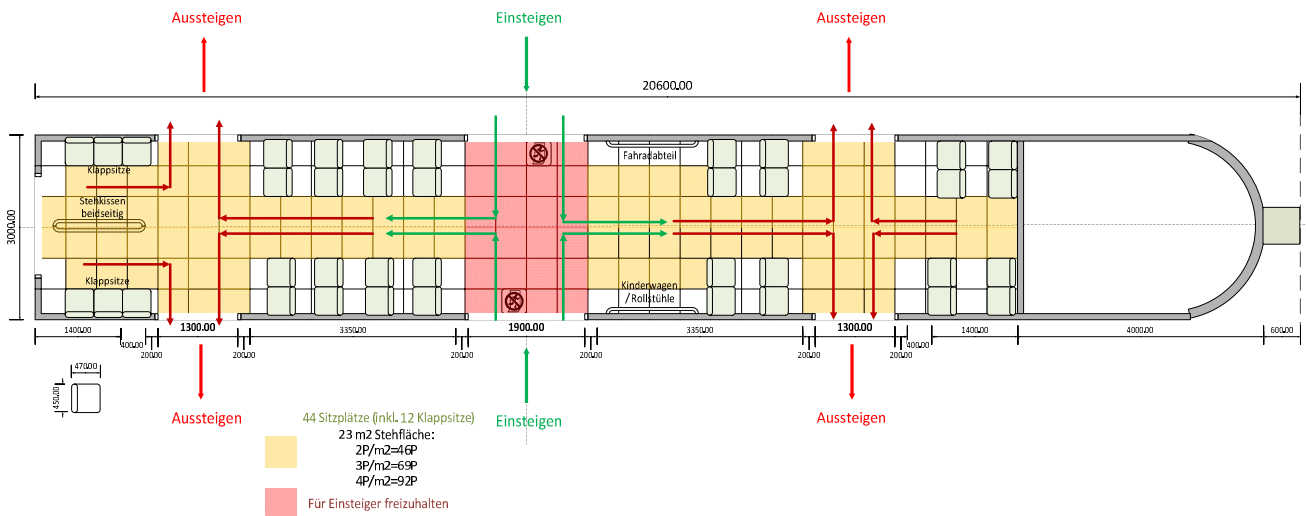


Abb. 7-3: Fahrzeuglayout eines Endwagens der ISB, Variante 2, alle Masse in Millimeter. Direkt neben den Einstiegtüren steht ein Multifunktionsabteil für Rollstühle, Kinderwagen oder Fahrräder bereit.

Die Tabelle 7-2 zeigt die wichtigsten Kennwerte dieses Fahrzeuglayouts:

Parameter	Wert
Länge (ohne PUK) Zwischen-/ Endwagen	16.00 m/ 20.60 m
Länge Zug	74.70 m (inkl. Kupplung)
Länge Zug in Dreifachtraktion	≈ 224 m
Länge Zug in Vierfachtraktion	≈ 300 m
Breite	2.90–3.00 m
Lichte Weite Türe Aussteigen (gesamt) Wagen	2.60 m
Lichte Weite Türen Einsteigen Wagen	1.90 m
Lichte Weite Türen Aussteigen (gesamt) Zug	10.40 m
Lichte Weite Türen Einsteigen (gesamt) Zug	7.60 m
Anzahl Sitzplätze (inkl. Klappsitze) Wagen	44
Anzahl Stehplätze (3P/m ²) Wagen	69
Anzahl Sitzplätze (inkl. Klappsitze) Zug	176
Anzahl Stehplätze (3P/m ²) Zug	276
Fassungsvermögen pro Laufmeter Zug [P/m]	6.05 (sitz- und stehplatzbezogen)
Abstand zw. zwei Sitzgruppen	0.85 m
Gangbreite	0.80-1.00 m (abhängig von der effektiven Wagenkastenbreite)
Abstand zw. zwei Einstiegstüren im Zug	16.50 m
Abstand zw. zwei Ausstiegstüren im Zug	10.70 m/ 5.80 m

Tabelle 7-2: Kennwerte der Variante 2 einer ISB.

Bei beiden Varianten wird von einem Verzicht der 1. Klasse sowie einer Toilette ausgegangen, damit sich die kundenlenkenden Massnahmen nicht unnötig verkomplizieren und um mehr Sitz- und Stehplätze für die Passagiere zu generieren. Der Verzicht auf diese Qualitätsmerkmale ist bewusst gewählt, da die Aufenthaltsdauer auf einer ISB geringer als auf der ESB oder sonstigen Fahrzeugen der SBB AG ist. Für Kinderwagen, Rollstühle oder Fahrräder ist jeweils in den zwei Endwagen ein grösseres Multifunktionsabteil vorgesehen. Es ist jedoch auch möglich, in einen Zwischenwagen mit einem Rollstuhl oder Kinderwagen einzusteigen und die Stehplatzflächen an den Wagenübergängen zu benutzen. Die Gangbreite nach dem Einsteigen ist mit 0.80-1.00 Meter ausreichend breit.

Für die folgenden Betrachtungen Zug/ Bahnsteig und für die Simulation wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit nur die Variante 2 (Bestvariante) betrachtet. Die Verwendung des Begriffs ISB bezieht sich demnach immer auf die Bestvariante 2. Ausserdem ist eine Mehrfachtraktion von bis zu vier Fahrzeugen angedacht.

Die Abb. 7-4 zeigt den Zug der Variante 2 mit bahnsteigseitigen grünen Bodenmarkierungen für die Aufenthaltsflächen der wartenden Passagiere. Die roten Bodenmarkierungen deuten auf die freizuhaltenden Flächen für die aussteigenden Passagiere hin. Die gleichmässige Geometrie wird lediglich an den Wagenenden kurz unterbrochen.

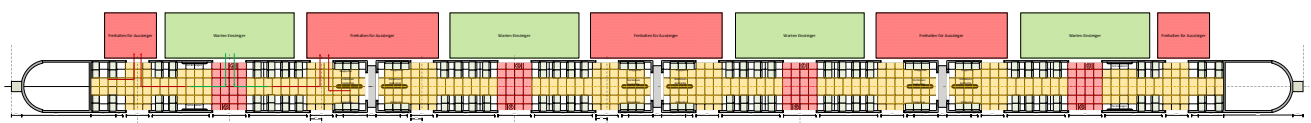


Abb. 7-4: Vierteilige ISB mit Bodenmarkierungen. Die roten Flächen sind jeweils aus Sicht Passagiere im oder vor dem Fahrzeug freizuhalten.

7.1.3 Integration Fahrzeuglayout ISB im Kernbereich

Die Bestvariante 2 der ISB wurde in die bestehenden Bahnhofstopologien im Abschnitt Hardbrücke-Stettbach integriert. Hierzu konnte auf georeferenzierte CAD-Daten der SBB zugegriffen werden.

Die Bestvariante 2 ist dahingehend konzipiert, dass jeweils in der Fahrzeugmitte (rot) der Einsteigebereich und an den beiden Fahrzeugenden (grün) die Aussteigebereiche sind. Die roten Bereiche im Zugsinneren, als auch auf den Bahnsteigen markieren die freizuhaltenden Bereiche, um einen möglichst raschen und effizienten Fahrgastwechsel zu ermöglichen. In den nachfolgenden Kapiteln 7.1.3.1 bis 7.1.3.4 ist das Layout der Bestvariante in bestehende Gleistopologien implementiert worden. Eine grössere Darstellung der Grafiken in Abb. 7-5 bis Abb. 7-8 ist im Anhang, Kapitel 12.4 einsehbar.

Bei der Implementation wurde nach Möglichkeit darauf geachtet, dass die Halteorte der Züge einen möglichst raschen Abfluss der aussteigenden Personen aus dem Fahrzeug (grün) vom Bahnsteig ermöglichen, da der Zu- und Abfluss der Personenströme auf den Bahnsteigen einen weiteren systemrelevanten Faktor darstellt.

Durch die Anordnung der Aussteigebereiche (rot) bei den Abgängen soll erreicht werden, dass auf den Bahnsteigen sowie den Zu- und Abgängen innert kürzester Zeit wieder die benötigte Kapazität für die Folgezüge vorhanden ist. Zudem muss darauf geachtet werden, dass bei Mittelbahnsteigen die Halteorte aufeinander abgestimmt sind. Dies dient der einfacheren Orientierung und Merkbarkeit bei den Reisenden und führt damit zur besseren Ausnutzung der vorhandenen Flächenkapazität.

Die Züge sind in den einzelnen Stationen von Einfach- bis hin zur Vierfachtraktion abgebildet. Die nutzbaren Bahnsteiglängen im betrachteten Abschnitt liegen über 300 Meter und erlauben maximal Vierfachtraktion mit dem neuen Layout. Die Halteorte werden dabei vom längstmöglichen Zug definiert und auf die Züge in Dreifach-, Doppel- oder Einfachtraktion übertragen. Aufgrund des stetigen Fahrgastaufkommens ist davon auszugehen, dass die Züge der ISB hauptsächlich in Doppeltraktion und nur in der nachfrageschwachen Zeit in Einfachtraktion verkehren. Der Halteort bei einer Einfachtraktion ist somit weniger stark zu gewichten.

7.1.3.1 Zürich Hardbrücke

Die maximal nutzbare Bahnsteiglänge beträgt im Bahnhof Hardbrücke 320 Meter. Die Züge können somit auch in Vierfachtraktion optimal am Bahnsteig anhalten. Die Abb. 7-5 zeigt beispielsweise einen Zug in Vierfachtraktion im Gleis 3. Die Zugspitze befindet sich auf Höhe des Bahnsteigs 4. Der Halteort ist somit eher nach Westen hin ausgerichtet. Dies ist insofern von Vorteil, weil sich die Ab- und Zugänge auch auf der Westseite der Publikumsanlagen befinden.

Ausgehend von der maximal möglichen Vierfachtraktion werden die Halteorte der anderen Züge definiert, damit der gleiche Bahnsteig über symmetrische Wartezonen verfügt. Dies hat zur Folge, dass die Züge in Einfach- oder Dreifachtraktion nicht mittig zu den Auf- und Abgängen anhalten. Bei der Dreifachkomposition wird dieser Bahnsteigbereich jedoch genügend abgedeckt.

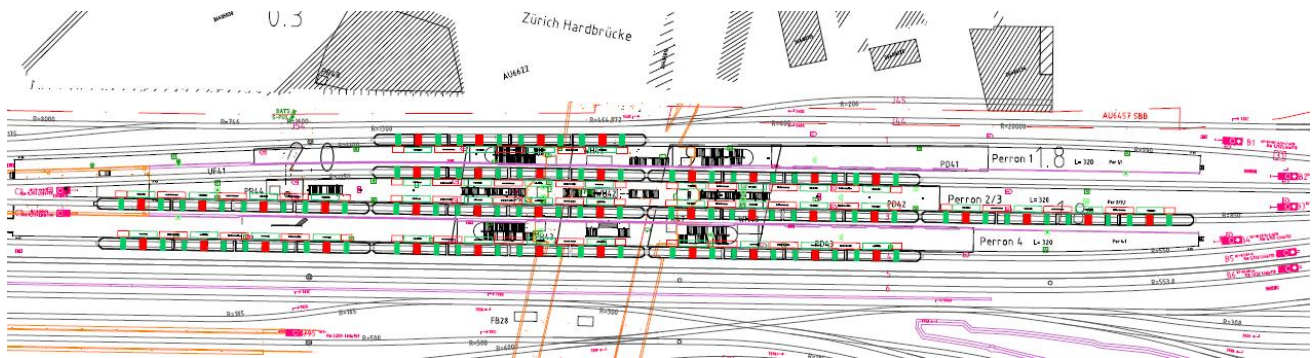


Abb. 7-5: Vierteilige Züge der ISB von Einfach- bis hin zur Vierfachtraktion im Bahnhof Hardbrücke.

7.1.3.2 Zürich HB Museumstrasse

Die untenstehende Abb. 7-6 zeigt die ISB-Züge in Doppel- bis Vierfachtraktion im Bahnhof Museumstrasse. Der Halteort einer Vierfachtraktion liegt in diesem Beispiel im Gleis 42 zwischen den Sektoren D Richtung Hardbrücke und A Richtung Stadelhofen. Die Züge in Doppel- und Dreifachtraktion halten im Bereich Mitte mit den Hauptaufgängen bis zur Passage Sihlquai. Damit können die Umsteigewege zu den Zügen, welche ab der Bahnhofshalle verkehren, in den meisten Fällen verkürzt werden [33]. Der Halteort für einen ISB-Zug befindet sich im Sektorabschnitt A und B (vgl Anhang, Kapitel 12.4.2).

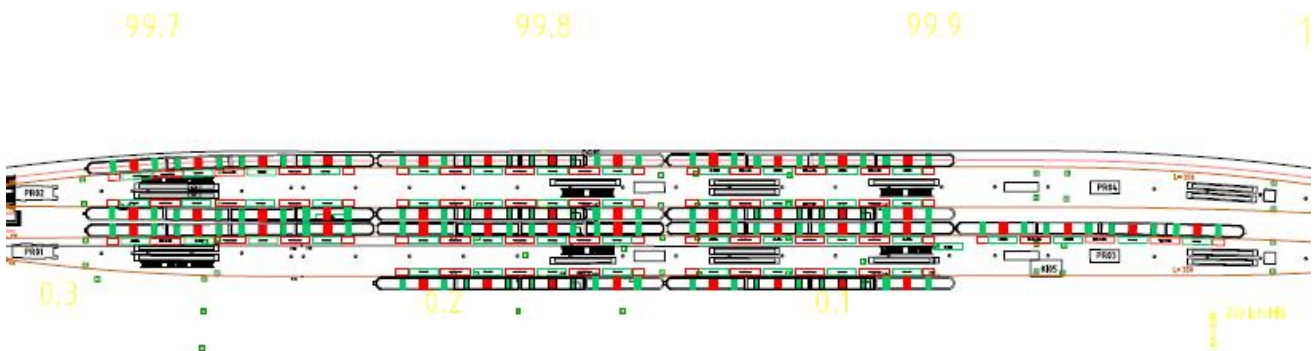


Abb. 7-6: ISB-Züge in unterschiedlicher Anzahl im Bahnhof Museumstrasse.

7.1.3.3 Zürich Stadelhofen

Der Bahnhof Stadelhofen liegt in einer Kurve, was insbesondere die Überblickbarkeit eines Zuges in Mehrfachtraktion nur mit Hilfe von Videokameras erlaubt.

Die Halteorte sind wiederum auf die Zu- und Abgänge ausgerichtet, damit die Aussteiger möglichst rasch zum nächsten Ausgang gelangen. Aufgrund der Kurvenradien sind die Wartezone am Mittelbahnsteig 2/3 nicht exakt aufeinander abstimmbare.

Der Bahnhof weist durch seiner Konzipierung den Vorteil auf, dass das dem Aufnahmegebäude nächste Gleis 1 keinen Bahnsteig mit einem anderen Gleis teilt. Somit kann hier der Halteort unabhängig und variabel zu den Gleisen 2 und 3 bestimmt werden (vgl. Abb. 7-7). Er ist dennoch auf die gesamte Zuglänge einer Vierfachtraktion auszurichten.

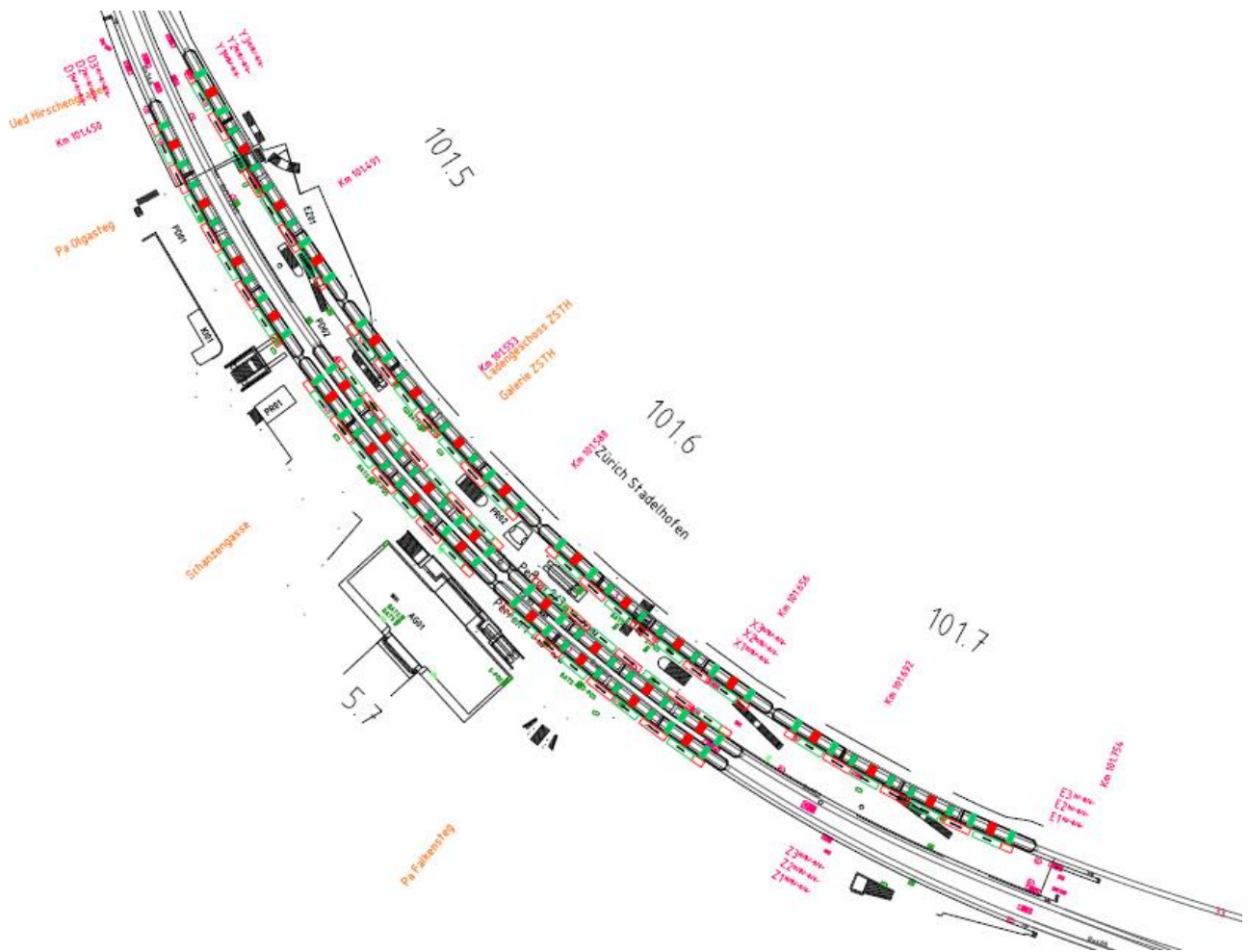


Abb. 7-7: Eine Vierfachtraktion im Gleis 3 des Bahnhofs Stadelhofen. Die Kurvenradien haben einen Einfluss auf die Anordnung der Wartezone.

7.1.3.4 Zürich Stettbach

Der zweigleisige Bahnhof liegt vollkommen unterirdisch und verfügt nur über einem Mittelbahnsteig. Die Halteorte der Züge sind bei Doppel- und Vierfachtraktion auf die Aufgänge ausgerichtet (vgl. Abb. 7-8). Züge in Einfach- oder Dreifachtraktion halten in südlicher Richtung versetzt (Stadelhofen) zu den Aufgängen in der Bahnsteigmitte.

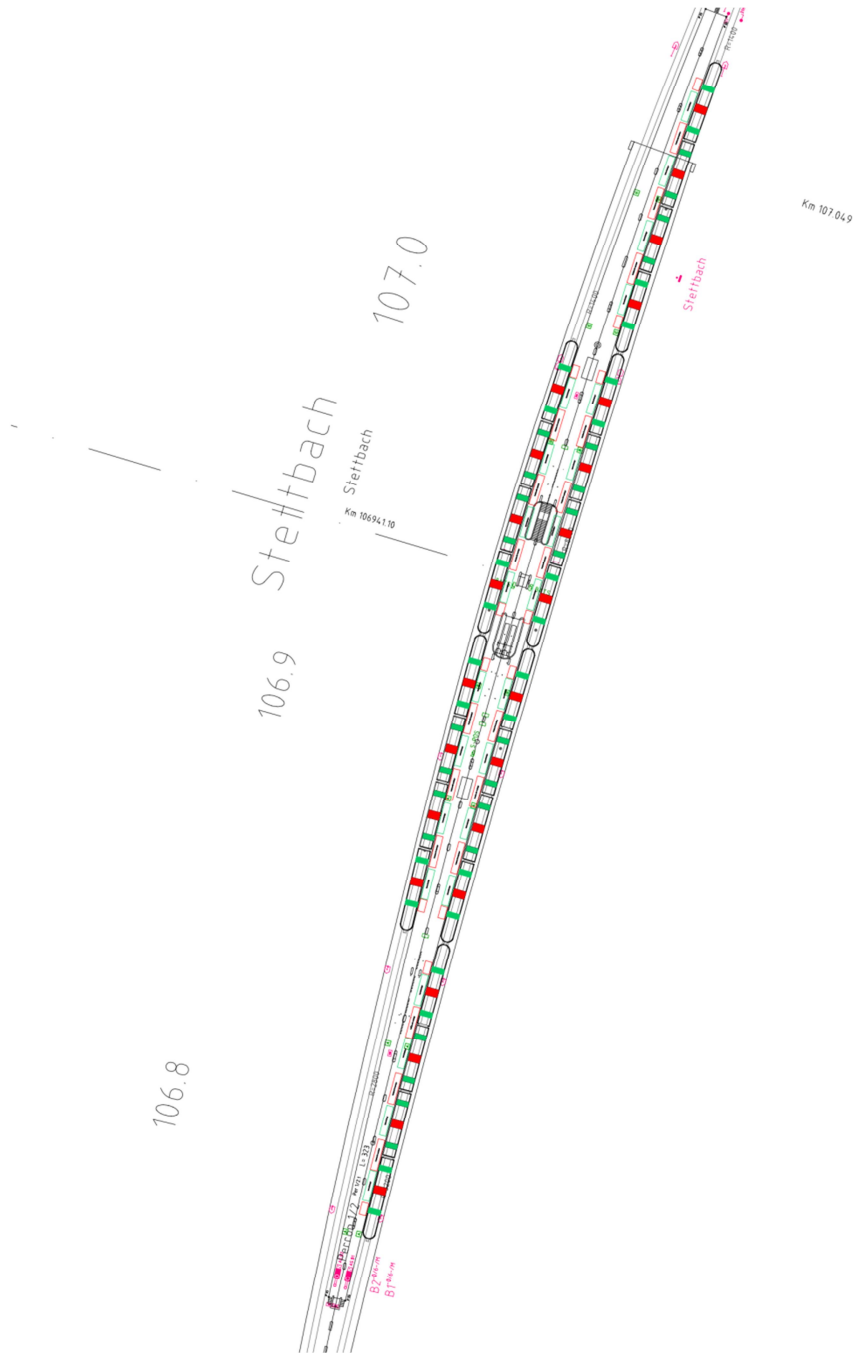


Abb. 7-8: Der zweigleisige Bahnhof Stettbach mit symmetrisch auf die Aufgänge gelegten Halteorten bei Doppel- oder Vierfachtraktion.

7.2 Kundenlenkung «2G»

Die Effizienz des räumlich getrennten Ein- und Aussteigens wird durch eine aktive Kundenlenkung mit akustischen und visuellen Massnahmen unterstützt. Die zweite Hypothese besagt, dass das räumliche Ein- und Aussteigen in Kombination mit einer gezielten Kundenlenkung erreicht wird. Diese Kundenlenkung soll möglichst einfach und leicht merkbar aufgebaut sein.

Die Kundenlenkung ist auf das Fahrzeugkonzept der ISB und derer Dimensionen ausgelegt. Auf den Bahnsteigen sind spezielle Zonen für die Passagiere definiert. Die Abmessungen und Abstände zueinander ergeben sich aus den Anordnungen der Türen an den Zügen der ISB. Folglich hat diese spezifische Kundenlenkung nur für sie Gültigkeit. Für das zeitkritische Fahrplankonzept des einstöckigen Rollmaterials mit den geforderten kurzen Fahrgastwechseln bedarf es unterstützenden Massnahmen. Doppelstockzüge und Züge der ESB, welche die gleichen Strecken benutzen, verkehren nach denselben Prinzipien wie bisher. In diesen Fällen verteilen sich die Fahrgäste über den gesamten Bahnsteig. Es wird angestrebt, die Halteorte der unterschiedlichen Zugstypen möglichst harmonisch aufeinander abzustimmen, um die markierten Flächen effizient nutzen zu können. Zu starke Verschiebungen der Fahrgastkonzentrationen auf den Bahnsteigen sind aufgrund des Fahrplankonzepts mit gemischt verkehrenden Zugstypen der ISB und ESB unbedingt zu vermeiden.

7.2.1 Bodenmarkierungen

Die Passagiere müssen sich vor der Einfahrt des Zuges in kurzer Distanz zu den Einstiegstüren befinden und die aussteigenden Fahrgäste nicht behindern. Durch akustische Kundeninformation werden die Fahrgäste aufgefordert, sich vor der Einfahrt des ISB-Zuges zu den farblich markierten Zonen auf den Bahnsteigen zu begeben. Wie in Abb. 7-9 markieren dabei die grünen Zonen den Wartebereich der Einstiegstüren. In den roten Zonen sollten sich keine Personen befinden, um den Abfluss der aussteigenden Personen nicht zu behindern. Dies hat einen positiven Effekt auf die Entleerung des Zuges, den Wegfluss auf dem Bahnsteig und ermöglicht zudem ein schnelleres Einsteigen.



Abb. 7-9: Die Bahnsteige werden wie hier am Beispiel Museumstrasse in spezielle Zonen unterteilt (Fotomontage).

Die benachteiligten Personen wie beispielsweise Sehbehinderte oder Ortsunkundige können ebenfalls mittels Lautsprecherdurchsagen auf die verschiedenen Zonen aufmerksam gemacht werden.



Abb. 7-10: Grüne Bereiche als Einsteigezone, rote freizuhaltende Zonen für die aussteigenden Fahrgäste (Fotomontage).

Je nach Gleistopologie und Anordnung der Elemente auf dem Bahnsteig müssen die Zonen der beiden Gleise eines Mittelbahnsteigs aufeinander abgestimmt werden (vgl. Abb. 7-10 und Abb. 7-11). Die roten Zonen, welche für aussteigende Fahrgäste freizuhalten sind, konzentrieren sich zu den Auf- und Abgängen hin (vgl. Abb. 7-11). Damit wird ein rasches Abführen der Aussteiger vom Bahnsteig angestrebt, um auf den Bahnsteigen Raum für die Passagiere der nachfolgenden Züge freizumachen.

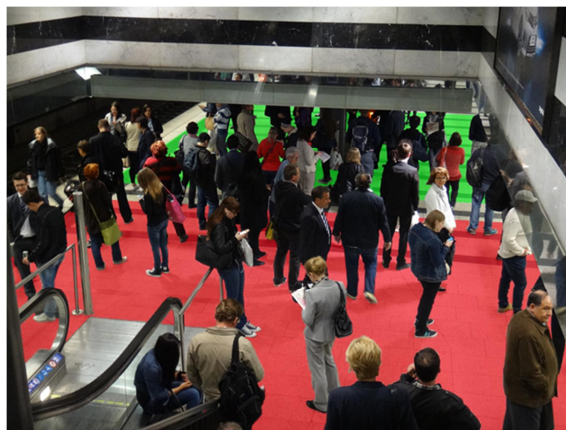


Abb. 7-11: Bei Mittelbahnsteigen sind die Zonen an den beiden Bahnsteigkanten aufeinander abgestimmt (Fotomontage).

7.2.2 Anzeigemonitore

Die Anzeigemonitore sind in der heutigen Form nicht optimal auf den S-Bahnverkehr ausgelegt. Eine Information zur verbleibenden Restzeit bis zur Ankunft fehlt. Bei städtischen Verkehrsbetrieben ist dies jedoch bereits heute Standard.

Durch einfache Massnahmen können die Anzeigemonitore benutzerfreundlicher gestaltet werden. So ist es beispielsweise möglich, die später verkehrenden Züge in reduzierter Form anzukündigen. Die nächste S-Bahn erhält dadurch mehr Platz für zusätzlichen Informationselemente. Die Restzeit bis zur Ankunft wird angezeigt, was in Nahverkehrsnetzen üblich ist. Die Endstation und wichtige Zwischenstationen sowie der Standort des Zuges am Bahnsteig sind weiterhin sichtbar. Als wichtige Zusatzinformation gibt es jedoch neu eine Anzeige des Besetzungsgrades über den ganzen Zug, wie in der Abb. 7-12 ersichtlich.



Abb. 7-12: Für den S-Bahnverkehr optimierte Anzeigemonitore (Fotomontage).

In Prozentzahlen ist damit gut ersichtlich, wie viele Sitz- und Stehplätze pro Zugseinheit belegt sind. Damit lässt sich eine gleichmässige Verteilung im Zug erreichen. Die Passagiere werden angehalten, sich zu den Einsteigezonen ausserhalb der Bahnsteigmitte zu begeben (im Bildbeispiel Sektor A oder C), da dort in der Regel noch mehr Platz zur Verfügung steht und der Fahrgastwechsel schneller vollzogen werden kann.

7.2.3 Kundenlenkung im Fahrzeug

Im Zug selber setzt sich das Farbkonzept mit den getrennten Ein- und Ausstiegsszonen analog den Bahnsteigen fort. Der Bereich vor den Ausstiegstüren soll für einen widerstandsarmen Personenfluss möglichst frei bleiben und ist darum rot gekennzeichnet.

Zusätzlich werden die aussteigenden Passagiere, wie in der Abb. 7-13 und Abb. 7-14 ersichtlich, mithilfe von Richtungspfeilen und grünen Bodenmarkierungen zu den Ausstiegstüren hin geleitet. Von aussen her werden die Einsteigenden mittels rotem Verbotskreuz darauf hingewiesen, dass sie sich bei einer Ausstiegstüre befinden, welche nicht zum Einsteigen benutzt werden darf. An den Türblättern fehlen gemäss Abb. 7-15 zudem die Türtaster und verunmöglichen somit ein Öffnen der Türe von aussen durch die Passagiere. Diese Massnahmen dienen dazu, dass getrennte Ein- und Aussteigen effizient umzusetzen.

Die nachfolgenden Bilder zeigen die situative Kundenlenkung im Fahrzeug am Layout Beispiel eines FLIRT.



Abb. 7-13: Eine Ausstiegstüre mit grüner Bodenmarkierung und grünem Richtungspfeil oberhalb des Türrahmens (Fotomontage).



Abb. 7-14: Die Personen werden im Fahrzeuginneren mittels Richtungspfeilen zu den Ausstiegstüren geleitet (Fotomontage).



Abb. 7-15: Fehlende Türtaster und ein rotes Verbotskreuz über den Türflügeln kennzeichnen eine reine Ausstiegstüre (Fotomontage).

8 Simulation von Personenströmen bei Fahrgastwechseln der «Zürcher S-Bahn 2G»

Dieses Kapitel beschreibt die Simulation zur Beantwortung der Hypothesen 1 und 2. Hierzu wird zuerst das Layout eines Zwischenwagens des FLIRT für die Simulation aufbereitet. Über ein mehrstufiges Validierungsverfahren werden die Modellparameter so angepasst, dass sich eine möglichst gute Übereinstimmung der Simulation mit den realen Daten ergibt. Anschliessend wird mit diesen Parametern das neue Fahrzeuglayout einer ISB der Autoren und einer ISB Variante gemäss Angaben der SBB AG simuliert. Verschiedene Simulationsläufe mit unterschiedlichen Randbedingungen wie Besetzungsgrad oder Anzahl Fahrgäste werden für alle Layouts gleichermaßen simuliert. Abschliessend findet die Auswertung und der Vergleich der wichtigsten Kennwerte wie der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ oder der Türleistungsfähigkeit L_s zwischen dem FLIRT und der ISB-Varianten statt.

Als Simulationstool für die mikroskopische Simulation von Fussgängern diente das Programm PTV VISSIM, mit dem Zusatzmodul VISWALK. Prof. Dr. Dirk Helbing ist wissenschaftlicher Berater der PTV GROUP. Gemeinsam mit der PTV GROUP hat er das Social Force-Modell für die Anwendung in PTV VISWALK erweitert. Die Validierung des Simulationsmodell PTV VISWALK fand auf drei unterschiedliche Arten statt:

Zuerst wurden makroskopische Parameter berechnet und mit empirischen Daten abgeglichen. Anschliessend wurde sichergestellt, dass mikroskopische Effekte wie Spurbildung (Gegenstrom) und Streifenbildung (Kreuzung) reproduziert werden. Die resultierende Animation soll möglichst realistisch dargestellt werden [34].

Das Verhalten von Fussgängern unterteilt sich gemäss [35] und [36] hierarchisch in drei Ebenen:

1. Auf der strategischen Ebene für Minuten bis Stunden plant ein Fussgänger seine Route, indem er eine Liste von Zielen erstellt. Hierbei handelt es sich um das Treffen von langfristigen Entscheiden; z.B. die Wahl des Verkehrsmittels und Festlegung der möglichen Aktivitäten.
2. Auf der taktischen Ebene für Sekunden bis Minuten wählt ein Fussgänger die Route zwischen den Zielen (auf Basis der strategischen Entscheide). Dazu gehören z.B. die Wahl der effektiven Aktivitäten und der Routen, also die Wahl des optimalen Pfades zwischen den Orten, an denen Aktivitäten stattfinden sollen (inkl. Start-/ Zielort).
3. Auf der operativen Ebene für Millisekunden bis Sekunden führt der Fussgänger die eigentliche Bewegung aus (auf Basis der taktischen Entscheide). Dabei weicht er entgegenkommenden Fussgängern aus, navigiert durch dichte Menschenmengen oder behält einfach die Richtung auf sein Ziel bei. Die Bewegung ist demnach stark durch die Interaktion mit anderen Fussgängern und Objekten (Wände, Hindernisse, Treppen etc.) bestimmt.

Das Social Force-Modell kontrolliert die operative Ebene und Teile der taktischen Ebene. Die Einstellungen für die strategische Ebene führen die Autoren durch.

Die nachfolgende Abbildung zeigt schematisch den Gesamtprozess beim Vorgehen zur untersuchten Fragestellung mit Integration der Simulation. Die nächsten Unterkapitel gehen detailliert auf den Vergleich der Realität mit der Simulation sowie den Modellanpassungen ein.

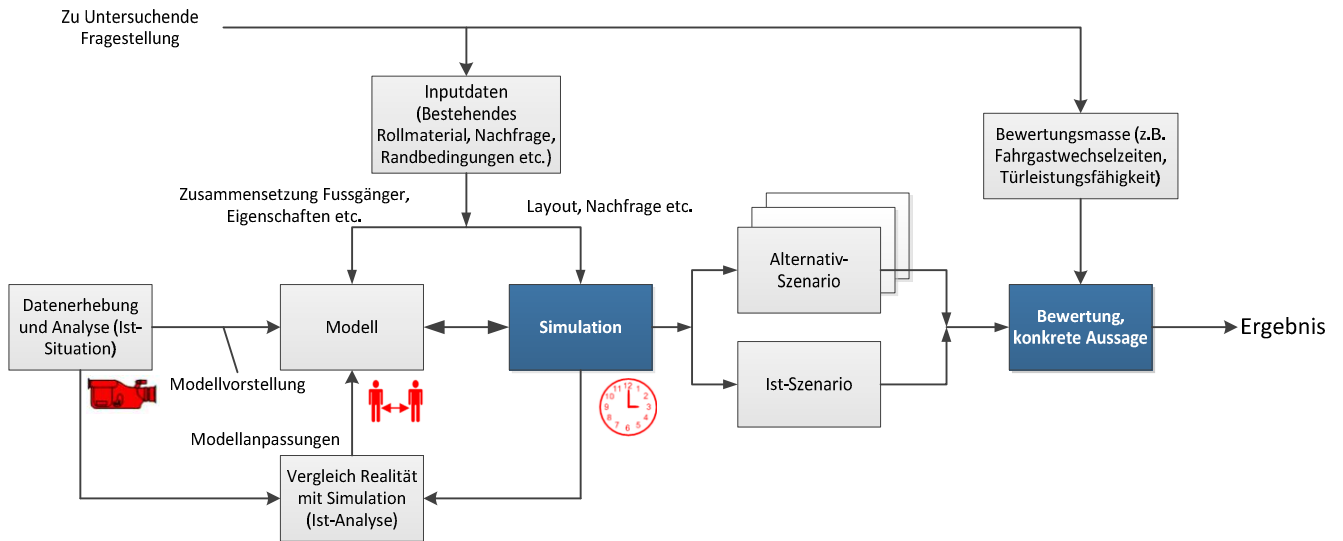


Abb. 8-1: Gesamtprozess zum Simulationsvorgehen der untersuchten Fragestellung [36, p. 24], bearbeitet.

8.1 Modell

Nachfolgend sind die Parameter des Social Force-Modells beschrieben, welches in PTV VISWALK implementiert ist und wie ihr Einfluss auf das Laufverhalten der simulierten Personen erfolgt. Die Definitionen sind dabei vollumfänglich aus [34], [36] sowie [37], zum Teil kombiniert und bearbeitet.

Das Social Force Modell geht davon aus, dass jeder Fussgänger i versucht, sich in eine gewünschte Richtung mit einer gewünschten Geschwindigkeit zu bewegen. Die Kraft, welche zur Zeit t auf Fussgänger i wirkt, setzt sich aus mehreren additiven Komponenten zusammen und ist wie folgt definiert (in den nachfolgenden Erläuterungen wird die Masse m für alle $i=1$ gesetzt. Somit erhält man direkt die interessierende Beschleunigung, welche sich zur Zeit t für den Fussgänger i ergibt):

$$\frac{d\vec{v}_i(t)}{dt} = \vec{f}_i(t) + \vec{\xi}_i(t) \tag{8.1}$$

$$\vec{f}_i(t) = \vec{f}_i^0(t) + \sum_{j \neq i} \vec{f}_{ij}(t) + \sum_o \vec{f}_{io}(t) \tag{8.2}$$

wobei:	i	Beeinflusster Fussgänger [-]
	j	Beeinflussender Fussgänger [-]
	$\vec{v}_i(t)$	Aktuelle Geschwindigkeit des Fussgängers i [m/s]
	$\vec{f}_i(t)$	Systematischer Teil der Beschleunigungskraft des Fussgängers i [m/s ²]
	$\vec{\xi}_i(t)$	Fluktuationsterm [-]
	$\vec{f}_i^0(t)$	Antriebskraft des Fussgängers i in Zielrichtung als «treibende» Komponente [m/s ²]
	$\sum_{j \neq i} \vec{f}_{ij}(t)$	Summe aller Interaktionen mit Fussgängern als «abstossende» Komponente [m/s ²]
	$\sum_o \vec{f}_{io}(t)$	Summe aller Interaktionen mit Objekten oder Hindernissen als «abstossende» Komponente [m/s ²]

Der Fluktuationsterm $\vec{\xi}_i(t)$ wird bei PTV VISWALK «noise» genannt. Je höher dieser Parameterwert ist, desto grösser ist die zufällige Kraft, die zu den systematisch berechneten Kräften addiert wird, wenn ein Fussgänger eine gewisse Zeit unterhalb seiner Wunschgeschwindigkeit bleibt.

Nach einer Ablenkung oder Abbremsung versucht ein Fussgänger wieder auf seine ursprüngliche Wunschgeschwindigkeit zu beschleunigen und seine ursprüngliche Route aufzunehmen. Dieses Verhalten kann durch die Antriebskraft $\vec{f}_i^0(t)$ beschrieben werden:

$$\vec{f}_i^0(t) = \frac{v_i^0 * \vec{e}_i(t) - \vec{v}_i(t)}{\tau_i} \quad (8.3)$$

wobei:

v_i^0	Wunschgeschwindigkeit in Zielrichtung [m/s]
$\vec{e}_i(t)$	Richtungsvektor, ergibt sich aus der momentanen Position und dem nächsten Zielpunkt [-]
τ_i	Relaxationszeit [s]

Bei PTV VISWALK ist τ die Relaxationszeit oder Trägheit, die zu einer Reaktionszeit in Beziehung gesetzt werden kann, da τ den Unterschied zwischen der Wunschgeschwindigkeit und Wunschrichtung mit der aktuellen Geschwindigkeit und Richtung zur Antriebskraft verknüpft.

Die Kraft der Interaktion zwischen den Fussgängern lässt sich wie folgt beschreiben. Die Abb. 8-2 auf der nächsten Seite zeigt die dabei beteiligten Komponenten auf.

$$\begin{aligned} \vec{f}_{ij}(t) &= w(\varphi_{ij}(t)) * \vec{g}(d_{ij}(t)) \\ \vec{d}_{ij}(t) &= \vec{r}_i(t) - \vec{r}_j(t) \\ d_{ij}(t) &= \|\vec{d}_{ij}(t)\| \end{aligned} \quad (8.4)$$

$$w(\varphi_{ij}(t)) = \lambda_i + (1 - \lambda_i) \frac{1 + \cos(\varphi_{ij}(t))}{2} \quad (8.5)$$

wobei:

$\vec{f}_{ij}(t)$	Interaktionskraft zwischen zwei Fussgängern [m/s ²]
w	Vorfaktor für alle sozialen und nicht-physischen Kräfte [-]
$\varphi_{ij}(t)$	Winkel zwischen dem Normalenvektor $\vec{n}_{ij}(t)$ und dem Richtungsvektor $\vec{e}_i(t)$ [rad]
$\vec{d}_{ij}(t)$	Distanzvektor zwischen zwei Fussgängern i und j [-]
$\vec{r}_i(t)$	Richtungsvektor des Fussgängers i [-]
$\vec{r}_j(t)$	Richtungsvektor des Fussgängers j [-]

Lambda λ bestimmt den Grad der Richtungsabhängigkeit der Kräfte aufgrund der Tatsache, dass Ereignisse und Phänomene im Rücken eines Fussgängers ihn (psychologisch und sozial) nicht in dem Ausmass betreffen, als würden sie vor ihm geschehen. Unter Verwendung von λ und des Winkels φ wird der Faktor w für alle sozialen und nicht-physischen Kräfte gemäss Formel 8.5 berechnet. Der Term $\vec{g}(d_{ij})$ wird auf der nachfolgenden Seite beschrieben.

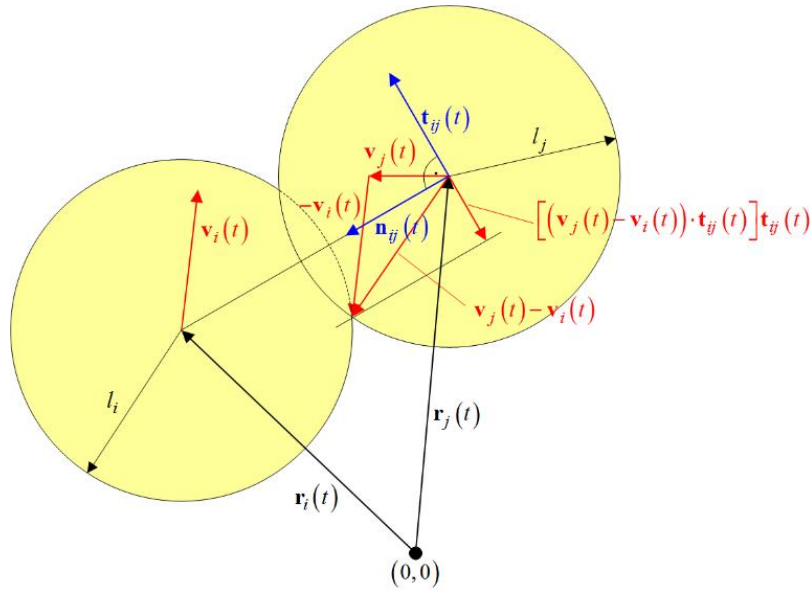


Abb. 8-2: Veranschaulichung der Beschleunigungskomponenten durch direkte Interaktion von Fussgängern [36, p. 38].

Die Parameter A_i und B_i werden in PTV VISWALK $ASocIso$ und $BSocIso$ genannt. Zusammen mit λ steuern diese beiden Parameter eine der beiden Kräfte, die zwischen Fussgängern wirken:

$$\vec{g}(d_{ij}) = \vec{f}_{ij}^{iso}(t) = A_i \exp\left[\frac{l_i + l_j - d_{ij}(t)}{B_i}\right] \vec{n}_{ij} \quad (8.6)$$

wobei:	$\vec{g}(d_{ij})$	Kraft die zwischen zwei Fussgängern i und j wirkt [m/s ²]
	A_i	Stärke der Wechselwirkung [m/s ²]
	B_i	Reichweite der Wechselwirkung [m]
	\vec{n}_{ij}	Normalenvektor der vom beeinflussenden zum beeinflussten Fussgänger zeigt [-]
	$l_i + l_j - d_{ij}(t)$	Entfernung zwischen den Fussgängern (Körperoberfläche bis Körperoberfläche) [m]

Das erweiterte Modell in PTV VISWALK sieht zudem eine zweite Kraft, die zwischen den Fussgängern wirkt, vor. Die Definition dieser Kraft hat dieselbe Form wie bereits in der Formel 8.6 ersichtlich ist. Die Parameter A_i und B_i werden in PTV VISWALK nun $ASocMean$ und $BSocMean$ genannt.

$$\vec{f}_{ij}^{mean}(t) = A_i \exp\left[\frac{-b}{B_i}\right] \vec{n}_{ij} \quad (8.7)$$

Der Zähler innerhalb der e-Funktion erhält dabei eine neue Form:

$$b = \left[(d_{ij}(t) + \|\vec{d}_{ij}(t) - (\vec{v}_j - \vec{v}_i)\Delta t\|)^2 - ((\vec{v}_j - \vec{v}_i)\Delta t)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8.8)$$

wobei:	Δt	Parameter VD in PTV VISWALK: Velocity dependence [s]
	b	Entfernung zwischen den Fussgängern (Körperoberfläche bis Körperoberfläche) [m]

Aus der zur Verfügung stehenden Literatur und dem Manual von PTV VISWALK ist nicht abschliessend klar, wie die beiden Kräfte der Formeln 8.6 und 8.7 miteinander verknüpft sind. Eine denkbare Form könnte folgendermassen aussehen:

$$\vec{f}_{ij}(t) = \vec{f}_i^0 + \sum_{j \neq i} (\vec{f}_{ij}^{iso}(t) + \vec{f}_{ij}^{mean}(t)) \quad (8.9)$$

Weitere Parameter, die in PTV VISWALK zur Verfügung stehen:

ReactToN: Bei der Berechnung der Gesamtkraft für einen Fussgänger werden nur die Einflüsse der N am nächsten befindlichen Fussgänger berücksichtigt.

Side preference: Dieser Parameter definiert, ob und wie entgegenkommende Fussgängerströme ausweichen, um aneinander vorbei gehen zu können:

-1: für die Bevorzugung der rechten Seite

1: für die Bevorzugung der linken Seite

0: Verhalten wie bisher: Die Fussgängerströme weichen einander nicht aus.

8.2 Verifikation des Modells

Als Ergebnis der Simulationen soll ein direkter Vergleich zwischen einem FLIRT und einem ISB gemäss Kapitel 7 erfolgen. Bevor die ersten Simulationsläufe stattfinden können, müssen die Modelparameter von PTV VISWALK kontrolliert und gegebenenfalls angepasst werden. Die nachfolgenden Unterkapitel beschreiben das Verifikationsverfahren anhand realer Beobachtungen an einem FLIRT.

8.2.1 Kennzahlen aus den Beobachtungen beim FLIRT

Zu Beginn des vorliegenden Berichtes fanden eigene Beobachtungen im laufenden Betrieb der SBB AG statt (vgl. Kapitel 6.5). Hierbei interessiert für den weiteren Verlauf der Simulationen vor allem der FLIRT, da dieses Layout zum heutigen Zeitpunkt gemäss SBB AG für ein ISB-Fahrzeug in Frage kommt. Ausserdem ist dieses Fahrzeug als einziger einstöckiger Rollmaterialtyp im öffentlichen Nahverkehr der SBB AG zum direkten Vergleich heranziehbar. Aus den insgesamt 105 beobachteten Fahrgastwechseln ergaben sich im Mittel folgende Kennwerte:

Statistik	F [P]	Einsteiger	Aussteiger	$t_{h,f}$ [s]	L [P/s]	L_s [P/sm]
Mittelwert	15	6	10	16,60	0,92	0,65
Median	12	5	8	15,53	0,93	0,66

Tabelle 8-1: Mittelwerte und Median aus den Beobachtungen beim FLIRT und die daraus abgeleiteten Kennwerte L und L_s .

Im Auftrag der SBB AG entwickelte die ETH Zürich ein Haltezeitmodell für Regionalverkehrsfahrzeuge, welches zur Berechnung der benötigten Zeit eines Haltvorganges mit unterschiedlichen Fahrzeug- und Bahnsteigkonfigurationen einsetzbar ist. Mit Hilfe dieses Tools sollen die Planer von Infrastrukturanlagen und Rollmaterialbeschaffungen ein Modell erhalten welches erlaubt, Fahrgastwechsel- und Haltezeiten für bestehende und geplante Haltestellen, für vorhandene und neu zu beschaffende Fahrzeugtypen sowie aktuelle und prognostizierte Nachfragewerte zu berechnen. Um dieses Modell zu erstellen, konnte sich die ETH Zürich auf das bereits installierte AFZ-System (Automatisches Fahrgastzählsystem) zur Datenerhebung abstützen. Während eines Haltes werden mit Hilfe dieses Systems mit über den Fahrzeugtüren installierten Ketten von richtungssensitiven Infrarotsensoren die Anzahl Ein- und Aussteiger getrennt erfasst. Im speziellen Fall des FLIRT standen am Ende der Datenerhebung über 1 Million Datensätze zur Verfügung. Ein Datensatz entspricht dabei dem Fahrgastwechsellvorgang an einer Türe eines Zuges während eines Haltes. Die Datenerhebung fand zwischen dem 01.03 und 31.10.2007 statt [38]. Die Abb. 8-3 zeigt die Resultate der FLIRT-Datensätze in Form einer Kurve für den Mittelwert der Personenflüsse in Abhängigkeit der am Fahrgastwechsel beteiligten Personen. Die eingefärbten Kurven zeigen den unterschiedlichen Belegungsgrad nach Abschluss des Fahrgastwechsels auf. Der mittlere Personenfluss entspricht gleichzeitig der Zeit L .

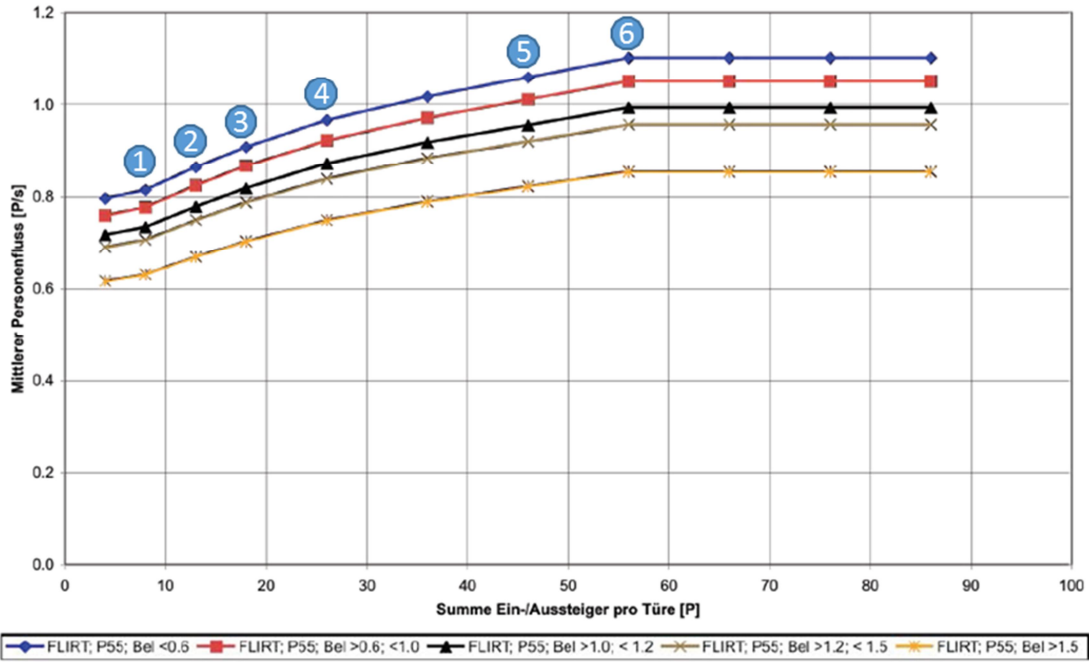


Abb. 8-3: Personenfluss (Mittelwert) an den Türquerschnitten des FLIRT, in Abhängigkeit der Ein-/ Aussteigerzahl, Bahnsteighöhe P55 [38, p. 20].

Aus den eigenen Beobachtungen gemäss Kapitel 6.5 lässt sich die folgende Kurve abbilden:

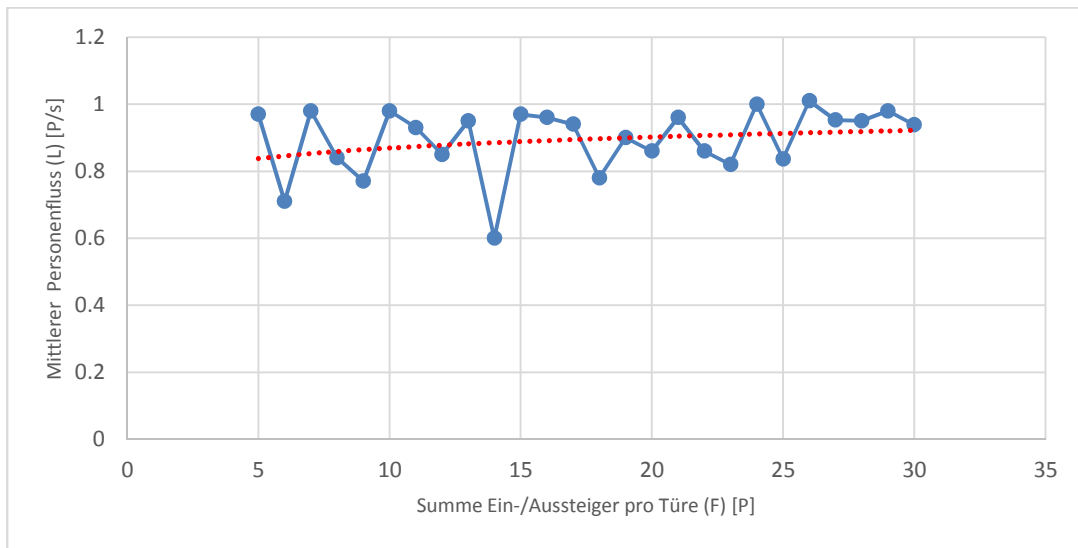


Abb. 8-4: Personenfluss (Mittelwert) an den Türquerschnitten des FLIRT, in Abhängigkeit der Ein-/ Aussteigerzahl, Beobachtungen März 2014.

Aufgrund der Tatsache, dass bei den eigenen Beobachtungen mittels Videodaten des Türquerschnitts die Belegungsgrade im Fahrzeug vor und nach dem Fahrgastwechsel nicht bekannt waren, lässt sich die Streuung der Werte in Abb. 8-4 erklären. Die rote Trendlinie zeigt jedoch, dass sich die Beobachtungen im selben Band wie die blaue Kurve in der Abb. 8-3 befinden.

Durch Umstellen der Formel 4.4 für die Türleistungsfähigkeit kann aus der Abb. 8-3 die dazugehörige mittlere Fahrgastwechselzeit berechnet werden.

$$L = \frac{1}{t_{h,fm}} = \frac{F}{t_{h,f}} \Rightarrow t_{h,f} = \frac{F}{L}$$

Für die markierten Fahrgastwechselzahlen 1 bis 6 in Abb. 8-3 ergeben sich für die blaue Kurve somit folgende Zeiten:

Index	F [P]	L [P/s]	$t_{h,f}$ [s]
1	8	0,82	9,7
2	13	0,87	14,9
3	18	0,92	19,5
4	26	0,97	26,8
5	46	1,05	43,8
6	56	1,10	50,9

Tabelle 8-2: Abgeleitete Fahrgastwechselzeiten $t_{h,f}$ aus der Personenflusskurve des FLIRT, blaue Kurve (Belegungsgrad < 60 %).

Aus den Tabelle 8-1 und Tabelle 8-2 sowie den Abb. 8-3 und Abb. 8-4 lässt sich eine grobe Näherung des Personenflusses von einer (1) Person pro Sekunde am Türquerschnitt des FLIRT ableiten. Diese Näherung wird im weiteren Verlauf der Verifikation und Validierung als wichtige Approximation dienen.

8.2.2 Vorbereitung des Verifikationsmodells

Als Vorbereitung zur Simulation und dem Vergleich mit der ISB Variante 2 musste das Wagenlayout eines FLIRT zuerst aufbereitet werden. Hierzu wurde dieses in MS VISIO massstäblich nachgezeichnet und anschliessend als AutoCAD-Datei abgespeichert. Diese AutoCAD-Datei ist bereit für den Import in PTV VISWALK und steht dort zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung.

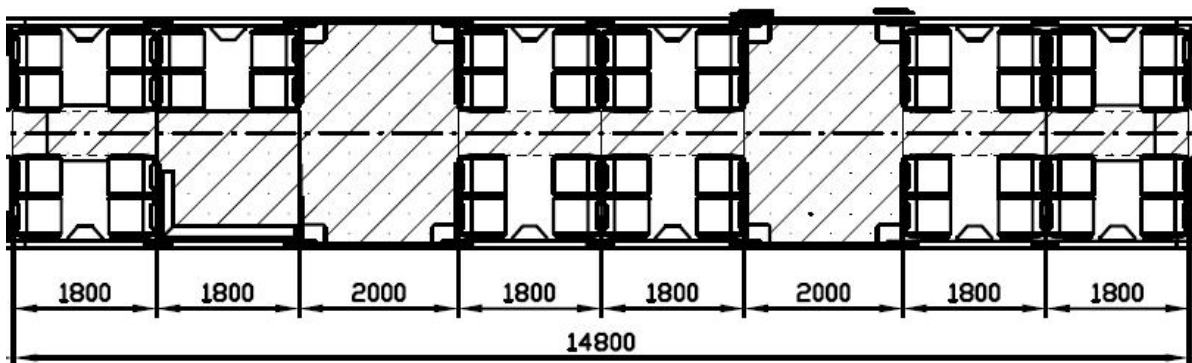


Abb. 8-5: Layout eines Zwischenwagens eines vierteiligen FLIRT [39].

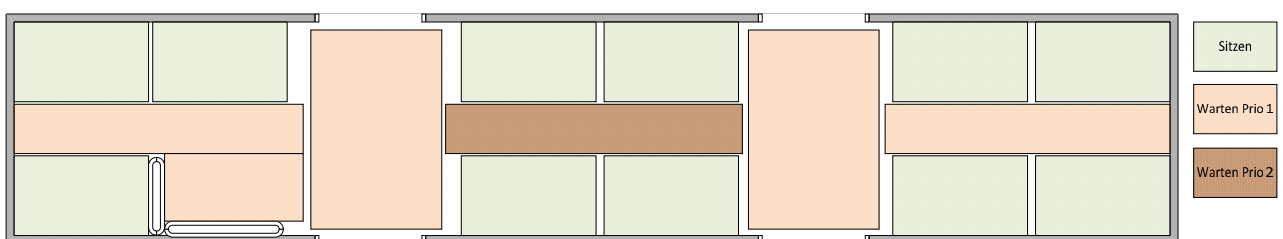


Abb. 8-6: AutoCAD-Datei, aufbereitetes Layout des FLIRT für die Simulation.

Mit Hilfe der Annäherung von einer (1) P/s am Türquerschnitt des FLIRT-Fahrzeuges können das Modell und die Modellparameter in zwei Varianten verifiziert werden. Das erste Modell ist so aufgebaut sein, dass es den Mittelwert der eigenen Beobachtungen gemäss Tabelle 8-1 abbildet. Das bedeutet, 10 Aussteiger und 6 Einsteiger werden simuliert. Die mittlere Fahrgastwechselzeit soll dabei etwa 16 Sekunden betragen. Ein zweites Modell bildet einen zufällig ausgewählten Fahrgastwechsel aus den insgesamt 105 Beobachtungen ab. Die Wahl fiel auf Beobachtung Nr. 54. Dieser Fahrgastwechsel hatte 19 Aussteiger, 11 Einsteiger und dauerte rund 32 Sekunden.

Die Abb. 8-7 und Abb. 8-8 zeigen den geplanten zeitlichen Ablauf der zwei Simulationen. Die Verifikation beinhaltet die Betrachtung von jeweils nur einem Türquerschnitt. Um in einem ersten Schritt das Modell und die Modellparameter zu verstehen wurde diese dahingehend vereinfacht, dass es keine Restriktionen im Vor- bzw. Nachlauf zum Türquerschnitt gibt. Das heisst, die simulierten Personen verschwinden auf den Zielflächen im Fahrzeug oder auf dem Bahnsteig und stellen keine weiteren Behinderungen für die anderen Personen dar. Weiter soll der Fahrgastwechsel für kurze Zeit gleichzeitig stattfinden. Das entspricht den realen Beobachtungen aus der Praxis.

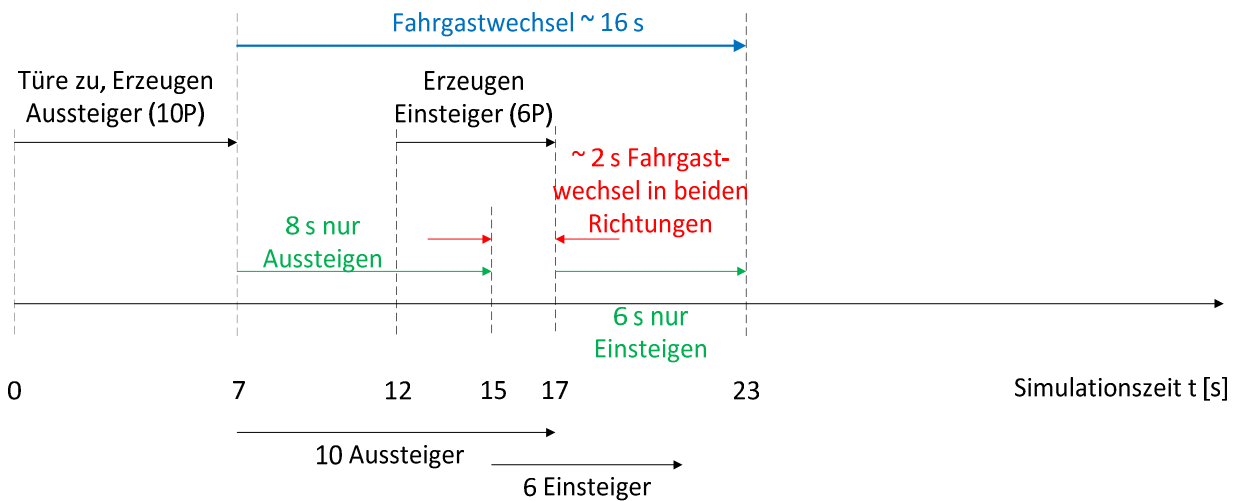


Abb. 8-7: Zeitliche Abstufung der Prozesse im PTV VISWALK des ersten Verifikationsmodells des FLIRT (Fahrgastzahl 16 Personen).

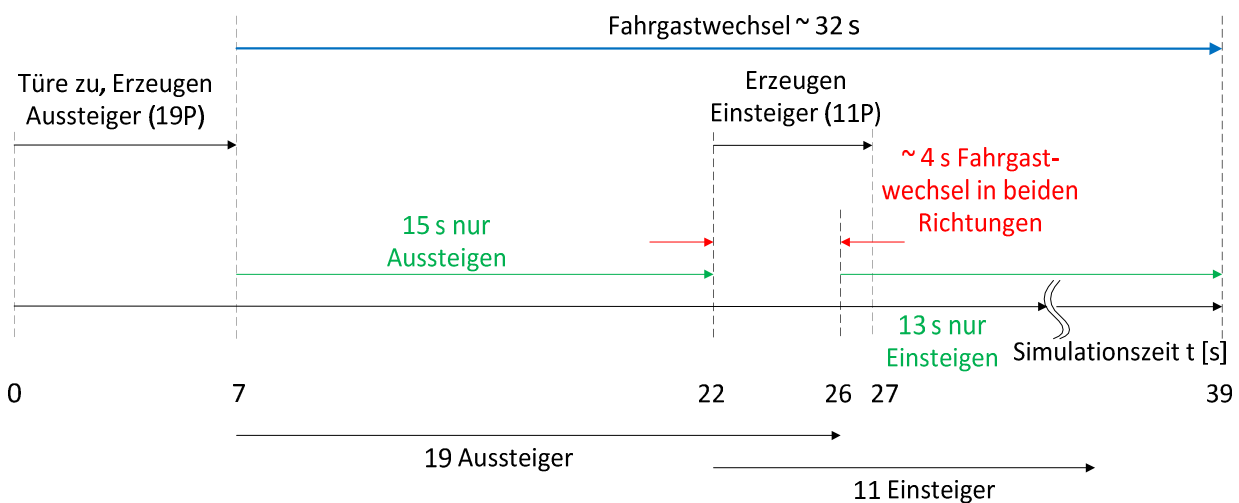


Abb. 8-8: Zeitliche Abstufung der Prozesse im PTV VISWALK des zweiten Verifikationsmodells des FLIRT (Fahrgastzahl 30 Personen).

Anhand der nachfolgenden Abbildung werden die Einstellungen im PTV VISWALK detaillierter erläutert.

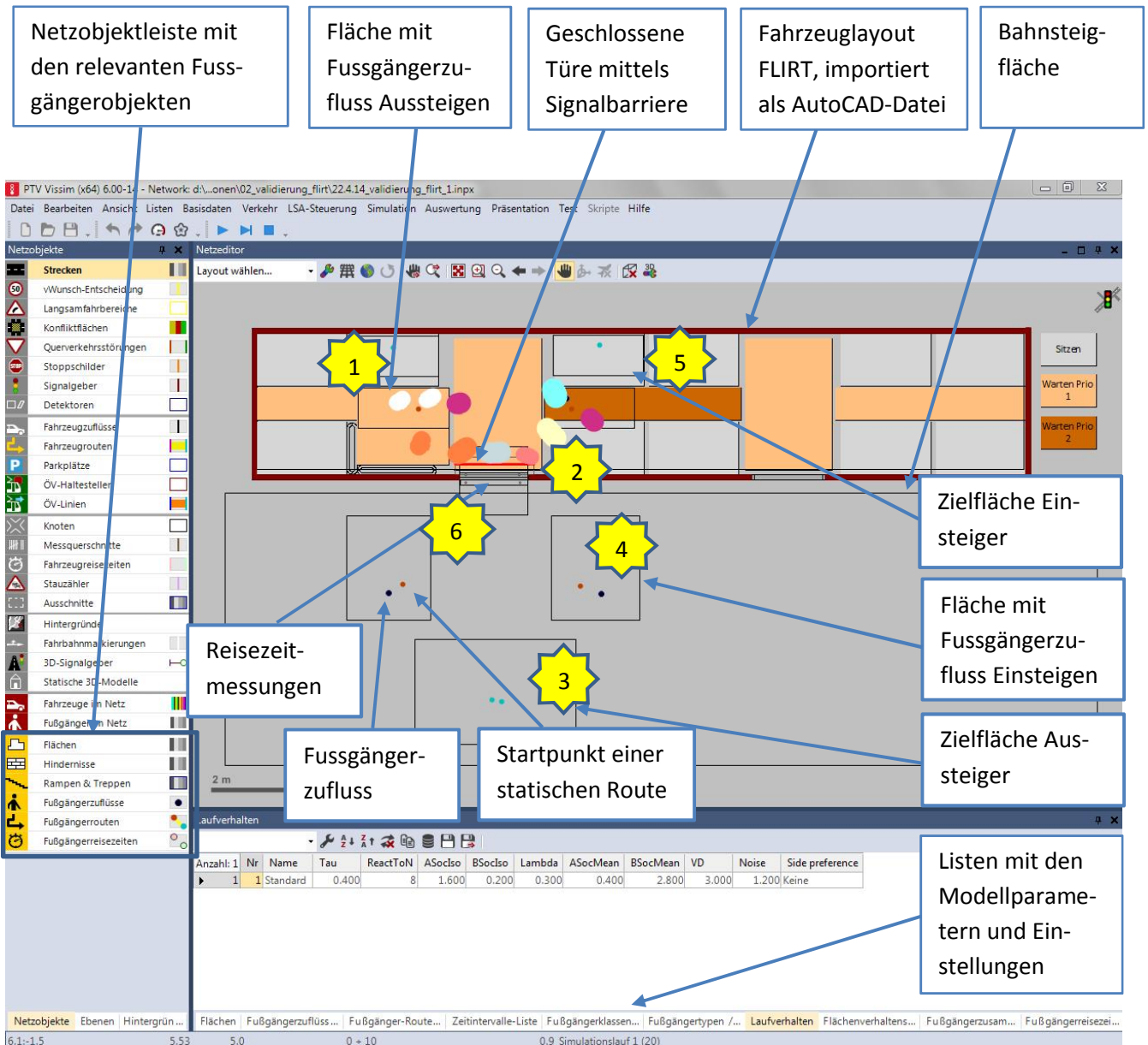


Abb. 8-9: Benutzeroberfläche von PTV VISWALK, erklärt anhand des ersten Verifikationsmodells des FLIRT.

Der Ablauf der Simulation in Bezug auf die Abb. 8-7 verläuft dabei folgendermassen:

1. Von Simulationssekunde 1-7 wird die genaue Anzahl Aussteiger erzeugt (10 Personen).
2. Bei Simulationssekunde 7 öffnet die Signalbarriere (Türe). Somit soll das Versammeln der Personen vor Stillstand an einer Türe nachgebildet werden.
3. Die Aussteiger begeben sich gemäss vorgegebener Route zur Zielfläche auf dem Bahnsteig.
4. Während Simulationssekunde 12-17 wird die genaue Anzahl Einsteiger erzeugt (6 Personen).
5. Die Einsteiger begeben sich gemäss vorgegebener Route zur Zielfläche im Fahrzeug. Dabei werden sie sich etwa 2 Sekunden lang mit aussteigenden Personen kreuzen.
6. Am Türquerschnitt wird die Reisezeit jeder simulierten Person gemessen. Somit stehen in einer Rohdatendatei der erste und letzte Zeitstempel des Betretens des Türquerschnitts zur Verfügung. Die Differenz bildet die Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$.

Das Platzieren der Flächen, auf welchen die simulierten Personen erzeugt werden, ist mitunter entscheidend, zu welchem Zeitpunkt der Türquerschnitt von den Personen erreichbar ist. Die Personen werden nicht direkt bei dem blauen Punkt «Fussgängerzufluss» erzeugt, jedoch in unmittelbarer Nähe und auf der Fläche, auf der dieser Punkt liegt. Die Grösse dieser Fläche und der Abstand zur Türe wurden in mehreren Vorversuchen ermittelt. Dadurch war es möglich, den geplanten zeitlichen Ablauf gemäss Abb. 8-7, resp. Abb. 8-8 einzuhalten. Als weitere Einstellungen/ Annahmen wurden nachfolgende Konfigurationen der Modellparameter vorgenommen.

Die Fussgängertypen bestehen nur Frauen und Männer, keine Kinder oder körperlich behinderte Personen wie Rollstuhlfahrer, ebenso keine Personen mit Kinderwagen oder Fahrräder. Es gibt nur eine Fussgängerkategorie «Leute». Die Fussgängertypen besitzen gewisse Längen-, Breiten- und Höhenvarianzen, was eine gute Durchmischung bezüglich den Abmessungen der Personen darstellt:

Anzahl:	Nr	Name	FgTypen	FgTypFarbVerw	Farbe
1	1	Leute	100,200	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0, 0)

Anzahl:	Nr	Name	2D3DModVert	LngVar	BrVar	HöhVar	LaufVerh
1	100	Mann	100: Mann	0.100	0.100	0.150	1: Standard
2	200	Frau	200: Frau	0.100	0.100	0.150	1: Standard

Abb. 8-10: Gewählte Modellparameter zur Verifikation (Fussgängerkategorie/ Fussgängertypen).

Die Fussgänger setzen sich zu gleichen Teilen aus Frauen und Männern zusammen. Diese bilden eine Gehgeschwindigkeit von 30-50-jährigen Menschen ab:

Anzahl:	Nr	Name
1	1	Fußgänger

Anzahl:	FgTyp	vWuVert	RelBel
1	100: Mann	1001: IMO-M 30-50	1.000
2	200: Frau	1002: IMO-F 30-50	1.000

Abb. 8-11: Gewählte Modellparameter zur Verifikation (Fussgängerzusammensetzung/ Relative Belastung).

Die Verteilung der Wunschgeschwindigkeit ist für diese Fussgänger der Abb. 8-12 zu entnehmen:

Anzahl:	Nr	Name	Untergrenze	Obergrenze
18	1001	IMO-M 30-50	3.49	5.83
19	1002	IMO-F 30-50	2.56	4.28

Abb. 8-12: Verteilung der Wunschgeschwindigkeit für 30- bis 50-jährige Frauen und Männer.

Aus den Beobachtungen der Simulation stellte sich heraus, dass sich das Laufverhalten beim Fahrgastwechsel mit den Standardwerten sehr gut nachbilden lässt. Deshalb mussten für das Verifikationsmodell keine Anpassungen am Laufverhalten des Social Force-Modells vorgenommen werden:

Anzahl:	Nr	Name	Tau	ReactToN	ASocIso	BSocIso	Lambda	ASocMean	BSocMean	VD	Noise	Side preference
1	1	Standard	0.400	8	1.600	0.200	0.300	0.400	2.800	3.000	1.200	Keine

Abb. 8-13: Gewählte Modellparameter des Laufverhalten zur Verifikation (Default).

8.2.3 Resultate der Verifikation

Mit den beiden Verifikationsmodellen wurden jeweils 20 Simulationsläufe mit unterschiedlichen Startzufallszahlen zur stochastischen Sicherung des Ergebnisses durchgeführt. Die Fahrgastwechselzeiten waren dabei im Mittel um 3 Sekunden bei einer Fahrgastzahl von 16 Personen und etwa 8.5 Sekunden bei einer Fahrgastzahl von 30 Personen zu schnell gegenüber der Annäherung von einer (1) Person pro Sekunde. Die untenstehenden Boxplots zeigen die Streuung aus 20 Simulationen.

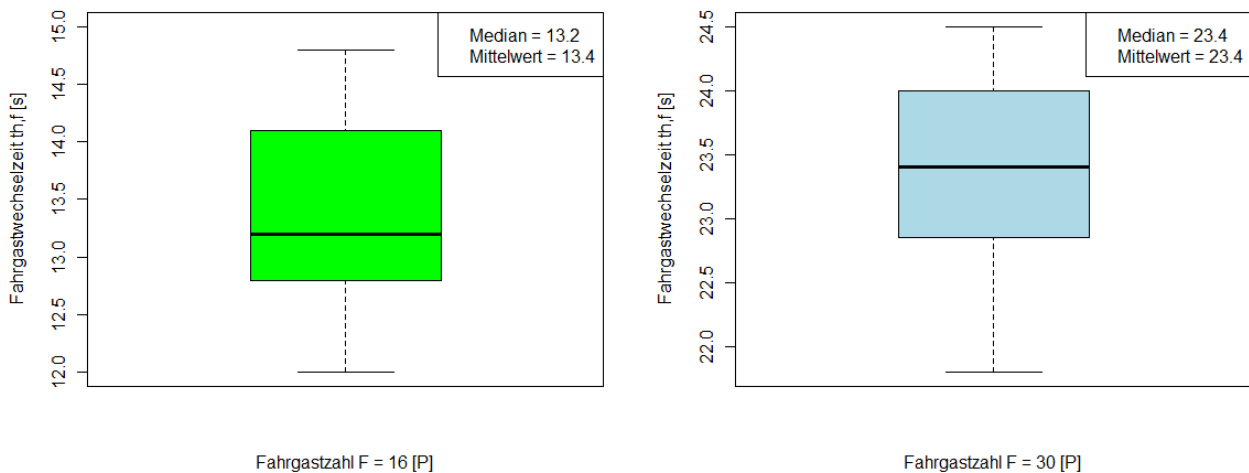


Abb. 8-14: Boxplots aus 20 Simulationsläufen der zwei Validierungsmodelle FLIRT, bei einer Fahrgastzahl von 16 und 30 Personen.

Die Differenz lässt sich zum einen dadurch erklären, dass bei beiden Simulationen für wenige Sekunden das Ein- bzw. Aussteigen gleichzeitig stattfand. Zum anderen entstanden beim Fahrgastwechsel keinerlei Behinderungen auf dem Bahnsteig oder im Fahrzeuginneren. Um ein noch besseres und realitätsgetreueres Modell zu erhalten, muss das Verifikationsmodell weiter angepasst werden. Folgende Erweiterungen kommen dabei zum Tragen:

- Einfügen weiterer Hindernisse im Fahrzeuginneren, welche die Sitzbänke, bzw. die Rückenlehnen darstellen.
- Die Personen verschwinden im Fahrzeuginneren nicht auf den Zielflächen, sondern verweilen über eine entsprechende Zeitverteilung auf diesen Flächen am Zielpunkt. Somit können sie grundsätzlich auch einen Rückstau verursachen, bis sich jeweils vier Personen in einer Vierersitzgruppe eingefunden haben.
- Kurz nach dem Betreten des Fahrzeuges wird eine weitere Fläche mit einem Warteverhalten von einer (1) Sekunde eingefügt. Damit soll ein zu schnelles Abfliessen der Personen verhindert werden. Diese Sekunde entspricht in der Realität der Entscheidung, wo genau man sich im Fahrzeug hinsetzen oder hinstellen möchte.
- Über eine weitere Fläche auf dem Bahnsteig vor der Türe wird ein verändertes Laufverhalten simuliert. Dieses Laufverhalten gilt nur solange, wie sich die Personen auf dieser Fläche befinden. Der Grund hierfür ist, dass sich einige Personen bei grösseren Fahrgastwechselzahlen zu weit nach aussen, weg von der Türe drängen liessen.

Die Abb. 8-15 zeigt diesen erweiterten Aufbau. Die angepassten Parameter sind anschliessend erklärt.

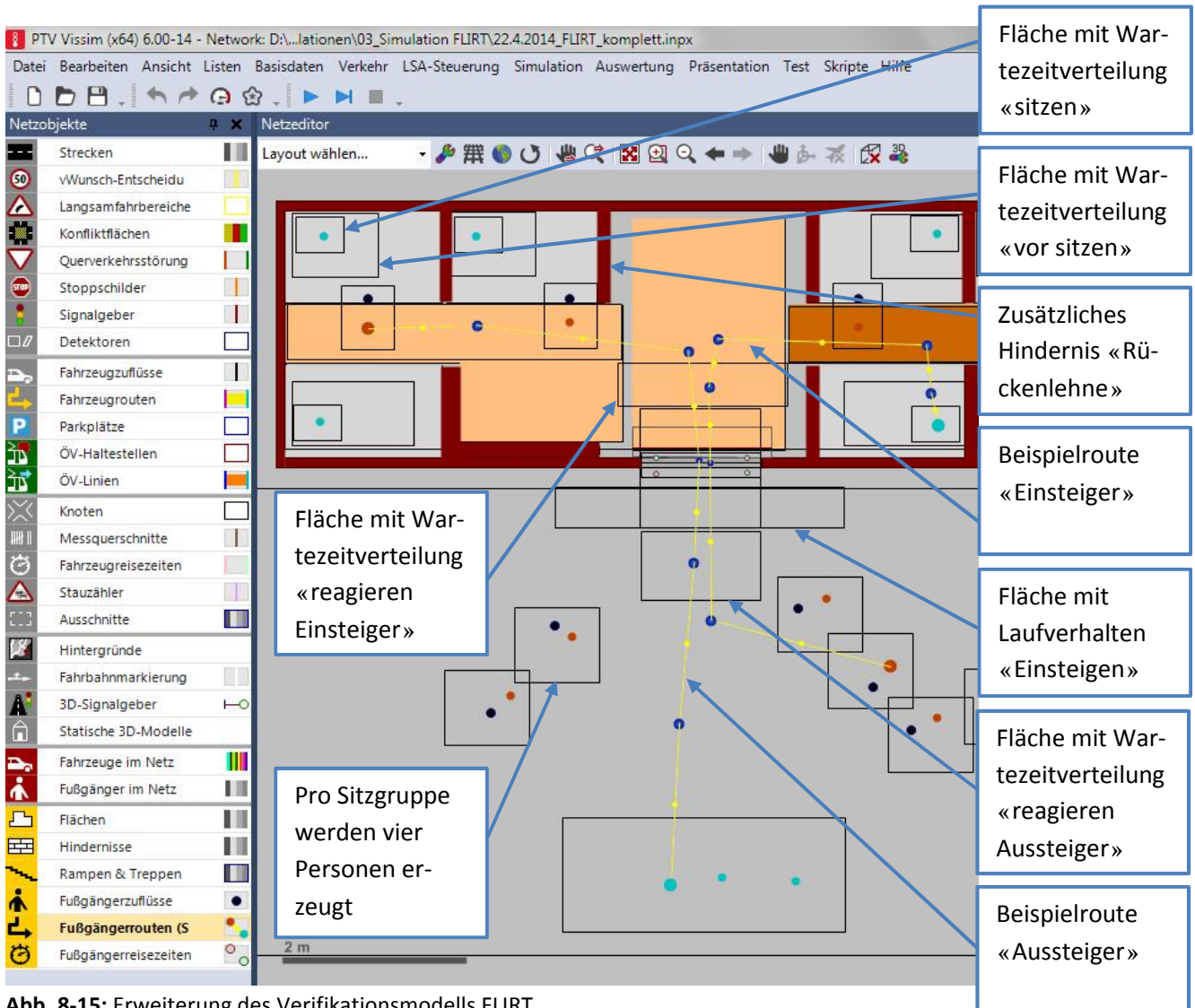


Abb. 8-15: Erweiterung des Verifikationsmodells FLIRT.

Um das Laufverhalten an der Türe vor dem Einsteigen realistischer zu gestalten mussten die Kräfte, welche auf die Personen wirken in diesem Bereich leicht herabgesetzt werden. Somit sollen die Personen weniger abstossend und unempfindlicher auf andere Personen reagieren, denn bis anhin liessen sich einige Personen in Türnähe zu weit wegdrängen. Das gewünschte Verhalten konnte durch Anpassen der Parameter *ASocIso*, *BSocIso* und *Lambda* erreicht werden (vgl Formel 8.6).

Laufverhalten

Anzahl:	Nr	Name	Tau	ReactToN	ASocIso	BSocIso	Lambda	ASocMean	BSocMean	VD	Noise	Side preference
2	1	Standard	0.400	8	1.600	0.200	0.300	0.400	2.800	3.000	1.200	Keine
	2	Einsteigen	0.400	8	1.300	0.150	1.500	0.400	2.800	3.000	1.200	Keine

Abb. 8-16: Angepasste Parameter am Laufverhalten vor dem Einsteigen, Verifikationsmodell FLIRT.

Die Abb. 8-17 zeigt die verschiedenen Zeitverteilungen, die im erweiterten Validierungsmodell eingestellt sind. Da die Standardabweichung auf null gesetzt ist, bilden die Mittelwerte den genauen Wert der gewünschten Zeit ab. Der Mittelwert bei «sitzen» ist bewusst länger als die Simulationszeit gewählt, damit sich die Personen sicher bis zum Simulationsende auf diesen Flächen befinden.

Die Zeitverteilung «reagieren Aussteiger» ist kürzer als «reagieren Einsteiger». In der Realität ist den aussteigenden Personen eher bewusst, wohin sie sich nach Verlassen des Fahrzeuges begeben. Bei den Einsteigern hängt dies noch stark von der Situation im Fahrzeuginneren ab.

Anzahl:	Nr	Name	Typ	Untergrenze	Obergrenze	StdAbw	Mittelwert
1	1	vor sitzen	Normal	0.00	1.50	0.00	1.50
2	2	sitzen	Normal	0.00	2000.00	0.00	2000.00
3	3	reagieren Aussteiger	Normal	0.00	0.75	0.00	0.75
4	4	reagieren Einsteiger	Normal	0.00	1.00	0.00	1.00

Abb. 8-17: Zeitverteilungen der verschiedenen Flächen, Verifikationsmodell FLIRT.

Nach Anpassen des Modells, wie oben beschrieben, findet eine letzte Simulation des Fahrgastwechselprozesses zur Validierung der Modellparameter statt. Da es sich bei jedem Fahrgastwechsel um reine Zufallsgrößen handelt, ist dieses Mal ein Fahrgastwechsel mit 9 Aussteiger und 20 Einsteiger vorgesehen. Die Abb. 8-18 zeigt den geplanten zeitlichen Ablauf der Simulation.

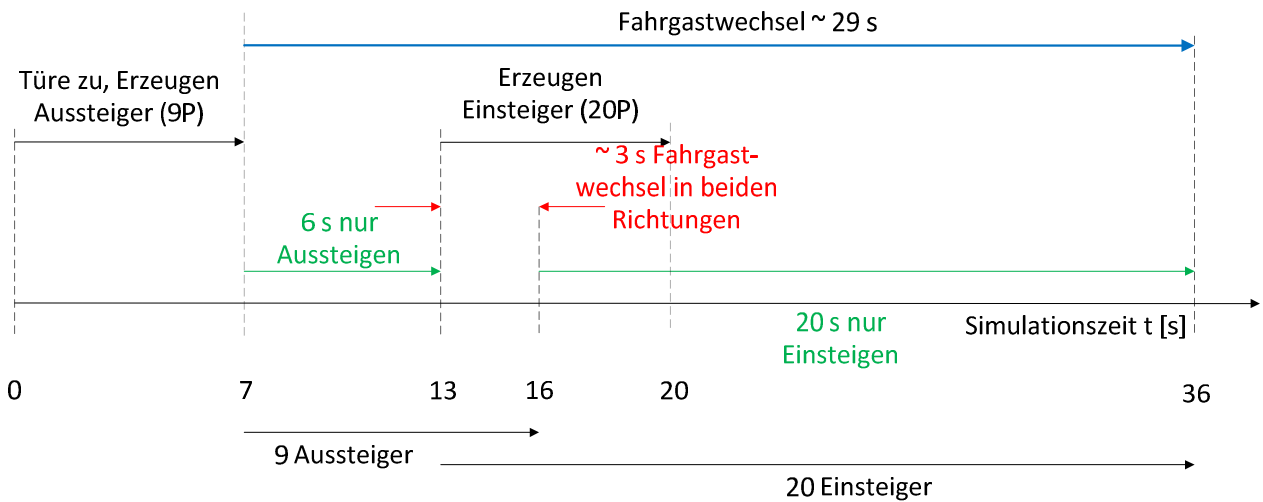
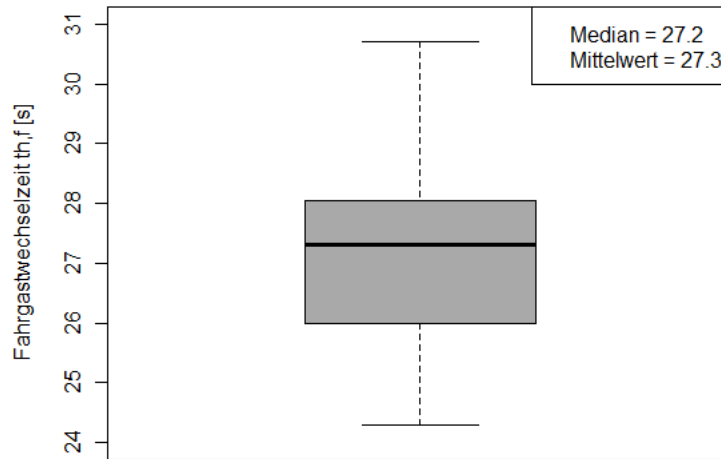


Abb. 8-18: Zeitliche Abstufung der Prozesse im PTV VISWALK des finalen Verifikationsmodells des FLIRT (Fahrgastzahl 29 Personen).

Das Ergebnis ergab eine Streuung der Fahrgastwechselzeit gemäss Abb. 8-19. Es wurden wiederum 20 Simulationsläufe mit unterschiedlichen Startzufallszahlen durchgeführt. Zu beachten ist, dass bei dieser Simulation während etwa 3 Sekunden ein gleichzeitiger Fahrgastwechsel stattfand. Der Mittelwert dieser Simulationsläufe liegt bei 27.3 Sekunden. Unter Einbezug der erwähnten 3 Sekunden ist die Näherung von einer (1) Person pro Sekunde am Türquerschnitt eines FLIRT erfüllt.



Fahrgastzahl F = 29 [P]

Abb. 8-19: Boxplot aus 20 Simulationsläufen des erweiterten Verifikationsmodells FLIRT bei einer Fahrgastzahl von 20 Personen.

8.3 Validierung des Modells

Die Abb. 8-20 zeigt abschliessend den Vergleich zwischen den Daten aus [38], den eigenen Beobachtungen und weiteren 11 Simulationen mit Fahrgastzahlen von F=10 bis F=60 in einer Schrittweite von 5 Personen. Die Tabelle 8-3 zeigt die jeweilige Versuchsanordnung dieser 11 Simulationen. Der simulierte Wagen des FLIRT besitzt insgesamt 44 Sitzplätze und 42 Stehplätze (Mittelgang als Stehplatzzone nicht mitgerechnet). Das bedeutet 43 Personen pro Wagenhälfte. In allen Simulationen wird nur eine Türe betrachtet und der Wagen nur bis zur Hälfte gefüllt, bei welcher sich diese Türe befindet. Der Besetzungsgrad war also nach dem Fahrgastwechsel mit max. 25 Personen immer <60 % (blaue Kurve in Abb. 8-3).

Fahrgastzahl F [P]	Anzahl Einsteiger [P]	Anzahl Aussteiger [P]
10	5	5
15	10	5
20	10	10
25	15	10
30	15	15
35	20	15
40	20	20
45	25	20
50	25	25
55	25	30
60	25	35

Tabelle 8-3: Versuchsanordnung der Simulationen mit Fahrgastzahlen von F=10 bis F=60.

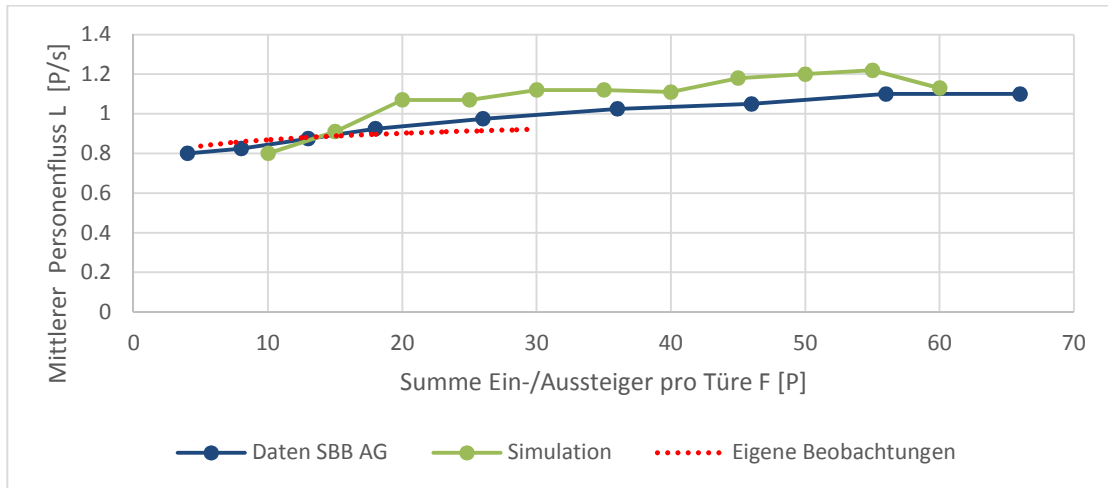


Abb. 8-20: Vergleich Reale Daten und Simulation aus der Validierung (Mittelwerte).

Die Kurven zeigen, dass die Simulationsergebnisse anfänglich etwas zu tief, jedoch ab ca. 15 Personen um $\Delta = 0.1$ zu hoch sind. Die eigenen Beobachtungen hingegen decken sich sehr gut mit der grösseren Datenbasis der SBB AG. Die Abweichungen der Simulationen lassen sich mit dem vereinfachten und weitestgehend optimierten Fahrgastwechsel begründen. Bei den eigenen Beobachtungen fiel z.B. auf, dass es nach einem augenscheinlich abgeschlossenem Fahrgastwechsel immer wieder Personen gab, die kurz vor Türschliessung noch ankamen und das Fahrzeug im letzten Moment betraten. Diese Personen wurden bei den Daten der SBB AG sowie bei den eigenen Beobachtungen mit berücksichtigt. Zwischen diesen Personen und den vorletzten Ein-/ Aussteigern können mehrere Sekunden liegen und die somit stark erhöhte Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ bewirkt gemäss Formel 4.4 eine tiefere Türleistungsfähigkeit L . Da die Simulation solche «Nachzügler» oder auch Fahrräder und Kinderwagen nicht abbildet, kann die simulierte Kurve mit einem Vorfaktor von 0.9 korrigiert werden. Das heisst, alle Simulationen sind im Schnitt gegenüber der Realität um 10% zu schnell, da die Personen ungehindert ein- bzw. aussteigen können. Die korrigierte Kurve passt sich danach ab 20 Ein-/ Aussteiger ideal an die realen Daten an. Für alle weiteren Simulationen wird dieser Vorfaktor berücksichtigt, da die idealisierten Voraussetzungen für beide Fahrzeugtypen gleichermassen gelten. Somit bleibt die Vergleichbarkeit erhalten und es wird eine realistische Aussage möglich.

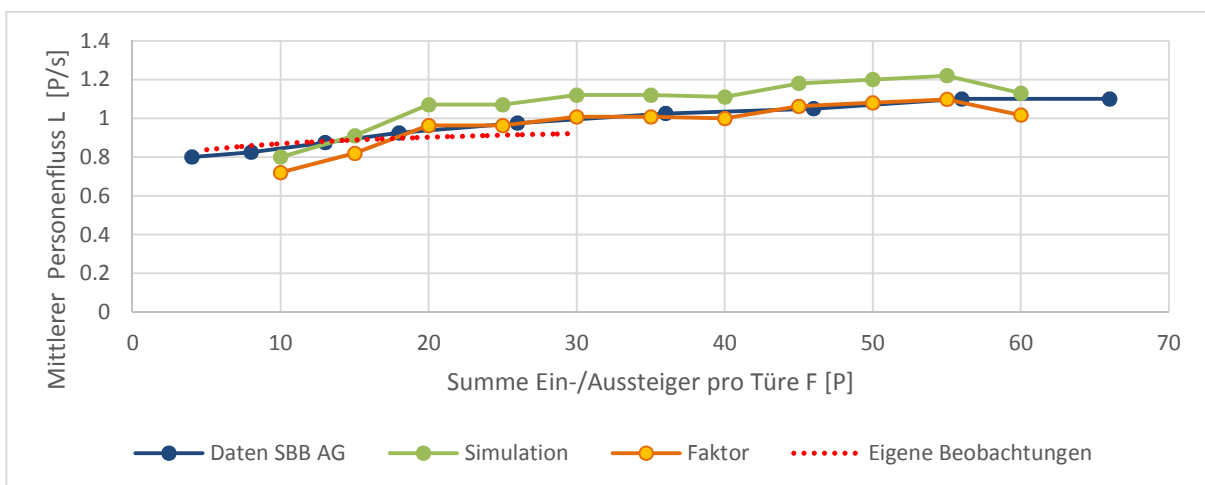


Abb. 8-21: Vergleich reale Daten und Simulation aus der Validierung (Mittelwerte) korrigiert durch einen Vorfaktor.

8.4 Vergleichssimulationen FLIRT-/ ISB-Wagen

Anhand des Simulationsplan gemäss Tabelle 8-4 wird Performance der beiden Wagen des FLIRT und der ISB einander gegenübergestellt. Der FLIRT kann laut technischem Datenblatt [39] unter der Annahme von 3 P/m² Stehfläche maximal 100 Personen aufnehmen. Ein Wagen der ISB kann unter denselben Annahmen insgesamt 113 Personen fassen. Damit die Vergleichbarkeit erhalten bleibt, wird bei den Maximalszenarios mit 100 Personen pro Wagen simuliert. Die interessierenden Grössen dieser Simulationen sind die jeweiligen Gesamtfahrgastwechselzeit $t_{h,f}$, die Türleistungsfähigkeit L und die spezifische Türleistungsfähigkeit L_S des Wagens. Das Ziel dieser Simulationsreihe ist es, eine quantitative Aussage über die Performance der beiden Wagentypen zu gewinnen.

Index	Szenario	Anzahl Einsteiger [P]	Anzahl Aussteiger [P]	Fahrgastzahl [P]	Besetzungsgrad in % (vorher/nachher)
1	Maximale Einsteiger 100%	100	0	100	0 / 100
2	Maximale Aussteiger 100%	0	100	100	100 / 0
3	Max. Fahrgastwechsel	100	100	200	100 / 100
4	Lastrichtung HVZ 1 (morgens)	30	100	130	100 / 30
5	Lastrichtung HVZ 2 (morgens)	40	80	120	80 / 40
6	Lastrichtung HVZ 1 (abends)	100	30	130	30 / 100
7	Lastrichtung HVZ 2 (abends)	80	40	120	40 / 80
8	Einsteigen 90%	90	0	90	0 / 90
9	Einsteigen 80%	80	0	80	0 / 80
10	Einsteigen 70%	70	0	70	0 / 70
11	Aussteigen 80%	0	80	80	80 / 0
12	Fahrgastwechsel Ein-/ Ausst.	80	80	160	80 / 80
13	Fahrgastwechsel Ein-/ Ausst.	70	70	140	70 / 70
14	Fahrgastwechsel Ein-/ Ausst.	60	60	120	60 / 60
15	Fahrgastwechsel Ein-/ Ausst.	50	50	100	50 / 50
16	Fahrgastwechsel Ein-/ Ausst.	40	40	80	40 / 40
17	Fahrgastwechsel Ein-/ Ausst.	30	30	60	30 / 30
18	Fahrgastwechsel Ein-/ Ausst.	20	20	40	20 / 20

Tabelle 8-4: Simulationsplan zum Performancevergleich FLIRT und ISB (Wagen).

Durch die Szenarien 1 bis 3 sollen die Maximalvarianten der möglichen Fahrgastwechsel bei den zwei Fahrzeugtypen aufgezeigt werden. Die Szenarien 4 bis 7 bilden mögliche Fahrgastwechsel in Lastrichtungen zu den HVZ ab. Mit den Szenarien 8 bis 11 wird versucht herauszufinden, ab welcher Fahrgastzahl die Kennzahlen der beiden Fahrzeuge divergieren. Die Szenarien 12 bis 18 zeigen anhand verschiedener denkbaren Fahrgastwechselszenarien den Unterschied der beiden Fahrzeugtypen auf. Aufgrund der idealisierten Betrachtungsweise ist der Aufbau aller Simulationen jeweils so, dass beim Einsteigen immer zuerst die zur Verfügung stehenden Sitzplätze und anschliessend die Stehplatzflächen belegt werden. Bei den Stehplatzflächen selbst werden, wie in der Abb. 8-6 ersichtlich, zuerst Flächen mit «Warten Prio 1» und anschliessend diejenigen Flächen mit «Warten Prio 2» gefüllt. Als weitere Vereinfachung sind die Simulationen so aufgebaut, dass sich die Wagen türsymmetrisch befüllen oder entleeren, d.h. jede Wagenhälfte wird nur von einer Türe bedient, sofern zwei Türen für den entsprechenden Prozess zur Verfügung stehen.

Damit die vorgesehene Verteilung im Fahrzeuginneren, wie in den nachfolgenden Abbildungen zu sehen ist, erreicht wird, muss jeder Sitz- oder Stehplatzbereich mit der exakten Anzahl an Personen, über die Personenzuflüsse im Simulationstool parametrisiert sein. Die blauen Kreise mit Zahlen stehen für Eingestiegene, die grünen Kreise für die aussteigende Anzahl an Personen. Zusammen bilden sie die Fahrgastzahl F des jeweils simulierten Szenarios.

Um die teilweise sehr hohen Fahrgastzahlen simulieren zu können, musste zusätzlich die gesamte begehbare Grundfläche im Zug mit dem Laufverhalten «Einsteigen» parametrisiert werden (vgl. hierzu auch Abb. 8-16). Ohne dieses Laufverhalten entstand ein zu grosser Rückstau, verursacht durch die engen Platzverhältnisse in den Gängen oder bei den Sitzgruppen im Wagen.

Zur Verbesserung der stochastischen Sicherung der Ergebnisse besteht jedes Szenario aus je 30 Simulationsläufen mit unterschiedlichen Startzufallszahlen.

Ein Wagen, bei welchem nur einsteigende Personen am Fahrgastwechsel beteiligt sind, wird in der Simulation nachgebildet, indem die Einstiegstüröffnungen (lichte Weite) während der ersten vier Simulationssekunden mittels Signalbarrieren geschlossen sind. In diesen vier Sekunden wird bereits ein Grossteil der Einsteiger erzeugt. Ein Wagen, bei welchem nur Aussteiger oder ein gemischter Fahrgastwechsel stattfindet, wird in der Simulation nachgebildet, indem die Einstiegstüröffnungen (lichte Weite) während der ersten sieben Simulationssekunden mittels Signalbarrieren geschlossen sind. In diesen sieben Sekunden werden bereits alle Aussteigenden Personen erzeugt. Die Begründung des Zeitunterschieds liegt darin, dass sich die Aussteiger in der Realität bereits kurz vor dem Halt bei der entsprechend gewählten Ausstiegstüre beginnen zu versammeln.

Zusätzlich wird für die aussteigenden Personen in dieser Simulationsreihe der Bahnsteig dahingehend als idealisiert betrachtet, indem ausser einer kurzen Zeitverteilung direkt nach dem Aussteigen (vgl. Abb. 8-15 und Abb. 8-17) ein ungehinderter Abfluss dieser Personengruppen stattfinden kann.

Die Zeitintervalle zum Erzeugen von Einsteigern sind vor allem beim FLIRT von hoher Bedeutung, da diese sehr gut auf das Ende des Ausstiegsvorgangs abgestimmt sein müssen. Durch diese Zeitintervalle können die Ergebnisse der Simulationsläufe mit dem FLIRT massgebend beeinflusst werden. Über mehrere Testsimulationen mit verschiedenen Startzufallszahlen liessen sich die Zeitintervalle für jede Simulation individuell festlegen. Um die Realität möglichst gut nachzubilden wurden wie bereits in der Verifikation-/ Validierungsphase darauf geachtet, dass der Fahrgastwechsel kurzzeitig parallel abläuft, oder zumindest nahtlos ineinander übergeht.

Eine detaillierte Zusammenstellung der Simulationsdesigns sowie eine kurze Beschreibung zu den jeweiligen Szenarien ist im Anhang, Kapitel 12.1 einsehbar. Die Streuung der Fahrgastwechselzeit zu jedem simulierten Szenario ist an dieser Stelle ebenfalls in Form von Boxplots abgebildet.

8.5 Zusammenfassung Vergleichssimulationen FLIRT-/ ISB-Wagen

Als neuer Kennwert wird für diese Simulationsreihe gemäss Formel 4.6 die spezifische Türbelastung eines Wagens berechnet. Die gewählten Referenzzustände sind dabei diejenigen der Szenarien 1 bis 3. Die Anzahl der Fahrgäste im Referenzzustand sind dabei für das Szenario 1 und 2 jeweils 100 Personen und für das Szenario 3 200 Personen.

Szenario	$Q_{T,s}$ FLIRT [P/m]	Lichte Weite [m]	$Q_{T,s}$ ISB [P/m]	Lichte Weite [m]	$\Delta Q_{T,s}$
1	38.46	2.60	52.63	1.90	14.17
2	38.46	2.60	38.46	2.60	0.00
3	76.92	2.60	44.44	4.50	32.48

Tabelle 8-5: Spezifische Türbelastung beim FLIRT und bei der ISB. Die lichte Weite der Türöffnung variiert bei der ISB je nach Szenario aufgrund der getrennten Nutzung der Ein-/ Ausstiegstüren.

Aus der Tabelle 8-5 geht hervor, dass die spezifische Türbelastung im Szenario 1 zu Gunsten des FLIRT ausfällt, da dieser dort zwei statt einer Türe wie bei der ISB zur Verfügung hat. Im Szenario 2 besteht kein Unterschied, während im Szenario 3 der Vorteil eines dreitürigen Systems hervortritt.

In der Tabelle 8-6 sind die weiteren interessierenden Kennwerte tabellarisch festgehalten. Für die spezifische Türleistungsfähigkeit L_s ist gemäss Formel 4.3, resp. 4.5 die gesamte Breite (lichte Weite) der zur Verfügung stehenden Türe ausschlaggebend, da hier die spezifische Türleistungsfähigkeit eines Wagens von Interesse ist. Beim FLIRT sind dies bei allen Simulationen 2.60 m, bei der ISB variiert dieser Wert je nach Szenario zwischen 1.90 m, 2.60 m oder 4,50 m.

Szenario	Mittelwert $t_{h,f}$ FLIRT aus Simulation [s]	Mittelwert $t_{h,f}$ ISB aus Simulation [s]	$\Delta t_{h,f}$ [s]	L Wagen FLIRT [P/s]	L Wagen ISB [P/s]	L_s Wagen FLIRT [P/sm]	L_s Wagen ISB [P/sm]
1	39.31	46.23	6.92	2.54	2.16	0.98	1.14
2	26.30	24.26	2.04	3.80	4.12	1.46	1.59
3	68.37	44.20	24.17	2.93	4.52	1.13	1.01
4	42.11	25.91	16.20	3.09	5.02	1.19	1.11
5	41.79	23.12	18.67	2.87	5.19	1.10	1.15
6	52.10	44.90	7.20	2.50	2.90	0.96	0.64
7	47.87	37.63	10.24	2.51	3.19	0.96	0.71
8	35.84	43.13	7.29	2.51	2.09	0.97	1.10
9	33.91	37.81	3.90	2.36	2.12	0.91	1.11
10	27.80	34.99	7.19	2.52	2.00	0.97	1.05
11	24.08	21.94	2.14	3.32	3.65	1.28	1.40
12	55.89	38.00	17.89	2.86	4.21	1.10	0.94
13	47.14	33.89	13.25	2.97	4.13	1.14	0.92
14	42.18	31.16	11.02	2.84	3.85	1.09	0.86
15	38.90	27.17	11.73	2.57	3.68	0.99	0.82
16	31.86	21.82	10.04	2.51	3.67	0.97	0.81
17	27.08	17.26	9.82	2.22	3.48	0.85	0.77
18	21.79	13.00	8.79	1.84	3.08	0.71	0.68

Tabelle 8-6: Kennwerte $t_{h,f}$, L und L_s für die Vergleichssimulationen FLIRT-/ ISB-Wagen. Grün markiert sind diejenigen Kennzahlen, bei denen die ISB gegenüber dem FLIRT besser abschneidet. Die Werte der Spalten Leistungsfähigkeit L sind sehr hoch, da bei diesem Kennwert die effektive Anzahl Türen, resp. die zur Verfügung stehende lichte Weite der Türöffnungen gemäss Formel 4.4 nicht berücksichtigt wird.

8.6 Vergleichssimulation ISB-Wagen mit und ohne getrenntem Ein- und Aussteigen

Die Zusammenfassung aus Kapitel 8.5 zeigt, dass ein zweitüriges FLIRT-Konzept gegenüber einem dreitürigen ISB Konzept mehrheitlich schlechter abschneidet. Aus den Vorgaben der SBB AG hervor, dass für die ISB ein FLIRT-Layout mit insgesamt 3 Türen pro Wagenseite mit einer lichten Weite von je 1.40 m vorgesehen ist [17]. Ein solches Wagenlayout existiert heute noch nicht. Für eine weitere Simulationsreihe ist jedoch der Kennzahlenvergleich von zwei Wagentypen mit je 3 Türen, einmal mit und einmal ohne getrenntem Ein- und Aussteigen, vorgesehen. Das weitere Vorgehen gliedert sich daher folgendermassen:

Das Wagenlayout der ISB Variante 2 wird dahingehend angepasst, dass die mittlere Türe auf eine lichte Weite von 1.40 m verkleinert und die beiden äusseren Türen auf 1.40 m vergrössert werden. Für dieses Layout gilt dann nicht mehr das getrennte Ein-/ Ausstiegskonzept, sondern der heute übliche sequentielle Ablauf.

Das gemäss den Vorgaben der SBB angepasste Wagenlayout für die nächste Simulationsreihe geht aus der Abb. 8-22 hervor. Zur besseren Unterscheidung wird diese dritte Variante des ISB-Layout nachfolgend ISBv3 genannt.

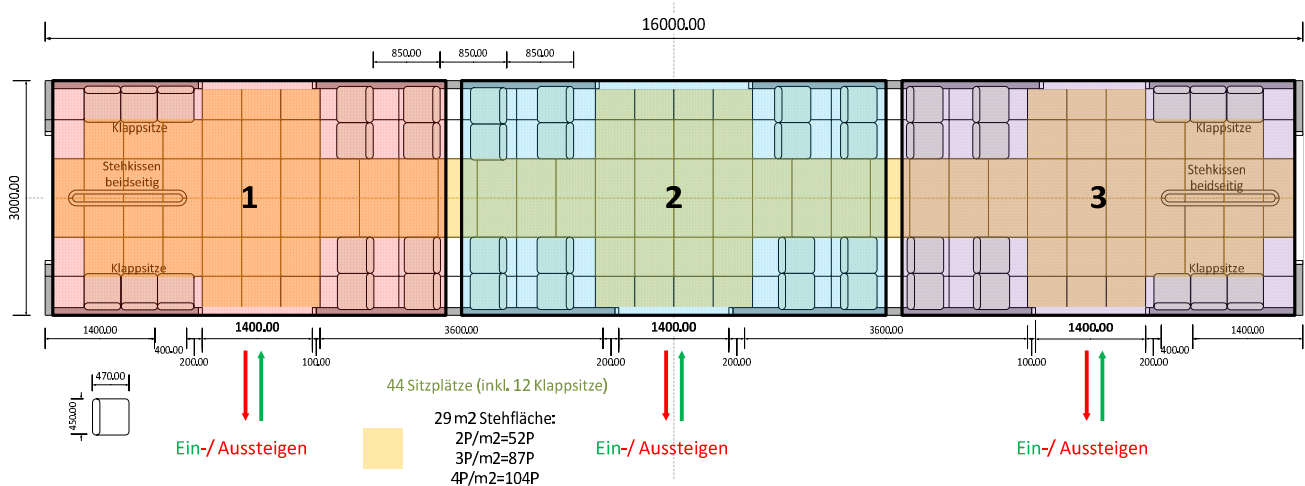


Abb. 8-22: Die ISB Variante 3 leitet sich vom angepassten Wagenlayout der ISB-Variante 2, gemäss Vorgaben der SBB AG mit drei Türen pro Wagenseite, je einer lichte Weite von 1.40 m und ohne Türrestriktionen ab.

Das Befüllen bzw. Entleeren des Wagens geschieht vereinfacht und wiederum türsymmetrisch. Die Aufteilung auf die drei Türen ist mit den Flächen 1 bis 3 in der obenstehenden Abb. 8-22 ersichtlich. Die simulierten Szenarien entsprechen genau denjenigen aus dem vorangehenden Kapitel 8.4 sowie der Tabelle 8-4 und werden daher nicht mehr explizit erläutert.

Mit dieser Simulationsreihe soll im Wesentlichen der Unterschied des getrennten Ein-/ Ausstiegskonzepts anhand den gleichen Grundvoraussetzungen (Wagenlayout und Anzahl Türen) aufgezeigt werden.

Bis auf die neue Türanordnung sind die Simulationen identisch und unter den exakt gleichen Bedingungen durchgeführt worden. In den nachfolgenden Unterkapiteln sind die bezüglich der Personenverteilung angepassten Simulationsaufbauten der ISBv3 für das Ein- und Aussteigen sowie die angepassten Zeitintervalllisten dokumentiert.

Eine detaillierte Zusammenstellung der Simulationsdesigns zu den jeweiligen Szenarien ist im Anhang, Kapitel 12.2 einsehbar. Die Streuung der Fahrgastwechselzeit zu jedem simulierten Szenario ist an dieser Stelle wiederum in Form von Boxplots abgebildet.

8.7 Zusammenfassung Vergleichssimulationen ISB mit und ohne getrenntem Ein- und Aussteigen

Für die ISBv3 wird für diese Simulationsreihe ebenfalls die spezifische Türbelastung der Wagen berechnet. Zum Vergleich sind die Werte der ISB aus der vorangehenden Simulationsreihe, welche in Kapitel 8.4 thematisiert wird, gemäss Tabelle 8-5 mitaufgeführt. Die gewählten Referenzzustände sind dabei diejenigen der Szenarien 1 bis 3. Die Anzahl Fahrgäste im Referenzzustand sind dabei für die Szenarien 1 und 2 jeweils 100 Personen und für das Szenario 3 200 Personen.

Szenario	$Q_{T,S}$ ISB [P/m]	Lichte Weite [m]	$Q_{T,S}$ ISBv3 [P/m]	Lichte Weite [m]	$\Delta Q_{T,S}$
1	52.63	1.90	23.81	4.20	28.82
2	38.46	2.60	23.81	4.20	14.65
3	44.44	4.50	47.62	4.20	3.17

Tabelle 8-7: Spezifische Türbelastung bei der ISB und der ISBv3. Die lichte Weite der Türöffnung variiert bei der ISB je nach Szenario aufgrund der getrennten Nutzung der Ein-/ Ausstiegstüren.

In der Tabelle 8-8 sind die weiteren interessierenden Kennwerte tabellarisch festgehalten. Für die spezifische Türleistungsfähigkeit L_s ist gemäss Formel 4.3, resp. 4.5 die gesamte Breite (lichte Weite) der zur Verfügung stehenden Türe ausschlaggebend, da hier die spezifische Türleistungsfähigkeit eines Wagens von Interesse ist. Bei der ISBv3 sind dies bei allen Simulationen 4.20 m, bei der ISB variiert dieser Wert je nach Szenario zwischen 1.90 m, 2.60 m oder 4,50 m.

Szenario	Mittelwert $t_{h,f}$ ISB aus Simulation [s]	Mittelwert $t_{h,f}$ ISBv3 aus Simulation [s]	$\Delta t_{h,f}$ [s]	L Wagen ISB [P/s]	L Wagen ISBv3 [P/s]	L_s Wagen ISB [P/sm]	L_s Wagen ISBv3 [P/sm]
1	46.23	27.66	18.57	2.16	3.62	1.14	0.86
2	24.26	18.76	5.50	4.12	5.33	1.59	1.27
3	44.20	57.84	13.64	4.52	3.46	1.01	0.82
4	25.91	35.01	9.10	5.02	3.71	1.11	0.88
5	23.12	29.89	6.77	5.19	4.01	1.15	0.96
6	44.90	42.40	2.50	2.90	3.07	0.64	0.73
7	37.63	39.03	1.40	3.19	3.07	0.71	0.73
8	43.13	28.16	14.97	2.09	3.20	1.10	0.76
9	37.81	24.18	13.63	2.12	3.31	1.11	0.79
10	34.99	21.65	13.34	2.00	3.23	1.05	0.77
11	21.94	15.98	5.96	3.65	5.01	1.40	1.19
12	38.00	42.40	4.40	4.21	3.77	0.94	0.90
13	33.89	39.53	5.64	4.13	3.54	0.92	0.84
14	31.16	34.40	3.24	3.85	3.49	0.86	0.83
15	27.17	29.60	2.43	3.68	3.38	0.82	0.80
16	21.82	24.80	2.98	3.67	3.23	0.81	0.77
17	17.26	21.39	4.13	3.48	2.81	0.77	0.67
18	13.00	17.03	4.03	3.08	2.35	0.68	0.56

Tabelle 8-8: Kennwerte $t_{h,f}$, L und L_s für die Vergleichssimulationen ISB-/ ISBv3-Wagen. Grün markiert sind diejenigen Kennzahlen, bei denen die ISB gegenüber der ISBv3 besser abschneidet. Die Werte der Spalten Leistungsfähigkeit L sind sehr hoch, da bei diesem Kennwert die effektive Anzahl Türen, resp. die zur Verfügung stehende lichte Weite der Türöffnungen gemäss Formel 4.4 nicht berücksichtigt wird.

8.8 Vergleichssimulation ISB/ ISBv3 eines ganzen Zuges

Nach dem Ermitteln der Kennzahlen für die Wagentypen der ISB, ISBv3 und des FLIRT, sind nun auch diejenigen eines ganzen Zuges der ISB-Varianten von Interesse. Hierzu wurde das Szenario 4, HVZ 1 morgens, ausgewählt. Ein Zug der ISB oder ISBv3 besteht dabei aus vier Wagen, zwei Mittelwagen und je einem Endwagen. Alle vier Wagen sind dabei bezüglich dem Layout im Fahrzeuginneren identisch simuliert worden. Die Wagenübergänge sind nicht mit in die Betrachtung eingeflossen, d.h. es findet kein Personenfluss über diese statt. Die Bahnsteige sind wie bereits in den vorhergegangenen Simulationen idealisiert, was einen ungehinderten Wegfluss der Aussteiger bedeutet. Trotz dieser Vereinfachungen, die weiterhin für beide Wagentypen ISB und ISBv3 gelten, soll diese Simulation eine quantitative Aussage bezüglich der Fahrgastwechselzeit für einen ganzen Zug erlauben.

Die Abb. 8-23 und Abb. 8-24 zeigen den Simulationsaufbau des Szenarios 4 auf. Die Zeitintervallliste ist identisch mit den Simulationen der Einzelwagen (vgl. Tabelle 12-22).

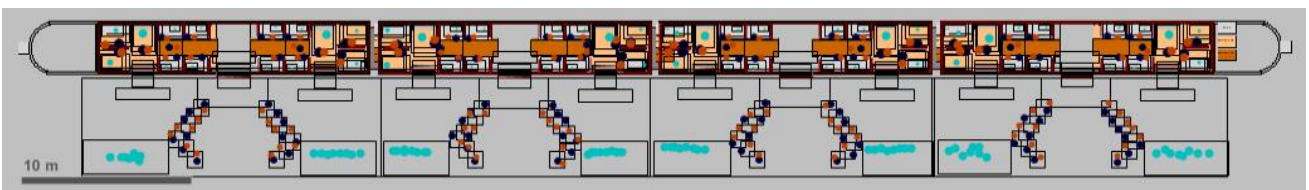


Abb. 8-23: Simulationsaufbau im Tool PTV VISWALK, ISB Zug.

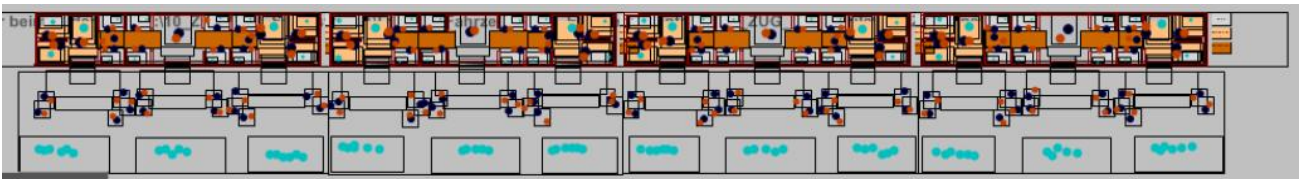


Abb. 8-24: Simulationsaufbau im Tool PTV VISWALK, ISBv3 Zug.

Das Ergebnis und die Streuung aus je 30 Simulationsläufen sind in den untenstehenden Boxplots visualisiert. Bei vier Wagen pro Simulation war zur erwarten, dass sich die Mittelwerte der Fahrgastwechselzeit leicht erhöhen, da nun derjenige Wagen mit dem längsten Fahrgastwechsel die gesamte Fahrgastwechselzeit bestimmt. Bei der ISB resultieren deutlich höhere, bei der ISBv3 hingegen nur leicht höhere Fahrgastwechselzeiten. Dies, obwohl die ISBv3 in den Simulationsläufen einige Ausreisser nach oben aufwies.

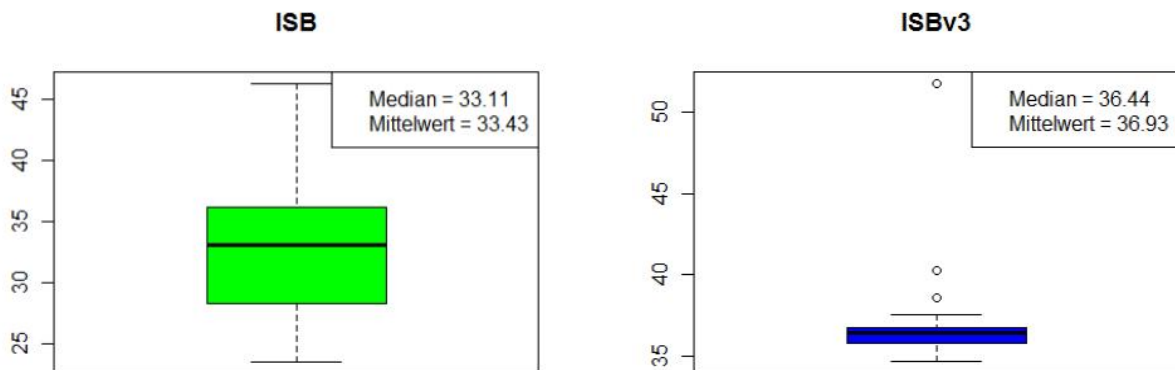


Abb. 8-25: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISB und ISBv3 Zug, Szenario 4, Fahrgastwechsel mit 130 Ein-/ Aussteiger, F=130.

Zum besseren Vergleich sind die Fahrgastwechselzeiten (Mittelwerte) aus den Einzelwagensimulationen und dieser Zugsimulation für das Szenario 4 in der Tabelle 8-9 aufgeführt. Ein Zug der ISB mit getrenntem Ein- und Aussteigen hat gegenüber der Einzelwagensimulation einen um gut 7 Sekunden längeren Fahrgastwechsel. Beim Zug der ISBv3 verlängert sich der Fahrgastwechsel um knapp 2 Sekunden. Die ISB Variante mit getrenntem Ein- und Aussteigen ist dabei immer noch mehr als 3 Sekunden schneller.

	Mittelwert $t_{h,f}$ ISB aus Simulation [s]	Mittelwert $t_{h,f}$ ISBv3 aus Simulation [s]
Einzelwagen	25.91	35.01
Zug	33.34	36.93
$\Delta t_{h,f}$ [s]	+7.43	+1.92

Tabelle 8-9: Vergleich der Fahrgastwechselzeit Wagen- und Zugsimulation zwischen der ISB und der ISBv3.

Die Kennwerte L und L_s der Zugsimulation sind in der Tabelle 8-10 zu sehen. Die ISB schneidet bei beiden Werten leicht besser ab.

Szenario	L Zug ISB [P/s]	L Zug ISBv3 [P/s]	L_s Zug ISB [P/sm]	L_s Zug ISBv3 [P/sm]
4	15.59	14.08	0.87	0.84

Tabelle 8-10: Performancegrösse L und L_s für das Szenario 4 der Zugsimulation.

Die Abb. 8-26 zeigt einen 3D-Ausschnitt dieser Vergleichssimulation von einer ISB mit getrenntem Ein- und Aussteigen. Die getrennte Funktion sowie der ungehinderte Zugang zu den Türen sind gut ersichtlich.



Abb. 8-26: 3D-Simulationsaufnahme der Vergleichssimulation ISB/ ISBv3 Zug. Zu sehen sind drei Wagen der ISB mit getrenntem Ein- und Ausstiegskonzept.

8.9 Simulation ISB in Vierfachtraktion im Bahnhof Hardbrücke

Als letzte Simulation der vorliegenden Bachelorarbeit ist die ISB mit getrenntem Ein- und Aussteigen in einer Vierfachtraktion im Bahnhof Hardbrücke auf dem Gleis 3 simuliert worden. Als Ergebnis dieser Simulation soll nicht wie bei den Vergleichssimulationen der vorherigen Kapitel 8.4 und 8.6 eine quantitative, sondern vielmehr eine qualitative Aussage über die Auswirkungen eines solchen Zuges in Vierfachtraktion auf der heutigen Infrastrukturanlage am Bahnhof Hardbrücke ermöglichen. Als Simulationsgrundlage diene wiederum das Szenario 4 mit 130 beteiligten Personen pro Wagen. Von diesen 130 Personen sind 100 Aussteiger. Somit wird ein worst-case-Szenario für die Infrastruktur der Bahnsteige abgebildet. Insgesamt befinden sich bei dieser Simulation 2'080 Personen im Netz. Hiervon sind 1'600 Personen Aussteiger, welche über die fünf bestehenden Auf- und Abgänge auf Gleis 3 wegfliessen müssen.

Die Simulation ist für diesen Fall wie folgt angepasst und idealisiert:

- Die Personen für das Ein- und Aussteigen werden nicht mehr in vielen Kleingruppen für die Sitz- oder Stehplätze generiert, sondern in grösseren Gruppen.
- Die 30 Einsteiger pro Wagen und Einstiegstüre werden alle auf der dafür vorgesehenen Wartefläche auf dem Bahnsteig erzeugt. Als Route haben sie nur die Wahl für die linke oder rechte Wagenhälfte, Sitzplätze werden nicht abgebildet.
- Die 100 Aussteiger pro Wagen sind zu je 50 Personen pro Ausstiegstüre aufgeteilt und werden auch in deren unmittelbarer Nähe erzeugt.
- Die Türen sind bereits ab der ersten Simulationssekunde offen.
- Alle Personen werden in den ersten 7 Simulationssekunden erzeugt.
- Die Routen zu den Auf- und Abgängen sind nicht mehr als reine statische Hauptrouten vorgegeben. Bei Hindernissen, welche links oder rechts umgangen werden können, kommen die Personen auf eine Fläche mit sog. Teilroutenentscheidungen. Damit können sie auf einem solchen Teilabschnitt den weiteren Verlauf der Route selbst festlegen. Sobald sie wieder eine Fläche mit der Hauptroute betreten, wird diese wie geplant fortgesetzt.
- Die Simulation erstreckt sich über insgesamt 3 Ebenen. Die Unterführung (Ebene -1) zur Hardstrasse mit insgesamt drei Abgängen, das Gleis 3 im Bahnhof Hardbrücke (Ebene 0) sowie die Hardbrücke selbst (Ebene +1) mit insgesamt 2 Abgängen.
- Der Bahnsteig ist bei Simulationsbeginn komplett leer und auf dem gegenüberliegenden Gleis steht kein Zug.
- Auf keiner Treppe findet Gegenverkehr statt, d.h. die Treppen sind voll und ganz für das Wegfliessen vom Bahnsteig verfügbar.
- Die Unterführung ist gegenüber dem Bahnsteig Gleis 3 um -4.50 Meter, die Überführung um +8.50 Meter versetzt. Die Breite der verschiedenen Treppen entsprechen den georeferenzierten CAD-Dateien der SBB AG. Der Plan des Bahnhof Hardbrücke diene als Hintergrundkarte beim Aufbau der Simulation.
- Die gesamte Fläche «Bahnsteig» und «Treppen» sind mit dem angepassten Laufverhalten «Einsteigen» parametrisiert.
- An den jeweiligen Treppenenden findet ein ungehinderter Abfluss der Personen statt.
- Jede Türe und jedes Treppenende ist mit einer Reisezeitmessung ausgestattet. Somit ist für die Auswertung die erste Person, welche einen Türquerschnitt betritt sowie die letzte Person, die sich über eine der fünf Treppen bewegt hat, erfasst. Damit lässt sich die Zeit ab Türöffnung bis zum kompletten Räumen des Bahnsteigs ermitteln.

Die Abb. 8-27 zeigt die gewählte Verteilung der Personen aus den einzelnen Wagen auf die fünf Auf- und Abgänge.

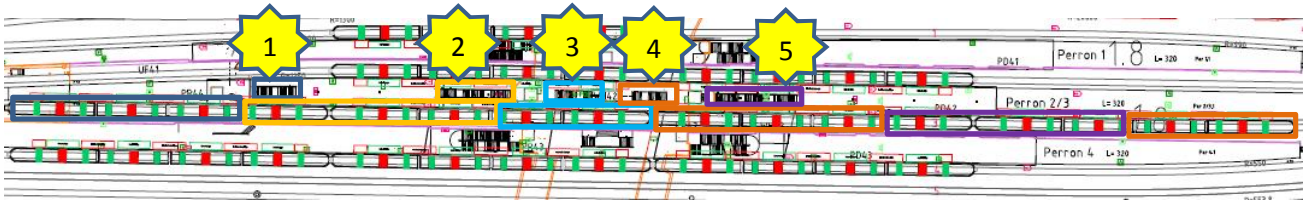


Abb. 8-27: Verteilung der Personen aus den einzelnen Wagen der ISB-Vierfachtraktion am Bahnhof Hardbrücke auf die fünf zur Verfügung stehenden Treppen.

Die einzelnen Treppen haben folgende Funktionen: Treppe 1, 3 und 4 führen nach unten zur Hardstrasse. Treppe 2 und 5 führen nach oben zur Hardbrücke. Der Wahl zur Verteilung auf die fünf Treppen lag die Annahme zu Grunde, dass sich die aussteigenden Personen immer zum nächstgelegenen Auf- oder Abgang nach dem Verlassen des Fahrzeuges begeben. Die Personen der hintersten zwei Wagen in östlicher Richtung (rechts im Bild) benutzen aufgrund der sonst zu starken Belastung von Treppe 5 die Treppe 4. Dadurch ergibt sich für die einzelnen Treppen eine Belastung von:

Treppen Nr.	Anzahl Wagen zur Treppe	Anzahl Personen zur Treppe	Ziel der Treppe
1	3	300	Ebene -1
2	3	300	Ebene +1
3	2	200	Ebene -1
4	5	500	Ebene -1
5	3	300	Ebene +1

Tabelle 8-11: Belastung der fünf Treppen am Bahnhof Hardbrücke Gleis 3 für das Szenario 4 einer Vierfachtraktion der ISB.

Das Ergebnis und die Streuung aus 30 Simulationsläufen sind im untenstehenden Boxplot visualisiert. Aus der Beobachtung der Simulationsläufe ging hervor, dass die Treppe 4 das begrenzende Element dieser Simulation darstellt. Wie bereits aus der Tabelle 8-11 ersichtlich ist, müssen über diese Treppe mit insgesamt 500 Personen am meisten Personen abfließen. Die Aufteilung der Wagen auf diese Treppe scheint den Autoren allerdings plausibel, denn bei den Beobachtungen zum Fahrgastwechsel (vgl. Kapitel 6.5) war ersichtlich, dass die Mehrheit der Personen die Unterführung zur Hardstrasse als Ziel haben.

ISB Vierfachtraktion im Bahnhof Hardbrücke

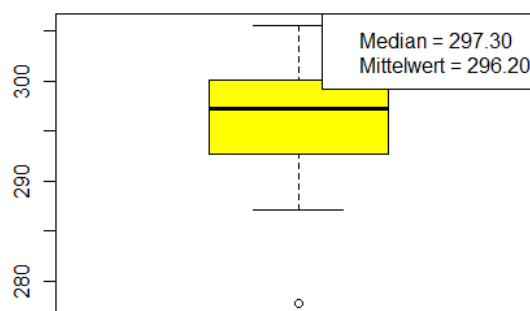


Abb. 8-28: Boxplot aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Zeit vom Verlassen der Fahrzeuge bis zum vollständigen Räumen des Bahnsteigs im Bahnhof Hardbrücke, Gleis 3.

Die untenstehenden Abbildungen zeigen 3D-Simulationsaufnahmen am Bahnhof Hardbrücke. Die Abb. 8-29 bildet die Treppe 5 zur Hardbrücke ab, Blickrichtung von Gleis 2 auf Gleis 3. Der Fahrgastwechsel ist noch nicht beendet. Wie in der Abb. 8-27 zu sehen ist bewegen sich die Personen aus den Wagen im Bild zur Treppe 4, also links oder rechts an dieser Treppe 5 vorbei.



Abb. 8-29: 3D-Simulationsaufnahme am Bahnhof Hardbrücke mit dem Layout der ISB, Vierfachtraktion, getrenntes Ein-/ Ausstiegskonzept. Zu sehen ist die Treppe 5, welche zur Hardbrücke hinauf führt.

Die Abb. 8-30 entstand zu einem späteren Simulationszeitpunkt. Der Fahrgastwechsel ist fast vollständig abgeschlossen, nur noch wenige Personen befinden sich im Bereich der Türquerschnitte. Die Blickrichtung dieser Aufnahme ist in östliche Richtung zum HB hin gerichtet. Ganz vorne im Bild ist die Treppe 2, im Hintergrund die Treppe 5 zu sehen. Gut ersichtlich ist die schwach ausgelastete Treppe 3 zur Unterführung in die Hardstrasse, da sie in dieser Simulation nur das Personenaufkommen von zwei Wagen der ISB aufnehmen muss.



Abb. 8-30: 3D-Simulationsaufnahme am Bahnhof Hardbrücke mit dem Layout der ISB, Vierfachtraktion, getrenntes Ein-/ Ausstiegskonzept. Zu sehen sind die Treppen 2 bis 5 sowie drei der vier ISB-Einheiten.

9 Auswertungen der Simulationen

9.1 Getroffene Annahmen

Für die Modellierung und Simulation mussten zu Beginn einige Annahmen getroffen werden. Als Richtwerte für die Simulation dienten die Kennzahlen aus den Fahrgastzählenden der SBB sowie die Videoauswertungen der eigenen beobachteten Fahrgastwechsel. Dabei zeigte sich, dass die Simulation generell zu schnell und optimiert ablief. Um die Realität exakter nachzubilden, wurden die Resultate für die Auswertungen mit einem Faktor von 0.9 gerechnet, was einer Verlängerung der Fahrgastwechselzeiten um 10 % gegenüber den simulierten Zeiten entspricht.

Für die Simulation selbst ging das Autorenteam davon aus, dass sich sämtliche Personen optimal verhalten würden. Dies bedeutet, dass sie ihr Ziel bereits im Voraus kannten und dieses ohne Alternativroute erreichten. Bei den Simulationen wurde zudem von einem reibungslosen Betriebsgeschehen ohne besondere Vorkommnisse oder Störeinflüsse ausgegangen. Die Fahrgäste besetzten zuerst der Reihe nach die Sitzplätze. Die nachfolgenden Personen gingen dann zu den verschiedenen Stehplatzbereichen, bis der entsprechende Besetzungsgrad des jeweiligen Szenarios erreicht war. Allfällige Personenströme über die Wagenübergänge flossen nicht in die Betrachtung mit ein.

Die Durchmischung der Personen bestand nur aus Frauen und Männern zwischen 30 und 50 Jahren. Sie verfügten über sehr ähnliche physikalische und psychologische Eigenschaften. Alte, gebrechliche Personen fehlten ebenso wie Radfahrer, Personen mit Koffern oder Familien mit Kinderwagen.

Wie zu Beginn des Berichts erwähnt, bewegt sich das entworfene Konzept im Planungsdreieck Rollmaterial-Infrastruktur-Zugführung. Diese drei Aspekte beeinflussen sich gegenseitig. Für die Simulation wurde folglich davon ausgegangen, dass der Zug exakt abgestimmt auf die definierten Wartezonen auf dem Bahnsteig anhält. Der Aufbau der Simulation eines Wagens oder Zuges ändert sich dabei nicht wesentlich. So lässt sich bei der Simulation mehrerer Wagen das gleiche Verhalten mit den gleichen individuellen Routenwahlen wie bei einem Einzelwagen anwenden.

9.2 Resultate

Die beiden Abb. 9-1 und Abb. 9-2 veranschaulichen die Simulationsergebnisse der Kapitel 8.4 sowie 8.6 und zeigen, dass das ISB-Fahrzeuglayout mit getrenntem Ein- und Aussteigen in 11 der 18 simulierten Szenarien besser abschneidet. Dies gilt für die bestehende FLIRT-Variante ebenso, wie für ein ISB-Layout mit drei gleichwertigen Türen ohne getrenntes Ein- und Aussteigen (ISBv3). Obwohl sich die Zeitersparnis vereinzelt innerhalb weniger Sekunden bewegt, ist die Variante ISB als die bessere Lösung zu betrachten. Das grösste Einsparpotenzial an der gesamten Haltezeit liegt in der Fahrgastwechselzeit. Eine Reduktion um wenige Sekunden kann zu einer markanten Verbesserung führen.

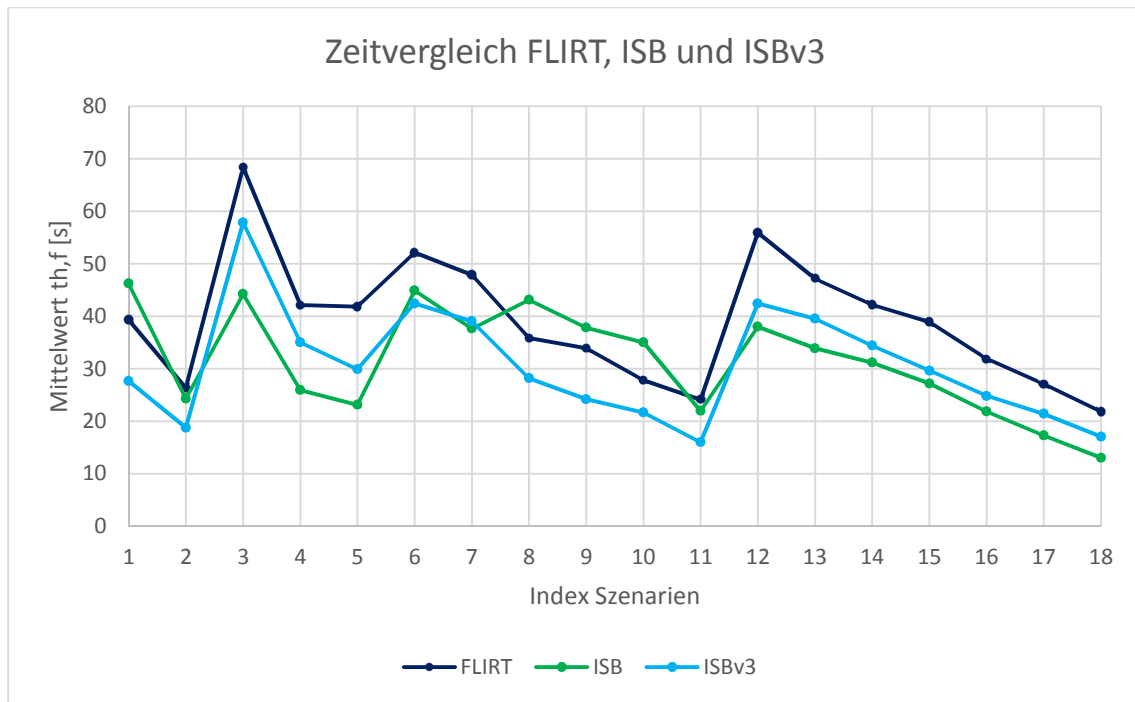


Abb. 9-1: Mittelwerte der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ eines Wagens FLIRT (2 Türen), ISB und ISBv3 (3 Türen) aus den Simulationen. Insgesamt wurden 18 verschiedene Szenarien betrachtet.

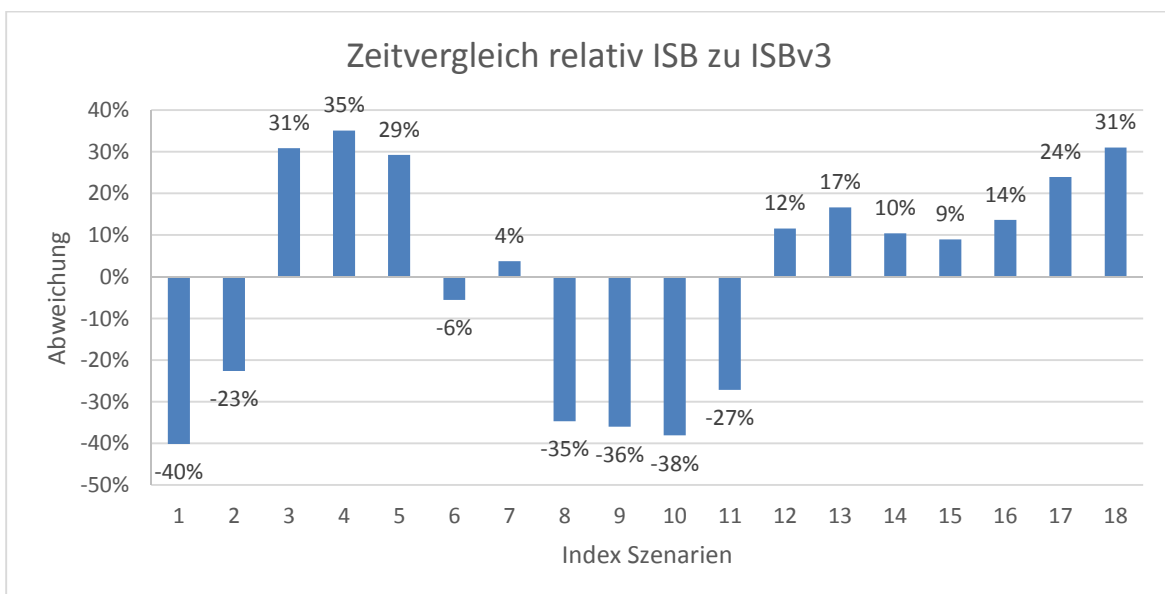


Abb. 9-2: Relativer Vergleich der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ zwischen der ISB und der ISBv3. Bei 0 % sind die Zeiten identisch. Bei allen Szenarien mit positiven Balken ist die ISB gegenüber der ISBv3 besser. Insgesamt schneidet die ISB 11 mal besser ab.

Die Tabelle 9-1 zeigt den direkten Vergleich der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ aller drei Fahrzeugtypen ISB, der ISBv3 und des FLIRT für alle 18 Szenarien der Einzelwagensimulation auf. Die grünen Felder markieren die jeweils kürzeste Fahrgastwechselzeit pro Szenario. Der Vergleich zum FLIRT ist nicht massgebend, da er mit nur zwei Türen pro Wagenseite benachteiligt ist. Die Szenarien 1, 2 sowie 8 bis 11 sind einseitige Fahrgastwechsel, wie sie in der Realität eher selten vorkommen.

Szenario	Mittelwert $t_{h,f}$ ISB aus Simulation [s]	Mittelwert $t_{h,f}$ ISBv3 aus Simulation [s]	Mittelwert $t_{h,f}$ FLIRT aus Simulation [s]
1	46.23	27.66	39.31
2	24.26	18.76	26.30
3	44.20	57.84	68.37
4	25.91	35.01	42.11
5	23.12	29.89	41.79
6	44.90	42.40	52.10
7	37.63	39.03	47.87
8	43.13	28.16	35.84
9	37.81	24.18	33.91
10	34.99	21.65	27.80
11	21.94	15.98	24.08
12	38.00	42.40	55.89
13	33.89	39.53	47.14
14	31.16	34.40	42.18
15	27.17	29.60	38.90
16	21.82	24.80	31.86
17	17.26	21.39	27.08
18	13.00	17.03	21.79

Tabelle 9-1: Vergleich der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ (Mittelwert) der drei Fahrzeugtypen ISB, ISBv3 und FLIRT. Grün markiert sind die jeweils besten Werte pro simuliertem Szenario.

10 Diskussion und Ausblick

10.1 Diskussion der Resultate

Die Resultate hängen massgeblich vom Zusammenspiel zwischen der Fahrzeug- und Bahnsteigsituation ab. Dies gilt für alle untersuchten Fahrzeuglayouts. Die Personen zum Einsteigen wurden jeweils in unmittelbarer Türnähe generiert. Dieser Umstand begünstigt die Varianten FLIRT und ISBv3, da die SBB AG zum heutigen Zeitpunkt keine wie vom Autorenteam vorgeschlagenen kundenlenkenden Massnahmen vorsieht. Dies kommt vor allem bei gemischten Fahrgastwechselszenarien zum Tragen, da bei den erwähnten Fahrzeuglayouts sämtliche Türen den Ein- und Aussteigern zur Verfügung stehen und somit ein idealer Zu- und Abfluss simuliert wurde. In der Realität ist dies häufig nicht der Fall. Vielfach setzen auf dem Bahnsteig Querbewegungen zu den Türen ein, da trotz Sektoranzeigen viele Personen nicht genau wissen, wo die nächstgelegene Türe zu stehen kommt. Hier besteht eine Korrelation zu den unzureichend definierten Halteorten. Zudem werden bei gemischten Fahrgastwechseln die Aussteiger an den Türen durch wartende Einsteiger, welche zuweilen auch ungeduldig werden, beim Aussteigen behindert, was die gesamte Fahrgastwechselzeit zusätzlich verlängert.

Bezüglich der Erwartbarkeit der Resultate kann festgehalten werden, dass sich die Simulationen unabhängig vom Szenario sehr realistisch verhielten. Je mehr Personen am Fahrgastwechsel beteiligt waren, desto höher wurde die treibende Kraft der Menschenmenge, was eine Beschleunigung des Fahrgastwechsels zur Folge hatte. Dadurch erklären sich auch die steigenden Werte für die spezifische Türleistungsfähigkeit L_s bei steigender Fahrgastzahl F . Diese Tatsache ist in den Abb. 8-3 und Abb. 8-4 ersichtlich und damit wird die Theorie und Praxis der Personenhydraulik mittels Simulationen bestätigt.

Obwohl viele Annahmen zur Vereinfachung an der Schnittstelle Zug/ Bahnsteig getroffen wurden und eine Simulation immer nur eine Berechnung, resp. Prognose darstellt, sind die erhaltenen Ergebnisse sehr aussagekräftig. Einerseits liegen sie im Erwartungsfenster, was aufgrund der Richtwerte aus den realen Beobachtungen klar ist. Andererseits widerspiegeln sie das erwartete Verhalten der Personen auf dem Bahnsteig sowie im Zug sehr realistisch. Die Hypothesen 1 und 2, das räumlich getrennte Ein- und Aussteigen und eine darauf abgestimmte Kundenlenkung, sind somit eine Voraussetzung für reduzierte Fahrgastwechsel- und Haltezeiten und dementsprechend als belegt anzusehen.

Es wurden insgesamt 18 Szenarien simuliert. Davon sind hauptsächlich diejenigen Szenarien mit gemischten Fahrgastzahlen für den täglichen Betrieb relevant, da praktisch in allen Fällen ein- und aussteigende Personen beteiligt sein werden.

Die erhaltenen Ergebnisse sind durchaus relevant für die weiteren Bearbeitungsschritte des Projekts der «Zürcher S-Bahn 2G». Sie bilden eine solide Datengrundlage für ein empfohlenes Fahrzeug- und Betriebskonzept sowie für deren weitere Vertiefung.

10.2 Bewältigung des prognostizierten Fahrgastaufkommens

Die prognostizierte Verdoppelung des Fahrgastaufkommens gegenüber dem Fahrplanjahr 2007 muss durch die Züge der ISB mit dem neuen Fahrgastwechselkonzept sowie durch die Züge der ESB bewältigt werden, um eine gleichbleibende Leistungsfähigkeit auf dem Zürcher S-Bahn-Netz garantieren zu können. Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurde die aktuell verfügbare Kapazität an Sitz- und Stehplätzen während der HVZ von 07.00 bis 08.00 Uhr im Bahnhof Museumstrasse, anhand der Zugdaten aus dem Fahrplanjahr 2013 berechnet [33]. Das bedeutet, abzüglich einer Zunahme von knapp 15 % zwischen 2007 und 2013 [24], rund 115'000 Plätze.

Nachfolgende Tabelle 10-1 enthält die Berechnungsschritte sowie Annahmen zur Kalkulation des prognostizierten Fahrgastaufkommens. Der heutige Verplanungsgrad von 66 % darf nicht zu stark strapaziert werden, um im Falle von Verspätungen und weiteren Betriebsstörungen genügend Reservekapazität bereithalten zu können. Von den künftig 255 benötigten ISB-Einheiten ergibt sich zu den maximal möglichen 213 Einheiten eine Differenz von 42 Einheiten. Das bedeutet, dass der Anteil an ISB-Fahrzeugen am gesamten S-Bahn-Verkehr höchstens 83 % betragen darf.

Die heutige Planungen gehen von einem ISB-Anteil von ca. 50 % aus [17]. Damit sind für die prognostizierte Kapazität von knapp 115'000 Plätzen künftig 127 ISB-Einheiten notwendig. Dies bedeutet, bei gleichbleibendem Anteil an verplanten Trassen, dass die Züge mindestens in Dreifachtraktion verkehren müssen. Das Zugangebot des Fahrplanjahrs 2007 unterscheidet sich jedoch gegenüber der Datengrundlage aus dem Fahrplanjahr 2013. Die prognostizierte Kapazität dürfte vermutlich noch etwas tiefer liegen, als die auf Basis der vorhandenen Datengrundlage errechnete.

Somit kann festgehalten werden, dass bei einem Anteil von 50 % ISB-Zügen am gesamten S-Bahn-Verkehr der prognostizierte Fahrgastzuwachs hinreichend bewältigt werden kann.

Kenngrösse	Fahrplanperiode		
	2007	2013	«Zürcher S-Bahn 2G»
Gemessene Frequenzen			
Anzahl Reisende¹	356'340	409'331	712'680
Angebotsseite			
Platzangebot HVZ²	57'616 ³	67'784	115'233
Anzahl möglicher Trasse⁴	N/A	60	80 ⁵
Anzahl verplante Trasse	N/A	40	53 ⁶
Verplanungsgrad	N/A	66.67 %	66.67 %
Nachfrageseite			
Anzahl benötigte ISB-Einheiten	N/A	150 ⁷	255 ⁸
Maximal mögliche ISB-Einheiten künftig	--	--	320 ⁹ 213 ¹⁰

Tabelle 10-1: Kalkulation des prognostizierten Fahrgastaufkommens.

¹ Quelle: ZVV [24]

² Sitz- und Stehplätze bei einer Annahme von 3 Personen/m² und 100% Auslastung

³ Annahme: 15 % weniger bei gleichem Fahrplanangebot wie 2013

⁴ pro Stunde und in beide Richtungen

⁵ Zugfolgezeit: 90 Sekunden

⁶ bei gleichem Verhältnis wie 2013

⁷ bei Fahrgastaufkommen von 2013 und 452 Plätzen pro Zug

⁸ bei prognostizierter Verdoppelung gegenüber 2007 und 452 Plätzen pro Zug

⁹ bei maximal möglichen 80 Trassen

¹⁰ Annahme: bei einem Verplanungsgrad von 66%

10.3 Zielgenaues Anhalten

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellung wurde zur Erreichung der gesetzten Ziele von drei Hypothesen im Planungs-dreieck Rollmaterial-Infrastruktur-Zugführung ausgegangen. Die beiden Hypothesen des räumlich getrennten Ein- und Aussteigens sowie die Kundenlenkung wurden tiefgreifend erläutert.

Das systemisch unterstützende Anhalten eines Zuges, die sog. unterstützte Zugführung, hängt von der technischen Entwicklung ab. Bereits heute gibt es weltweit führerlose Nahverkehrssysteme, hauptsächlich im U-Bahnverkehr. Die Züge halten auf wenige Zentimeter genau an. Das Zurücklegen der letzten Meter bis zum Halt dauert heute jedoch noch unverhältnismässig lange. Die aktuelle Technologie wird primär zur Zugsicherung und Automation eingesetzt. Im Vordergrund stehen Ziele wie bessere Auslastung der vorhandenen Streckenkapazität durch hohe Geschwindigkeiten und Erhöhung der Sicherheit im Zugverkehr.

Dennoch geht das Autorenteam davon aus, dass aufgrund der weiterhin rasanten technischen Entwicklung bis ins Jahr 2030 eine ausgereifte Technologie bereitsteht, welche den Lokführer beim zielgenauen Anhalten ohne Fahrzeitverluste effizient unterstützt. Somit können die Fahrgäste ohne Querbewegungen auf dem Bahnsteig unmittelbar bei den richtigen Türen einsteigen. Die These 3 wird damit als erfüllt angenommen.

10.4 Fazit

Grosses Potenzial mit vertretbarem Kostenaufwand liegt heutzutage bei den betrieblichen Abläufen und Anpassungen im operativen Bereich. Dazu zählt auch die bessere Ausnutzung der bestehenden Infrastruktur.

Das Ziel der Arbeit ist die Optimierung der Fahrgastwechselzeiten. Dies geschieht im vorliegenden Bericht durch das Bereitstellen von freien Flächen im Fahrzeug und auf dem Bahnsteig sowie durch räumlich getrenntes Ein- und Aussteigen. Im Weiteren mit darauf abgestimmter Kundenlenkung und technischer Fahrunterstützung beim zielgenauen Anhalten. Nach Auswertung der Resultate und den gewonnenen Erkenntnissen aus den Beobachtungen können die drei Hypothesen aus der Aufgabenstellung vollumfänglich bestätigt werden. Die erste Hypothese, das räumlich getrennte Ein- und Aussteigen, wurde am intensivsten untersucht. Das vorgeschlagene Fahrzeuglayout der ISB Variante 2 schneidet besser ab als der bestehende FLIRT oder die ISB Variante 3 (ISBv3) mit je drei gleichwertigen Türen. Zur Unterstützung dieses Konzepts ist jedoch die zweite Hypothese, eine darauf abgestimmte Kundenlenkung, zentral. Dies ist in dieser Arbeit ersichtlich an den farblich definierten Zonen auf dem Bahnsteig und im Zug. Durch weitere Hinweise auf den Zuganzeigetafeln, wie beispielsweise der Besetzungsgrad der Fahrzeuge, oder einer Lausprecheransage zur Benutzung der definierten Flächen, wird der schnelle Fahrgastwechsel zusätzlich unterstützt.

Das Konzept des räumlich getrennten Ein- und Aussteigens stellt einen Paradigmenwechsel des etablierten Systems dar. Dennoch ist es unter Berücksichtigung des notwendigen zeitlichen Vorlaufs für die «Zürcher S-Bahn 2G» umsetzbar. Der Aufwand auf Infrastrukturseite hält sich im Vergleich zu Streckenausbauten im Rahmen. Für die Fahrzeuge können die geforderten Spezifikationen im Pflichtenheft der Ausschreibung aufgeführt werden. Eine hohe Türverfügbarkeit kann z.B. durch vollständig redundante Türantriebe erreicht werden. Die technische Unterstützung des Lokführers beim Anhalten in der geforderten Genauigkeit dürfte bis ins Jahr 2030 möglich sein.

Die Einführung des Konzepts gestaltet sich am einfachsten mit der Bestellung einer neuen Fahrzeugflotte, welche auf die neuen Anforderungen zugeschnitten ist. Bestehendes und inhomogenes Rollmaterial, insbesondere doppelstöckiges kann dafür nicht oder nur bedingt verwendet werden. Somit verkehren diese Züge weiterhin nach bestehendem Muster. Dennoch ist es möglich und auch empfehlenswert, parallel dazu ein neues Konzept einzuführen. Nebst der Optimierung des geographisch begrenzten Verkehrssystems Zürich kann es als Sprungbrett für eine umfassendere Einführung in anderen Regionen zu einem späteren Zeitpunkt dienen.

Die S-Bahn München hat mit der Spanischen Lösung entlang der Stammstrecke bereits ein ausgereiftes System zur Bewältigung hoher Fahrgastaufkommen. Ein Ausbau dieser Lösung bindet jedoch sehr hohe finanzielle Ressourcen. Eine Einführung von räumlich getrenntem Ein- und Aussteigen auf den Stationen mit Spanischer Lösung macht keinen Sinn. Auf den anderen Stationen entlang derselben Strecke ist es jedoch ebenso empfehlenswert wie in Zürich, da die gleichen Bedingungen des chaotischen Fahrgastwechsels vorherrschen. Die Münchner S-Bahn weist zudem den Vorteil einer homogenen Fahrzeugflotte auf, was die Umsetzbarkeit erleichtert.

10.5 Empfehlung an die SBB AG und den ZVV

Innovationen zeichnen sich dadurch aus, dass sie eine Verbesserung herbeiführen. Das Autorenteam empfiehlt deshalb die Weiterverfolgung der ISB Variante 2, welche im Kapitel 7.1.2 beschrieben ist. Dadurch können minimale Fahrgastwechselzeiten und ambitionöse Zugfolgezeiten erreicht werden. Der Aufwand in organisatorischer und finanzieller Hinsicht bei der Kundenlenkung hält sich im Vergleich zu Ausbauten auf Infrastrukturseite in Grenzen. Die Ergebnisse der Simulationen sollen anhand verschiedener Szenarien vertieft werden. Dazu ist unter Umständen die Lancierung eines Pilotprojekts denkbar.

Durch geeignete und abgestimmte Kommunikation sollen die Fahrgäste und Bevölkerung frühzeitig auf das neue Konzept vorbereitet werden.

10.6 Einstöckiges oder doppelstöckiges Rollmaterial?

Die von der SBB AG getroffenen Annahmen bildeten die Ausgangslage für die Erstellung des eigenen Fahrzeuglayouts. Deshalb wurde das Layout auch nur für einstöckiges Rollmaterial ausgelegt. Das Festlegen auf einstöckiges Rollmaterial ergibt sich aus folgenden Faktoren:

Doppelstöckiges Rollmaterial mit mehr als zwei Türen pro Wagenseite stellt erhöhte Anforderungen an die Konstruktion. Ohne ein dreitüriges Konzept hingegen kann die prognostizierte Nachfrage nicht bewältigt werden, da die Haltezeiten sonst zu lange ausfallen. Die Fahrgäste gelangen via Treppen, meist mit 180°-Wendungen ins Oberdeck. Dies wirkt sich negativ auf den Personenfluss im Fahrzeuginneren aus, führt zu Rückstauungen und hat einen massgeblichen Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit. Der Fahrgastwechsel kann deshalb bei einstöckigem Rollmaterial schneller als bei doppelstöckigem ablaufen. Dadurch können die Zugfolgezeiten verkürzt und das Fahrgastaufkommen auf mehr Züge verteilt werden. Ein Blick ins Ausland zeigt, dass die U-Bahn-Systeme von Metropolen und Megacities ausschliesslich auf einstöckiges Rollmaterial setzen. Doppelstöckige Züge können vor allem bei kurzen Bahnsteigen mehr Fahrgäste aufnehmen. Bei der Zürcher S-Bahn weisen die Bahnsteige im Kernbereich genügend Länge und Kapazität für einstöckiges Rollmaterial auf. Mit doppelstöckigem Rollmaterial können mehr Fahrgäste transportiert werden. Hierfür sind weniger Trassen bei gleicher Personenzahl notwendig. Die Haltezeiten verlängern sich jedoch.

10.7 Stand der Arbeit, weitere Schritte, Ausblick

Die Arbeit bildet bezüglich der Simulation von Personenströmen an der Schnittstelle Zug/ Bahnsteig und dem damit verbundenen Fahrgastwechsel in der vorliegenden Form einen sehr guten Stand ab. Die nächsten Schritte können im Variieren der Türbreiten oder dem Aufzeigen der technischen Entwicklung des unterstützenden Anhaltens bestehen. Zusätzlich ist ein erweiterter geographischer Perimeter zu betrachten, um die betrieblichen Aspekte vertiefen zu können.

Ein Variieren der Türbreiten zeigt eventuell noch bessere Fahrgastwechselzeiten oder Personenflüsse im Fahrzeuginneren auf. Dabei ist darauf zu achten, dass die Ein- und Ausstiegstüren aufeinander abgestimmt sein müssen. Die Beobachtungen der Simulationen lassen schliessen, dass Ausstiegstüren mit einer Breite von

1.40 Meter für den Abfluss einer ISB Variante 2 geeigneter sind, da dadurch bei hohem Einsteigeraufkommen das Fahrzeug schneller entleert werden kann. Wird hingegen die Einstiegstüre verbreitert, müssen die Ausstiegstüren nochmals weiter verbreitert werden. Andernfalls stockt je nach Fahrgastaufkommen der Abfluss. Die maximal zulässige lichte Weite der Türen eines Wagens aus statischer Sicht ist schlussendlich eine Funktion in Abhängigkeit der effektiven Wagenkastenbreite und -länge sowie der Anordnung der Drehgestelle.

Als ein weiterer Schritt ist eine Option mit doppelstöckigem Rollmaterial prüfenswert. Verfügt ein Wagen über drei Türen pro Seite, könnte durch getrenntes Ein- und Aussteigen, unter Umständen eine weitere Leistungssteigerung gegenüber der einstöckigen ISB erreicht werden. Denkbar wären dabei beispielsweise eine reine Stehplatzzone im Unterdeck für die Kurzpendler und Sitzplätze im Oberdeck für Fahrgäste mit längeren Wegstrecken.

Bezüglich der Kundenlenkung unterbreitete das Autorenteam Vorschläge, wie das empfohlene Ein-/ Ausstiegskonzept umgesetzt werden kann. Diese sollte weiter vertieft werden. Dabei steht insbesondere die Frage im Vordergrund, ob die Bodenmarkierungen zur Trennung von Warte- und freizuhaltenden Flächen ausreichend ist. Die Sichtbarkeit ist bei sehr grossen Fahrgastaufkommen eingeschränkt und bedarf daher der Unterstützung durch kundenlenkende Elemente auf Augenhöhe oder deckenseitig. Zudem müssen Interessensgruppen wie Seh- und Hörbehinderte ebenfalls adäquat informiert werden.

Das Konzept sollte auch für Systemunkundige, Gelegenheitsfahrende oder Touristen verständlich sein. Die überlagerte Benützung der Infrastruktur durch ISB- und ESB-Züge stellt wie in Kapitel 7.2 erwähnt aus Autorensicht keine Schwierigkeit dar. Dennoch ist es prüfenswert, ob die Ankunft der entsprechenden Zugsgattungen in die Infomonitore integriert werden können (vgl. Abb. 5-8 und Abb. 7-12).

10.8 Erkenntnisse aus dem Simulationstool PTV VISWALK

Während dem Simulationsaufbau offenbarten sich mehrere Herausforderungen bei der verwendeten Software, da diese nicht für die Anwendung der vorliegenden Arbeit entwickelt wurde. Zwar sind für Verkehrssimulationen öV-Fahrzeuge und Haltestellen hinterlegt, allerdings nur als «Blackbox», in der Personen ein- oder aussteigen. Für die untersuchten Fragestellungen dieser Arbeit war vor allem das Geschehen am Türquerschnitt, wie auch im Fahrzeuginneren, in Abhängigkeit vom Fahrzeuglayout, von Interesse. Trotzdem gab es immer eine Möglichkeit sich mit den bereitgestellten Funktionen des Simulationstools zu behelfen. Die Wagenkasten sowie der Innenraum der simulierten Fahrzeuge wurden beispielsweise mit verschiedenen Hindernissen nachgebaut. Das Öffnen der Türen nach einer gewissen Zeit erfolgte mittels Signalbarrieren und frei programmierbaren Lichtsignalanlagen, welche eigentlich für die Simulation im Strassenverkehr gedacht sind. Eine reibungslose Routenwahl der einzelnen Fahrgäste ist sehr wichtig, um unrealistische Blockierungen von Personengruppen in verschiedenen Bereichen auf dem Bahnsteig oder im Zugsinneren zu vermeiden. Ansonsten wären die erhaltenen Resultate kaum aussagekräftig. Das Platzieren von einzelnen Entscheidungsflächen, Zeitmessungen und anderen begehbaren Flächen entlang einer solchen Routenwahl, waren ebenso entscheidend für die vollständige Simulation. Daher wurde pro festgelegtem Sitz- oder Stehplatzbereich eine definierte Anzahl an Personen erzeugt, welche eine entsprechende Routenwahl zugewiesen bekamen. Wohlwissend, dass damit eine gewisse Zufälligkeit bereits im Vorfeld beim Simulationsdesign verloren ging, war schlussendlich das Gesamtverhalten aller simulierten Personen am Fahrgastwechsel vor und nach den Türquerschnitten von Wichtigkeit, da genau an ihnen die Zeitmessungen für den Fahrgastwechsel stattfanden. Wie bereits in Kapitel 9.1 aufgeführt, liefen die Simulationen allgemein zu schnell ab. Die Ursachen dafür finden sich im simultanen Verhalten sämtlicher Fahrgäste und den optimalen Abläufen während des gesamten Prozesses. Eine weitere Möglichkeit zur Anpassung der Simulation an die Realität, ohne einen Korrekturfaktor zu benutzen, liegt in der Geschwindigkeitsverteilung der simulierten Personen (vgl. Abb. 8-12).

Aufgrund der freien Einstiegsfläche bei der ISB können innert kurzer Zeit sehr viele Leute ungehindert einsteigen. Bei den Ausstiegstüren reichten bei gewissen Simulationsszenarien die 1.30 Meter breiten Türen nicht aus, um eine hohe Anzahl an austiegenden Personen durchzuschleusen. Es kam deshalb teilweise vor, dass die Ein- und Aussteiger aufeinander prallten. In der Realität kann die grosse «Pufferzone» im Einstiegsbereich beim Layout der ISB ein solches Aufeinandertreffen vermeiden.

Aus der zu Beginn durchgeführten Literaturrecherche zum Thema Simulation von Personenströmen beim Fahrgastwechsel stellte sich heraus, dass diesbezüglich weltweit Überlegungen stattfinden. Vielleicht ist es für die PTV GROUP Karlsruhe eine Option, diese offensichtliche Marktlücke zu schliessen. Dabei müsste das Tool um die Möglichkeit, ein spezifisches, ein- oder doppelstöckiges Fahrzeuglayout mit variabler Anzahl und Breite der Türen abzubilden, erweitert werden.

10.9 Lessons learned

Eine vertiefte Betrachtung der Hypothese 3 hätte den Rahmen dieser Arbeit strapaziert. Der betrachtete Streckenabschnitt sowie der Fokus auf den Zu- und Abfluss zum Zug mussten ebenfalls redimensioniert werden. Die Einarbeitung in das Simulationstool PTV VISWALK erforderte einen hohen Initialaufwand und konnte trotzdem dank der kompetenten Unterstützung der PTV Group Karlsruhe und den betreuenden Dozenten rasch erlernt werden. Das Tool wurde nicht für eine Simulation der Schnittstelle Zug/ Bahnsteig mit spezifischem Fahrzeuglayout konzipiert. Insofern stellt die vorliegende Arbeit eine Pionierleistung dar.

Die Entschädigung durch hervorragende Simulationsergebnisse und das Aneignen von Wissen einer weltweit etablierten Simulationssoftware wiegten schlussendlich aber um ein Vielfaches höher. Somit konnte der Hauptfokus der Arbeit auf das Wesentliche der Fragestellung innerhalb der drei Hypothesen gelegt werden.

11 Verzeichnisse

Sämtliche Abbildungen und Tabellen ohne Quellenangaben stammen von den Autoren.

11.1 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), „Perspektiven des schweizerischen Personenverkehrs bis 2030,“ Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Bern, 2006.
- [2] Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ), „VBZ Netzentwicklungsstrategie,“ Infras, Zürich, 2013.
- [3] Stadt Zürich, „Stadt Zürich, Hochbaudepartement,“ 2014. [Online]. Available: http://www.stadt-zuerich.ch/content/hbd/de/index/entwicklungsgebiete/zuerich_west/projekte_geplant/bahnhof_hardbruecke.html. [Zugriff am 02 04 2014].
- [4] B. Albert, Interviewee, *Rahmenbedingungen Zürcher S-Bahn 2G*. [Interview]. 29 04 2014.
- [5] SBB AG, „SBB: Zukünftige Projekte der Zürcher S-Bahn,“ 2014. [Online]. Available: <http://www.sbb.ch/sbb-konzern/sbb-als-geschaeftpartnerin/kantone/regionalverkehr/zuerich/zuercher-s-bahn/zukuenftige-projekte.html>. [Zugriff am 30 03 2014].
- [6] SBB Personenverkehr Operating, *Überarbeitete Annahmen Rollmaterial Zue2G*, Bern: SBB AG, 2013.
- [7] SBB Infrastruktur, „Zürcher S-Bahn 4. Teilergänzungen (4. TE). Künftiger Weiterausbau S-Bahn.,“ SBB Infrastruktur, Zürich, 2012.
- [8] U. A. B. Weidmann, „Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr,“ Dissertation ETH Nr. 10630, Zürich, 1994.
- [9] D. Helbing und P. Molnár, „Social force model for pedestrian dynamics,“ in *Physical Review E 51, Number 5*, 1995, pp. 4282-4286.
- [10] D. Economics, „Modelling Train & Passenger Capacity,“ Wellington NZ , 2012.
- [11] N. Langdom, C. McPherson und S. Knight Merz, „CLICSIM: SIMULATION OF PASSENGER CROWDING ON TRAINS AND AT STATIONS,“ Association for European Transport and Contributors, London, Melbourne, 2011.
- [12] S. Buchmüller, „Planung von Umsteigeanlagen,“ Zürich, 2005.
- [13] Z. Qi, H. Baoming und L. Dewei, „Modeling and simulation of passenger alighting and boarding movement in Beijing metro stations,“ School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China, 2007.
- [14] C. T. Y. C.-B. A. p. F. Sourd, „Modelling of pedestrian flows during dwelling: development of a simulator to evaluate rolling stock and platform flow performance,“ Frankreich, 2011.
- [15] B. Hürzeler , A. Bernet und H. Kessler, Interviewees, *Bachelorarbeit Zürcher S-Bahn 2G, Protokoll*. [Interview]. 27 02 2014.
- [16] Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), „ZVV,“ 2014. [Online]. Available: <http://www.zvv.ch/de/linien-und-zonen/zvv-netzplan.html>. [Zugriff am 03 02 2014].
- [17] S. Binder, Interviewee, *Vorgaben Zürcher S-Bahn 2G*. [Interview]. 07 04 2014.
- [18] UNSD Demographic Statistics, „UN Data,“ 2010. [Online]. Available: <http://data.un.org/Data.aspx?d=POP&f=tableCode%3A240>. [Zugriff am 18 04 2014].
- [19] R. Schwandl, „Urban Rail,“ 2013. [Online]. Available: <http://www.urbanrail.net/as/bang/bangkok.htm>. [Zugriff am 21 04 2014].

- [20] Siemens, „Bangkok - Eine neue Ära eines schienengebundenen Nahverkehrs,“ [Online]. Available: http://www.siemens.com/press/pool/de/events/industry/mobility/airport-rail-link-2009/Hintergrundpapier_Ueberblick_Complete_Transportation_Projekte_Bangkok_DE.pdf. [Zugriff am 19 04 2014].
- [21] Railway Technology, „Bangkok Metro,“ 2014. [Online]. Available: <http://www.railway-technology.com/projects/bangkok-metro/>. [Zugriff am 21 04 2014].
- [22] Siemens, „Fact Sheet - Airport Rail Link,“ [Online]. Available: http://www.siemens.com/press/pool/de/events/industry/mobility/airport-rail-link-2009/hintergrundpapier_airport_rail_link_de.pdf. [Zugriff am 21 04 2014].
- [23] M. Gödde, Interviewee, *Expertengespräch DB Regio AG München*. [Interview]. 12 02 2014.
- [24] Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), „Der ZVV in Kürze Ausgabe 2013. Fahrgastfrequenzen S-Bahn, Stadtgrenze Zürich,“ 2012. [Online]. Available: http://www.zvv.ch/opencms/export/sites/default/common-images/content-image-gallery/unternehmen-pdfs/GB_inKuerze_2012.pdf. [Zugriff am 28 02 2014].
- [25] E. Bautsch, *E-Mail zu Anfrage bezüglich Türverfügbarkeit*, DB Regio AG München, 2014.
- [26] H. K. Bareiss, *Angebotsplanung für den öffentlichen Personenverkehr. Beförderungsgeschwindigkeit.*, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW Winterthur: Vorlesung Studiengang Verkehrssysteme, 2010.
- [27] DB Netz AG, „Ril 301 Signalbuch,“ 12 04 2012. [Online]. Available: http://fahrweg.dbnetze.com/file/3179912/data/rw_301_bekanntgabe_5.pdf. [Zugriff am 03 03 2014].
- [28] D. Esters, „Neue Trends in der Fahrplanauskunft,“ *El Eisenbahningenieur*, pp. 57-58, 09 2013.
- [29] SBB AG, „Die SBB in Zahlen und Fakten,“ 2013. [Online]. Available: <http://www.sbb.ch/sbb-konzern/ueber-die-sbb/zahlen-und-fakten/bahnhoefe.html>. [Zugriff am 21 04 2014].
- [30] Regionalverkehr Bern-Solothurn RBS, „Zahlen und Fakten,“ 2014. [Online]. Available: <http://www.rbs.ch/unternehmen/portrait/zahlen-und-fakten>. [Zugriff am 21 04 2014].
- [31] R. B.-S. R. Kundendienst, Interviewee, *Information zu den Sperrflächen auf den Bahnsteigen*. [Interview]. 22 04 2014.
- [32] S. Buchmüller, Interviewee, *Bachelorarbeit Zürcher S-Bahn 2G, Protokoll*. [Interview]. 27 02 2014.
- [33] D. Bürgi und M. Moser, „Optimierung Personenflüsse Bahnhof Zürich,“ Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW), Winterthur, 2013.
- [34] PTV AG, „PTV VISSIM 6, Benutzerhandbuch,“ PTV AG, Karlsruhe, 2014.
- [35] S. Hoogendoorn, P. Bovy und W. Daamen, „Microscopic Pedestrian Wayfinding and Dynamics Modelling,“ in *Schreckenberg and Sharma*, 2002, pp. 123-154.
- [36] A. Steiner, „Modellierung und Simulation von Verkehrssystemen,“ Winterthur, 2014.
- [37] A. Johansson, D. Helbing und P. K. Shukla, „Specification of a Microscopic Pedestrian Model by Evolutionary Adjustment to Video Tracking Data,“ World Scientific Publishing Company, Germany, Hungary, 2008.
- [38] S. Buchmüller, „Entwicklung und Implementation eines Haltezeitberechnungsmodells für Regionalverkehrsfahrzeuge (HZM),“ ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Zürich, 2008.
- [39] Stadler Rail AG, *SBB (Tilo) - FLIRT RABe 524*, Bussnang, 2009.
- [40] P. Molnar, „Modellierung und Simulation der Dynamik von Fussgängerströmen,“ Institut der Theoretischen Physik der Universität Stuttgart, Stuttgart, 1995.

11.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Markierte Zonen für Ein- und Aussteiger, am Beispiel eines FLIRT im Bahnhof Zürich Museumstrasse (Fotomontage).	10
Abb. 2-1: Entwicklung der Personenverkehrsleistung im öV in der gesamten Schweiz nach Szenarien bis 2030 im Vergleich zum Basisjahr 2000 (100 %).	13
Abb. 2-2: Entwicklung des Verkehrsaufkommens beim öV in der Stadt Zürich im Zeitraum 2010-2030. [2, p. 24].	14
Abb. 2-3: Konzept der «Zürcher S-Bahn 2G» mit innerer und äusserer S-Bahn [7, p. 33].	15
Abb. 3-1: Prozessablauf für die Erstellung dieser Bachelorarbeit.	18
Abb. 4-1: Prozessablauf eines Haltevorganges und den gegenseitigen Abhängigkeiten [8, p. 10], bearbeitet.	21
Abb. 4-2: Wesentliche Einflussgrössen des Fahrgastwechsels bei der S-Bahn. Die Priorisierung der Einflussgrössen wurde aus Autorensicht absteigend nach deren Wichtigkeit sortiert. Die fett gedruckten Einflussgrössen sind dabei als massgebend eingestuft und werden bei den Simulationen sowie dem weiteren Verlauf dieser Arbeit berücksichtigt.	24
Abb. 5-1: Liniennetzplan des ganzen Zürcher Verbundgebiets [16].	25
Abb. 5-2: Übersicht über den untersuchten Streckenabschnitt im Kernbereich.	26
Abb. 5-3: Gleisstopologie im Bahnhof Hardbrücke mit den drei Bahnsteigen.	27
Abb. 5-4: Links ist der Bahnsteig mit Gleis 1 abgebildet. Auf dem rechten Bild fährt die S7 aus Oerlikon kommend auf Gleis 2 ein.	27
Abb. 5-5: Via Treppen und Lift gelangt man von der Hardbrücke zu den Bahnsteigen. Auf der Hardbrücke bestehen Umsteigemöglichkeiten zu städtischen Buslinien.	27
Abb. 5-6: Die Züge auf Gleis 4 verkehren weiter westwärts in Richtung Altstetten.	28
Abb. 5-7: Der unterirdische Bahnhof Museumstrasse mit den vier Durchgangsgleisen.	28
Abb. 5-8: Anzeigemonitore auf den Bahnsteigen im Bahnhof Museumstrasse zeigen die Ankunft auf dem jeweiligen Gleis an.	29
Abb. 5-9: Der Zug fährt von Hardbrücke kommend in den Bahnhof Museumstrasse in das Gleis 43 ein. Das Bild rechts zeigt die Publikumsanlagen mit den Personenaufgängen zum Zürcher Hauptbahnhof.	29
Abb. 5-10: Im Bahnhof Stadelhofen verzweigen sich die Linien in Richtung Stettbach und Tiefenbrunnen.	30
Abb. 5-11: Einfahrt in Gleis 3 erlaubt nur eine Weiterfahrt in Richtung Stettbach. In Bild rechts ist die einspurige Einfahrt aus Tiefenbrunnen in den Bahnhof Stadelhofen abgebildet.	30
Abb. 5-12: Die Gleise 2 und 3 sind nur über Unter- und Überführungen erreichbar. Der Bahnhofplatz bildet einen wichtigen Umsteigeknoten in städtischen Verkehrsnetz.	30
Abb. 5-13: Der Bahnhof Stettbach besteht lediglich aus den beiden Hauptgleisen.	31
Abb. 5-14: Der unterirdisch angeordnete Bahnhof dient als wichtiger Umsteigepunkt zu den Tram- und Buslinien.	31
Abb. 5-15: Signalisierung am Beispiel einer S3 Richtung Wetzikon im Bahnhof Hardbrücke.	32
Abb. 5-16: Die nachfolgenden Signale bis zum Bahnhof Museumstrasse.	33
Abb. 6-1: Liniennetzplan des Schienennahverkehrs in Bangkok [19].	34
Abb. 6-2: Das Trasse des Skytrains verläuft komplett auf Viadukten hoch über dem Grund [19].	35
Abb. 6-3: Ausrüstung der Bahnsteige mit automatischen Türschleusen zum Zug [19].	35
Abb. 6-4: Liniennetzplan der S-Bahn München [25].	37
Abb. 6-5: Der Aussenbahnsteig (links) und der Mittelbahnsteig (rechts) bei der S-Bahn-Station Hauptbahnhof erlauben einen schnellen Fahrgastwechsel.	38
Abb. 6-6: Bei Bahnsteigen ohne Spanische Lösung offenbaren sich die Probleme der gegenseitigen Behinderung von Ein- und Aussteigern.	38
Abb. 6-7: Die gemessenen Fahrgastwechselzeiten t_{hf} und Haltezeiten zur morgendlichen und abendlichen HVZ.	39
Abb. 6-8: Die gemessenen Fahrgastwechselzeiten t_{hf} und Haltezeiten zur morgendlichen sowie abendlichen HVZ in entgegengesetzter Richtung. Der Messpunkt Ostbahnhof entfällt teilweise aufgrund wendenden S-Bahn-Linien. .	40
Abb. 6-9: Prozess eines haltenden Zuges, beobachtet in der Station «Hauptbahnhof». In den beiden linken Spalte sind die zeitlichen Zwischenschritte in Sekunden angegeben.	41

Abb. 6-10: Hindernisfreie Fläche bei den Ausstiegsbahnsteigen sorgt für einen widerstandslosen Personenfluss, hier im Bahnhof Marienplatz.	42
Abb. 6-11: Der Fahrgastwechsel für den abfahrbereiten Zug hat bereits stattgefunden, die Personendichte auf dem Bahnsteig ist dennoch hoch.	42
Abb. 6-12: Lichtsignale «Zp 9» und «Zp 10» zur fahrdienstlichen Abfertigung des Zuges [27].	43
Abb. 6-13: Haltetafeln dienen dem Triebfahrzeugführer und den Einstiegenden als Halteort für die jeweilige Zuglänge. Dazu sind an der Bahnsteigkante zusätzliche Hinweistafeln montiert.	43
Abb. 6-14: Übersichtliche und verständliche Darstellung der Fahrgastinformationen auf den Bahnsteigmonitoren.	44
Abb. 6-15: Situation am Bahnhof RBS Bern. Die Bilder zeigen exemplarisch, wie durch gezielte Kundenlenkung und Bodenmarkierungen auf engem Raum ein reibungsloser Betrieb abgewickelt wird.	45
Abb. 6-16: Eingangsbereich eines DPZ.	46
Abb. 6-17: Eingangsbereich eines DTZ.	47
Abb. 6-18: Eingangsbereich eines FLIRT.	47
Abb. 6-19: Eingangsbereich eines modernen Regio-Dosto.	48
Abb. 6-20: Der Eingangsbereich am Zugschluss und in der Mitte einer BR 423.	48
Abb. 6-21: Regressionsgeraden, die den Zusammenhang zwischen Fahrgastwechselzahl F und der Türleistungsfähigkeit L aufzeigen.	52
Abb. 6-22: Regressionsgeraden, die den Zusammenhang zwischen Fahrgastwechselzahl und der spezifischen Türleistungsfähigkeit L_s aufzeigen.	53
Abb. 7-1: Fahrzeuglayout eines Zwischenwagens der ISB, Variante 1, alle Masse in Millimeter.	55
Abb. 7-2: Fahrzeuglayout eines Zwischenwagens der ISB, Variante 2, alle Masse in Millimeter.	57
Abb. 7-3: Fahrzeuglayout eines Endwagens der ISB, Variante 2, alle Masse in Millimeter. Direkt neben den Einstiegstüren steht ein Multifunktionsabteil für Rollstühle, Kinderwagen oder Fahrräder bereit.	57
Abb. 7-4: Vierteilige ISB mit Bodenmarkierungen. Die roten Flächen sind jeweils aus Sicht Passagiere im oder vor dem Fahrzeug freizuhalten.	58
Abb. 7-5: Vierteilige Züge der ISB von Einfach- bis hin zur Vierfachtraktion im Bahnhof Hardbrücke.	60
Abb. 7-6: ISB-Züge in unterschiedlicher Anzahl im Bahnhof Museumstrasse.	60
Abb. 7-7: Eine Vierfachtraktion im Gleis 3 des Bahnhofs Stadelhofen. Die Kurvenradien haben einen Einfluss auf die Anordnung der Wartezonen.	61
Abb. 7-8: Der zweigleisige Bahnhof Stettbach mit symmetrisch auf die Aufgänge gelegten Halteorten bei Doppel- oder Vierfachtraktion.	62
Abb. 7-9: Die Bahnsteige werden wie hier am Beispiel Museumstrasse in spezielle Zonen unterteilt (Fotomontage).	63
Abb. 7-10: Grüne Bereiche als Einsteigezone, rote freizuhaltende Zonen für die aussteigenden Fahrgäste (Fotomontage).	64
Abb. 7-11: Bei Mittelbahnsteigen sind die Zonen an den beiden Bahnsteigkanten aufeinander abgestimmt (Fotomontage).	64
Abb. 7-12: Für den S-Bahnverkehr optimierte Anzeigemonitore (Fotomontage).	65
Abb. 7-13: Eine Ausstiegstüre mit grüner Bodenmarkierung und grünem Richtungspfeil oberhalb des Türrahmens (Fotomontage).	65
Abb. 7-14: Die Personen werden im Fahrzeuginneren mittels Richtungspfeilen zu den Ausstiegstüren geleitet (Fotomontage).	66
Abb. 7-15: Fehlende Türtaster und ein rotes Verbotskreuz über den Türflügeln kennzeichnen eine reine Ausstiegstüre (Fotomontage).	66
Abb. 8-1: Gesamtprozess zum Simulationsvorgehen der untersuchten Fragestellung [36, p. 24], bearbeitet.	68
Abb. 8-2: Veranschaulichung der Beschleunigungskomponenten durch direkte Interaktion von Fussgängern [36, p. 38].	70
Abb. 8-3: Personenfluss (Mittelwert) an den Türquerschnitten des FLIRT, in Abhängigkeit der Ein-/ Aussteigerzahl, Bahnsteighöhe P55 [38, p. 20].	73
Abb. 8-4: Personenfluss (Mittelwert) an den Türquerschnitten des FLIRT, in Abhängigkeit der Ein-/ Aussteigerzahl, Beobachtungen März 2014.	73
Abb. 8-5: Layout eines Zwischenwagens eines vierteiligen FLIRT [39].	74

Abb. 8-6: AutoCAD-Datei, aufbereitetes Layout des FLIRT für die Simulation. 74

Abb. 8-7: Zeitliche Abstufung der Prozesse im PTV VISWALK des ersten Verifikationsmodells des FLIRT (Fahrgastzahl 16 Personen). 75

Abb. 8-8: Zeitliche Abstufung der Prozesse im PTV VISWALK des zweiten Verifikationsmodells des FLIRT (Fahrgastzahl 30 Personen). 75

Abb. 8-9: Benutzeroberfläche von PTV VISWALK, erklärt anhand des ersten Verifikationsmodells des FLIRT. 76

Abb. 8-10: Gewählte Modellparameter zur Verifikation (Fussgängerklasse/ Fussgängertypen). 77

Abb. 8-11: Gewählte Modellparameter zur Verifikation (Fussgängerzusammensetzung/ Relative Belastung). 77

Abb. 8-12: Verteilung der Wunschgeschwindigkeit für 30- bis 50-jährige Frauen und Männer. 77

Abb. 8-13: Gewählte Modellparameter des Laufverhalten zur Verifikation (Default). 77

Abb. 8-14: Boxplots aus 20 Simulationsläufen der zwei Validierungsmodelle FLIRT, bei einer Fahrgastzahl von 16 und 30 Personen. 78

Abb. 8-15: Erweiterung des Verifikationsmodells FLIRT. 79

Abb. 8-16: Angepasste Parameter am Laufverhalten vor dem Einsteigen, Verifikationsmodell FLIRT. 79

Abb. 8-17: Zeitverteilungen der verschiedenen Flächen, Verifikationsmodell FLIRT. 80

Abb. 8-18: Zeitliche Abstufung der Prozesse im PTV VISWALK des finalen Verifikationsmodells des FLIRT (Fahrgastzahl 29 Personen). 80

Abb. 8-19: Boxplot aus 20 Simulationsläufen des erweiterten Verifikationsmodells FLIRT bei einer Fahrgastzahl von 20 Personen. 81

Abb. 8-20: Vergleich Reale Daten und Simulation aus der Validierung (Mittelwerte). 82

Abb. 8-21: Vergleich reale Daten und Simulation aus der Validierung (Mittelwerte) korrigiert durch einen Vorfaktor. ... 82

Abb. 8-22: Die ISB Variante 3 leitet sich vom angepassten Wagenlayout der ISB-Variante 2, gemäss Vorgaben der SBB AG mit drei Türen pro Wagenseite, je einer lichte Weite von 1.40 m und ohne Türrestriktionen ab. 87

Abb. 8-23: Simulationsaufbau im Tool PTV VISWALK, ISB Zug. 90

Abb. 8-24: Simulationsaufbau im Tool PTV VISWALK, ISBv3 Zug. 90

Abb. 8-25: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISB und ISBv3 Zug, Szenario 4, Fahrgastwechsel mit 130 Ein-/ Aussteiger, F=130. 90

Abb. 8-26: 3D-Simulationsaufnahme der Vergleichssimulation ISB/ ISBv3 Zug. Zu sehen sind drei Wagen der ISB mit getrenntem Ein- und Ausstiegskonzept. 91

Abb. 8-27: Verteilung der Personen aus den einzelnen Wagen der ISB-Vierfachtraktion am Bahnhof Hardbrücke auf die fünf zur Verfügung stehenden Treppen. 93

Abb. 8-28: Boxplot aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Zeit vom Verlassen der Fahrzeuge bis zum vollständigen Räumen des Bahnsteigs im Bahnhof Hardbrücke, Gleis 3. 93

Abb. 8-29: 3D-Simulationsaufnahme am Bahnhof Hardbrücke mit dem Layout der ISB, Vierfachtraktion, getrenntes Ein-/ Ausstiegskonzept. Zu sehen ist die Treppe 5, welche zur Hardbrücke hinauf führt. 94

Abb. 8-30: 3D-Simulationsaufnahme am Bahnhof Hardbrücke mit dem Layout der ISB, Vierfachtraktion, getrenntes Ein-/ Ausstiegskonzept. Zu sehen sind die Treppen 2 bis 5 sowie drei der vier ISB-Einheiten. 94

Abb. 9-1: Mittelwerte der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ eines Wagens FLIRT (2 Türen), ISB und ISBv3 (3 Türen) aus den Simulationen. Insgesamt wurden 18 verschiedene Szenarien betrachtet. 96

Abb. 9-2: Relativer Vergleich der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ zwischen der ISB und der ISBv3. Bei 0 % sind die Zeiten identisch. Bei allen Szenarien mit positiven Balken ist die ISB gegenüber der ISBv3 besser. Insgesamt schneidet die ISB 11 mal besser ab. 96

Abb. 12-1: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT nach erfolgtem Fahrgastwechsel, F=100 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 114

Abb. 12-2: Verteilung der Fahrgäste in der ISB nach erfolgtem Fahrgastwechsel, F=100 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 1.90 m. 114

Abb. 12-3: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 1, maximale Einsteiger, F=100. 114

Abb. 12-4: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor dem Fahrgastwechsel, F=100 Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 115

Abb. 12-5: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor dem Fahrgastwechsel, F=100 Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 115

Abb. 12-6: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 2, maximale Aussteiger, F=100. 115

Abb. 12-7: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 3, maximaler Fahrgastwechsel, F=200. 116

Abb. 12-8: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT nach dem Fahrgastwechsel, F=130 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 117

Abb. 12-9: Verteilung der Fahrgäste in der ISB nach dem Fahrgastwechsel, F=130 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m. 117

Abb. 12-10: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 4, Lastrichtung HVZ 1 (morgens), F=130. 117

Abb. 12-11: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=120 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 118

Abb. 12-12: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=120 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m. 118

Abb. 12-13: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 5, Lastrichtung HVZ 2 (morgens), F=120. 118

Abb. 12-14: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor dem Fahrgastwechsel, F=130 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 119

Abb. 12-15: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor dem Fahrgastwechsel, F=130 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m. 119

Abb. 12-16: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 6, Lastrichtung HVZ 1 (abends), F=130. 119

Abb. 12-17: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=120 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 120

Abb. 12-18: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=120 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m. 120

Abb. 12-19: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 7, Lastrichtung HVZ 2 (abends), F=120. 120

Abb. 12-20: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT nach dem Fahrgastwechsel, F=90 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 121

Abb. 12-21: Verteilung der Fahrgäste in der ISB nach dem Fahrgastwechsel, F=90 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 1.90 m. 121

Abb. 12-22: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 8, 90% Einsteiger, F=90. 121

Abb. 12-23: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT nach dem Fahrgastwechsel, F=80 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 122

Abb. 12-24: Verteilung der Fahrgäste in der ISB nach dem Fahrgastwechsel, F=80 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 1.90 m. 122

Abb. 12-25: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 9, 80% Einsteiger, F=80. 122

Abb. 12-26: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT nach dem Fahrgastwechsel, F=70 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 123

Abb. 12-27: Verteilung der Fahrgäste in der ISB nach dem Fahrgastwechsel, F=70 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 1.90 m. 123

Abb. 12-28: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 10, 70% Einsteiger, F=70. 123

Abb. 12-29: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor dem Fahrgastwechsel, F=80 Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 124

Abb. 12-30: Verteilung der Fahrgäste in der ISB nach dem Fahrgastwechsel, F=70 Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 124

Abb. 12-31: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 11, 80% Aussteiger, F=80. 124

Abb. 12-32: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=160 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 125

Abb. 12-33: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=160 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m. 125

Abb. 12-34: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 12, Fahrgastwechsel mit 160 Ein-/ Aussteiger, F=160. 125

Abb. 12-35: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=140 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 126

Abb. 12-36: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=140 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m. 126

Abb. 12-37: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 13, Fahrgastwechsel mit 140 Ein-/ Aussteiger, F=140. 126

Abb. 12-38: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=120 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 127

Abb. 12-39: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=120 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m. 127

Abb. 12-40: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 14, Fahrgastwechsel mit 120 Ein-/ Aussteiger, F=120. 127

Abb. 12-41: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=100 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 128

Abb. 12-42: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=100 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m. 128

Abb. 12-43: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 15, Fahrgastwechsel mit 100 Ein-/ Aussteiger, F=100. 128

Abb. 12-44: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=80 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 129

Abb. 12-45: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=80 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m. 129

Abb. 12-46: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 16, Fahrgastwechsel mit 80 Ein-/ Aussteiger, F=80. 129

Abb. 12-47: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=60 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 130

Abb. 12-48: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=60 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m. 130

Abb. 12-49: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 17, Fahrgastwechsel mit 60 Ein-/ Aussteiger, F=60. 130

Abb. 12-50: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=40 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m. 131

Abb. 12-51: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=40 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m. 131

Abb. 12-52: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 18, Fahrgastwechsel mit 40 Ein-/ Aussteiger, F=40. 131

Abb. 12-53: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=100 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m. 132

Abb. 12-54: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 1, Fahrgastwechsel mit 100 Einsteiger, F=100. 132

Abb. 12-55: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=100 Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m..... 133

Abb. 12-56: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{n,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 2, Fahrgastwechsel mit 100 Aussteiger, F=100. 133

Abb. 12-57: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=200 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m. 134

Abb. 12-58: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{n,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 3, Fahrgastwechsel mit 200 Ein-/ Aussteiger, F=200. 134

Abb. 12-59: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=130 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m. 135

Abb. 12-60: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{n,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 4, Fahrgastwechsel mit 130 Ein-/ Aussteiger, F=130. 135

Abb. 12-61: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=120 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m. 136

Abb. 12-62: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{n,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 5, Fahrgastwechsel mit 120 Ein-/ Aussteiger, F=120. 136

Abb. 12-63: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=130 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m. 137

Abb. 12-64: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{n,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 6, Fahrgastwechsel mit 130 Ein-/ Aussteiger, F=130. 137

Abb. 12-65: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=120 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m. 138

Abb. 12-66: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{n,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 7, Fahrgastwechsel mit 120 Ein-/ Aussteiger, F=120. 138

Abb. 12-67: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=90 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m..... 139

Abb. 12-68: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{n,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 8, Fahrgastwechsel mit 90 Einsteiger, F=90. 139

Abb. 12-69: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=80 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m..... 140

Abb. 12-70: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{n,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 9, Fahrgastwechsel mit 80 Einsteiger, F=80. 140

Abb. 12-71: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=70 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m..... 141

Abb. 12-72: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{n,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 10, Fahrgastwechsel mit 70 Einsteiger, F=70..... 141

Abb. 12-73: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor erfolgtem Fahrgastwechsel. F=80 Aussteiger Die lichte Weite, welche zum Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m..... 142

Abb. 12-74: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{n,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 11, Fahrgastwechsel mit 80 Aussteiger, F=80. 142

Abb. 12-75: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=160 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m. 143

Abb. 12-76: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{n,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 12, Fahrgastwechsel mit 160 Ein-/ Aussteiger, F=160. 143

Abb. 12-77: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=140 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m. 144

Abb. 12-78: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{n,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 1, Fahrgastwechsel mit 140 Ein-/ Aussteiger, F=140. 144

Abb. 12-79: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=120 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m. 145

Abb. 12-80: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 14, Fahrgastwechsel mit 120 Ein-/ Aussteiger, F=120. 145

Abb. 12-81: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=100 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m. 146

Abb. 12-82: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 15, Fahrgastwechsel mit 100 Ein-/ Aussteiger, F=100. 146

Abb. 12-83: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=80 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m. 147

Abb. 12-84: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 16, Fahrgastwechsel mit 80 Ein-/ Aussteiger, F=80. 147

Abb. 12-85: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=60 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m. 148

Abb. 12-86: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 17, Fahrgastwechsel mit 60 Ein-/ Aussteiger, F=60. 148

Abb. 12-87: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=40 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m. 149

Abb. 12-88: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 18, Fahrgastwechsel mit 40 Einsteiger, F=40. 149

11.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Übersicht der eingesetzten Simulationstools aus der Literaturrecherche. 23

Tabelle 6-1: Vergleich des bestehenden Rollmaterials bei der Zürcher S-Bahn inklusive FLIRT, BR 423 der S-Bahn München sowie des MRT aus Bangkok. 49

Tabelle 6-2: Übersicht der durchgeführten Messungen von Fahrgastwechseln auf den verschiedenen Rollmaterialtypen. 50

Tabelle 7-1: Kennwerte der Variante 1 einer ISB. 56

Tabelle 7-2: Kennwerte der Variante 2 einer ISB. 58

Tabelle 8-1: Mittelwerte und Median aus den Beobachtungen beim FLIRT und die daraus abgeleiteten Kennwerte L und L_s 72

Tabelle 8-2: Abgeleitete Fahrgastwechselzeiten $t_{h,f}$ aus der Personenflusskurve des FLIRT, blaue Kurve (Belegungsgrad < 60 %). 74

Tabelle 8-3: Versuchsanordnung der Simulationen mit Fahrgastzahlen von F=10 bis F=60. 81

Tabelle 8-4: Simulationsplan zum Performancevergleich FLIRT und ISB (Wagen). 83

Tabelle 8-5: Spezifische Türbelastung beim FLIRT und bei der ISB. Die lichte Weite der Türöffnung variiert bei der ISB je nach Szenario aufgrund der getrennten Nutzung der Ein-/ Ausstiegstüren. 85

Tabelle 8-6: Kennwerte $t_{h,f}$, L und L_s für die Vergleichssimulationen FLIRT-/ ISB-Wagen. Grün markiert sind diejenigen Kennzahlen, bei denen die ISB gegenüber dem FLIRT besser abschneidet. Die Werte der Spalten Leistungsfähigkeit L sind sehr hoch, da bei diesem Kennwert die effektive Anzahl Türen, resp. die zur Verfügung stehende lichte Weite der Türöffnungen gemäss Formel 4.4 nicht berücksichtigt wird. 86

Tabelle 8-7: Spezifische Türbelastung bei der ISB und der ISBv3. Die lichte Weite der Türöffnung variiert bei der ISB je nach Szenario aufgrund der getrennten Nutzung der Ein-/ Ausstiegstüren. 88

Tabelle 8-8: Kennwerte $t_{h,f}$, L und L_s für die Vergleichssimulationen ISB-/ ISBv3-Wagen. Grün markiert sind diejenigen Kennzahlen, bei denen die ISB gegenüber der ISBv3 besser abschneidet. Die Werte der Spalten Leistungsfähigkeit L sind sehr hoch, da bei diesem Kennwert die effektive Anzahl Türen, resp. die zur Verfügung stehende lichte Weite der Türöffnungen gemäss Formel 4.4 nicht berücksichtigt wird. 89

Tabelle 8-9: Vergleich der Fahrgastwechselzeit Wagen- und Zugsimulation zwischen der ISB und der ISBv3. 91

Tabelle 8-10: Performancegrösse L und L_s für das Szenario 4 der Zugsimulation. 91

Tabelle 8-11: Belastung der fünf Treppen am Bahnhof Hardbrücke Gleis 3 für das Szenario 4 einer Vierfachtraktion der ISB. 93

Tabelle 9-1: Vergleich der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ (Mittelwert) der drei Fahrzeugtypen ISB, SIBv3 und FLIRT. Grün markiert sind die jeweils besten Werte pro simuliertem Szenario..... 97

Tabelle 10-1: Kalkulation des prognostiziertes Fahrgastaufkommen..... 99

Tabelle 12-1: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 1. Die erweiterte Zeitstaffelung beim ISB ist nötig, damit die Stehplätze Warten Prio 2 erst zum Schluss des Fahrgastwechsels belegt werden (Flaschenhals)..... 114

Tabelle 12-2: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 2. 115

Tabelle 12-3: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 3. 116

Tabelle 12-4: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 4. 117

Tabelle 12-5: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 5. 118

Tabelle 12-6: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 6. 119

Tabelle 12-7: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 7. 120

Tabelle 12-8: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 8. 121

Tabelle 12-9: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 9. 122

Tabelle 12-10: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 10. 123

Tabelle 12-11: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 11. 124

Tabelle 12-12: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 12. 125

Tabelle 12-13: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 13. 126

Tabelle 12-14: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 14. 127

Tabelle 12-15: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 15. 128

Tabelle 12-16: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 16. 129

Tabelle 12-17: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 17. 130

Tabelle 12-18: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 18. 131

Tabelle 12-19: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 1, ISBv3. 132

Tabelle 12-20: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 2, ISBv3. 133

Tabelle 12-21: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 3, ISBv3. 134

Tabelle 12-22: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 4, ISBv3. 135

Tabelle 12-23: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 5, ISBv3. 136

Tabelle 12-24: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 6, ISBv3. 137

Tabelle 12-25: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 7, ISBv3. 138

Tabelle 12-26: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 8, ISBv3. 139

Tabelle 12-27: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 9, ISBv3. 140

Tabelle 12-28: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 10, ISBv3. 141

Tabelle 12-29: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 11, ISBv3. 142

Tabelle 12-30: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 12, ISBv3. 143

Tabelle 12-31: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 13, ISBv3. 144

Tabelle 12-32: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 14, ISBv3. 145

Tabelle 12-33: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 15, ISBv3. 146

Tabelle 12-34: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 16, ISBv3. 147

Tabelle 12-35: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 17, ISBv3. 148

Tabelle 12-36: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 18, ISBv3. 149

12 Anhang

12.1 Simulationsdesign FLIRT-/ ISB-Wagen

12.1.1 Szenario 1: Maximale Einsteiger

Das Szenario 1 ist unter anderem im Bahnhof Museumsstrasse zur morgendlichen HVZ denkbar. Wie die Aufteilung der Personen (Einsteiger) im Fahrzeuginneren erfolgte, ist in den Abb. 12-1 und Abb. 12-2 zu sehen.

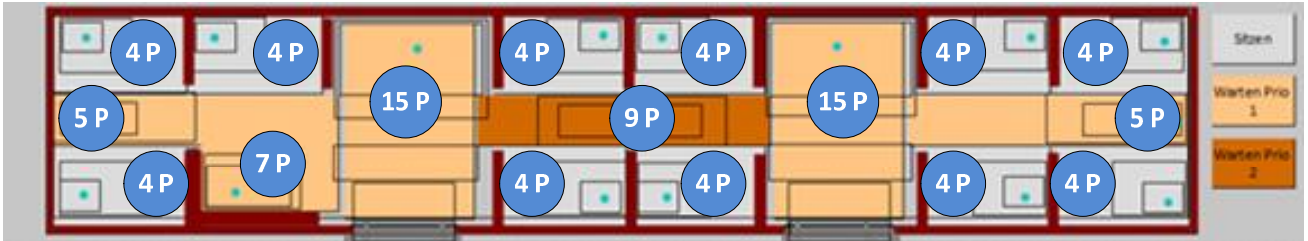


Abb. 12-1: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT nach erfolgtem Fahrgastwechsel, F=100 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

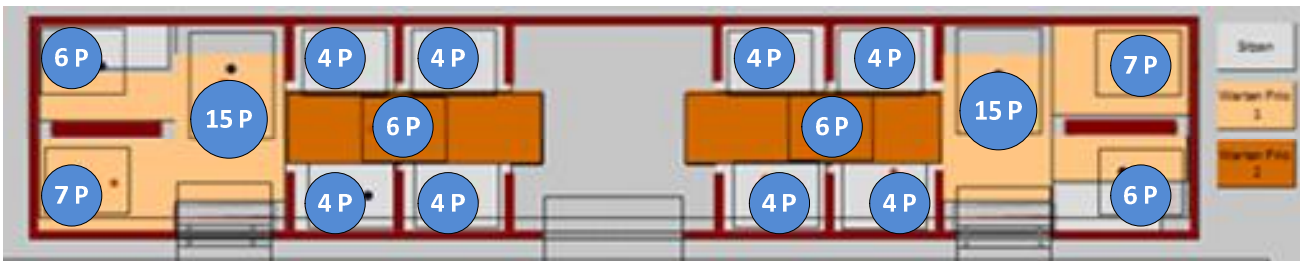


Abb. 12-2: Verteilung der Fahrgäste in der ISB nach erfolgtem Fahrgastwechsel, F=100 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 1.90 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-4	Erzeugen Einsteiger Sitzen	Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1+2	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
20-30	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 2

Tabelle 12-1: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 1. Die erweiterte Zeitstaffelung beim ISB ist nötig, damit die Stehplätze Warten Prio 2 erst zum Schluss des Fahrgastwechsels belegt werden (Flaschenhals).

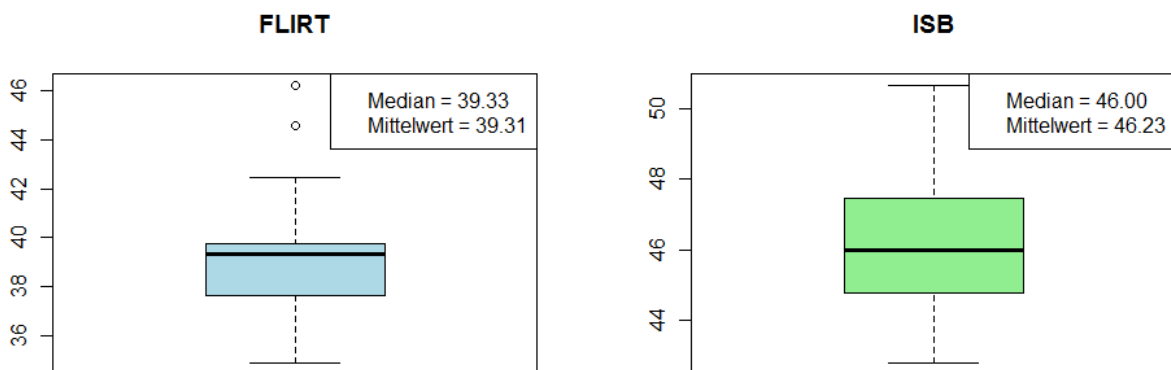


Abb. 12-3: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 1, maximale Einsteiger, F=100.

12.1.2 Szenario 2: Maximale Aussteiger

Das Szenario 2 soll einen Bahnhof wie Winterthur zur Morgenspitze mit der heutigen S12 abbilden. Wie die Aufteilung der Personen (Aussteiger) im Fahrzeuginneren erfolgte, ist in den Abb. 12-4 und Abb. 12-5 zu sehen.

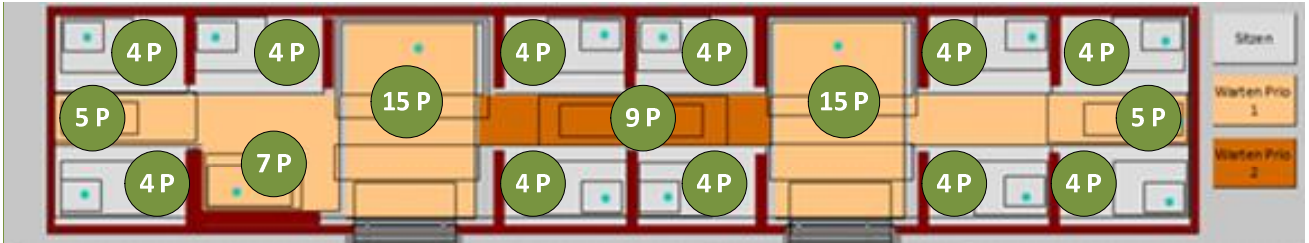


Abb. 12-4: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor dem Fahrgastwechsel, F=100 Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

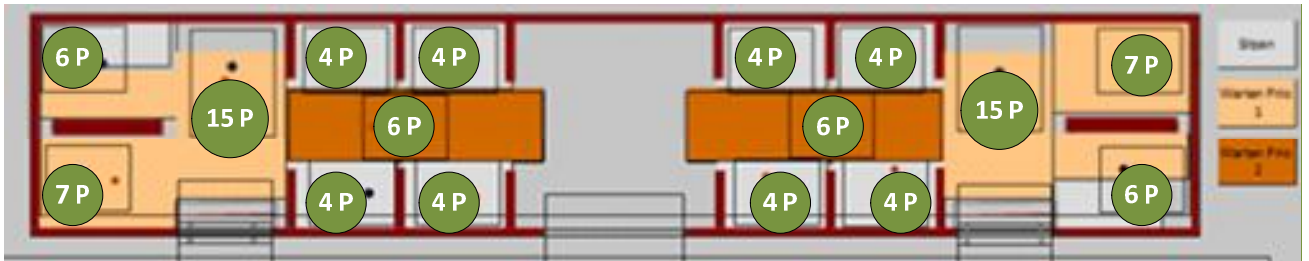


Abb. 12-5: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor dem Fahrgastwechsel, F=100 Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1+2	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1+2
7-15	Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Sitzen

Tabelle 12-2: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 2.

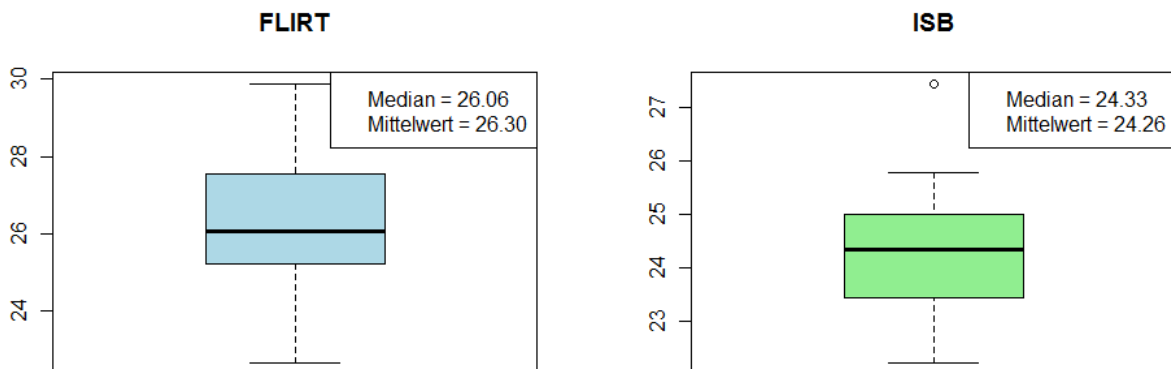


Abb. 12-6: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 2, maximale Aussteiger, F=100.

12.1.3 Szenario 3: Maximaler Fahrgastwechsel

Diese Simulation bedeutet bezüglich der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$, vor allem beim FLIRT, das worst-case-Szenario, da zuerst abgewartet werden muss, bis pro Türe je 50 Personen ausgestiegen sind. In der Realität könnte ein solcher Fahrgastwechsel durchaus zur morgendlichen HVZ im Bahnhof Museumsstrasse oder Hardbrücke stattfinden.

Der Simulationsaufbau ist eine exakte Kombination der Abb. 12-1 und Abb. 12-4 für den FLIRT sowie der Abb. 12-2 und der Abb. 12-5 für die ISB. Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1+2 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1+2 Erzeugen Aussteiger Sitzen
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
20-30	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 2
31-35	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-
40-50	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1+2	-

Tabelle 12-3: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 3.

Aus der Tabelle 12-3 ist bereits ein Vorteil der ISB zu sehen. Im Gegensatz zum FLIRT ist es nicht mehr nötig nach der Simulationssekunde 30 weitere Personen zu erzeugen. Beim FLIRT ist die weitere Staffelung nötig, da ansonsten die Einsteiger komplett mit den Aussteigern kollidieren würden. Die zur Verfügung stehenden lichten Weiten betragen beim FLIRT weiterhin 2.60 m, bei der ISB nun 4.50 m.

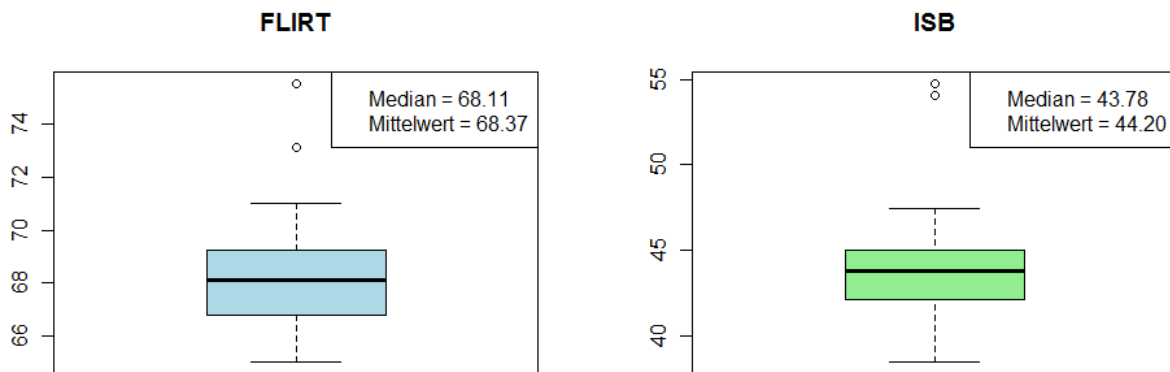


Abb. 12-7: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 3, maximaler Fahrgastwechsel, F=200.

12.1.4 Szenario 4: Lastrichtung HVZ 1 (morgens)

Diese Simulation bildet einen S-Bahn-Halt zur morgendlichen HVZ in Richtung Zürich ab. Infrage kommende Bahnhöfe für dieses Szenario sind Hardbrücke, Museumstrasse oder Stadelhofen. Der Simulationsaufbau für die Aussteiger entspricht beim FLIRT der Abb. 12-4, bei der ISB der Abb. 12-5. Der gewählte Belegungsgrad nach dem Fahrgastwechsel ist den Abb. 12-8 und Abb. 12-9 zu entnehmen.

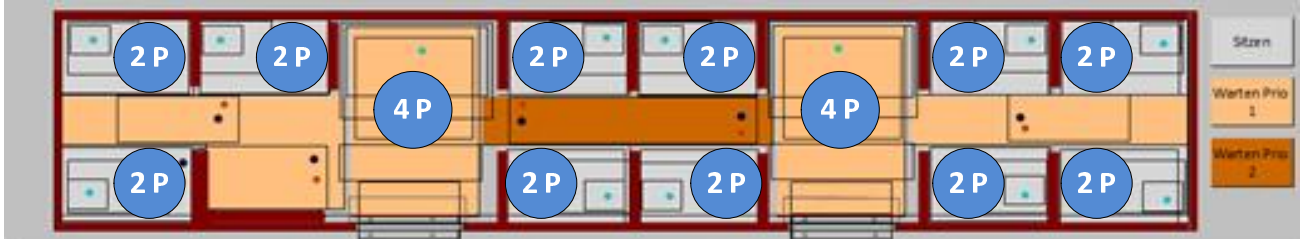


Abb. 12-8: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT nach dem Fahrgastwechsel, F=130 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

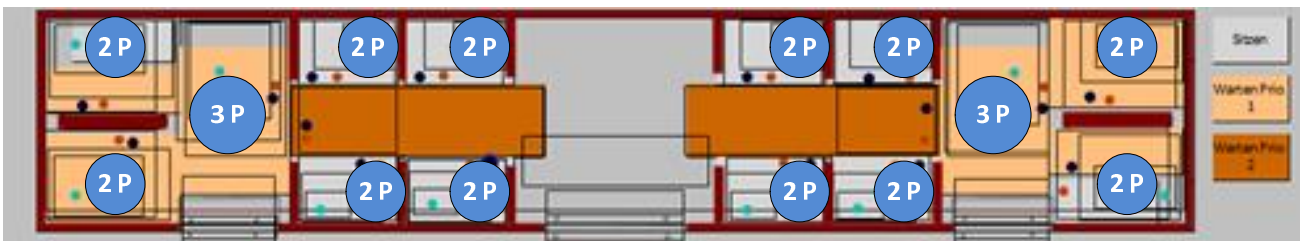


Abb. 12-9: Verteilung der Fahrgäste in der ISB nach dem Fahrgastwechsel, F=130 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1+2 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1+2 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
7-10	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
31-35	Erzeugen Einsteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	-

Tabelle 12-4: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 4.

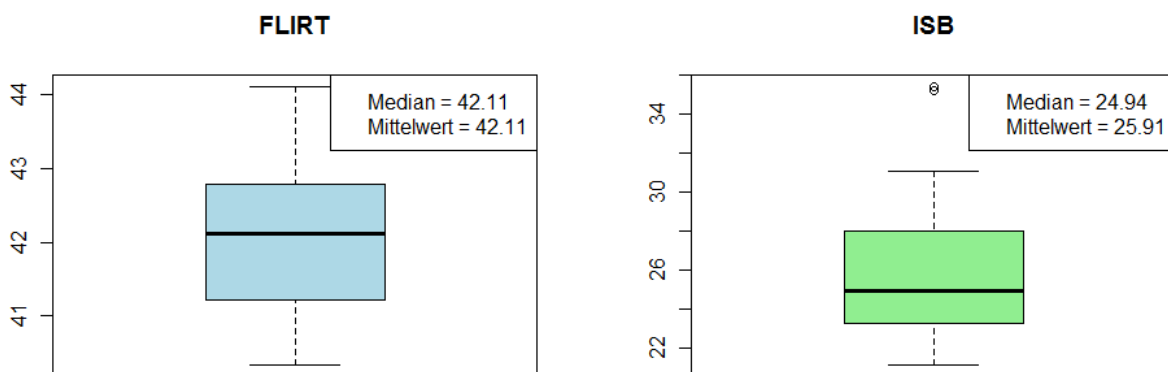


Abb. 12-10: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 4, Lastrichtung HVZ 1 (morgens), F=130.

12.1.5 Szenario 5: Lastrichtung HVZ 2 (morgens)

Diese Simulation bildet einen weiteren möglichen S-Bahn-Halt zur morgendlichen HVZ in Richtung Zürich ab. Mögliche Bahnhöfe für dieses Szenario sind ebenfalls Hardbrücke, Museumstrasse oder Stadelhofen. Der gewählte Belegungsgrad vor und nach dem Fahrgastwechsel ist den Abb. 12-11 und Abb. 12-12 zu entnehmen.

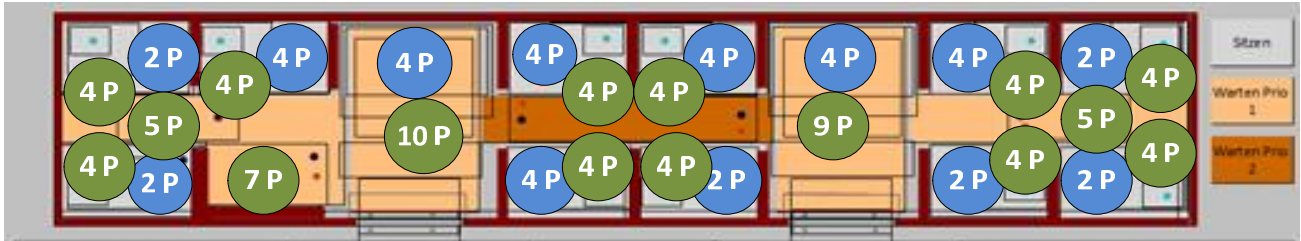


Abb. 12-11: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=120 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

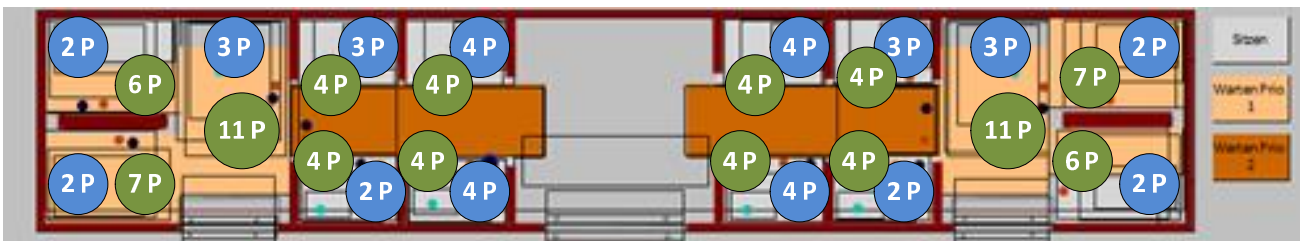


Abb. 12-12: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=120 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1+2 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1+2 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
7-10	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
28-32	Erzeugen Einsteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	-

Tabelle 12-5: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 5.

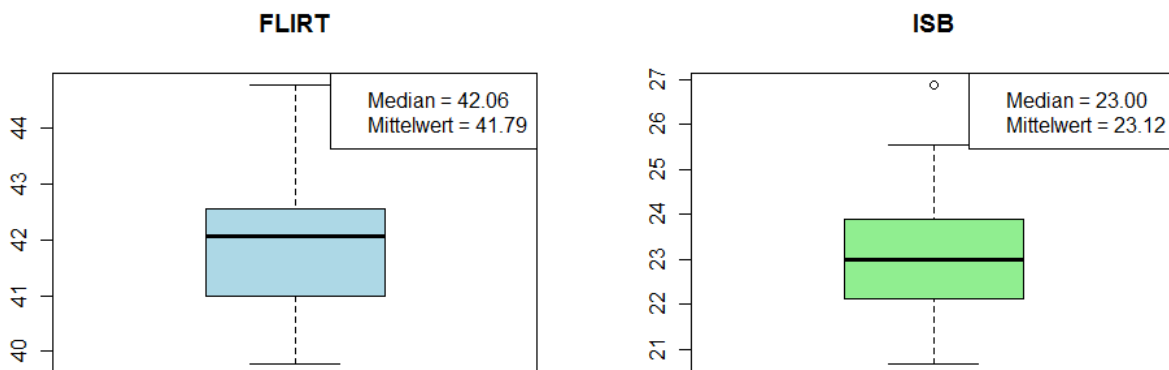


Abb. 12-13: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 5, Lastrichtung HVZ 2 (morgens), F=120.

12.1.6 Szenario 6: Lastrichtung HVZ 1 (abends)

Diese Simulation bildet einen S-Bahn-Halt zur abendlichen HVZ in Richtung Zürich ab. Der Simulationsaufbau für die Einsteiger entspricht beim FLIRT der Abb. 12-1, bei der ISB der Abb. 12-2. Der gewählte Belegungsgrad nach dem Fahrgastwechsel ist den Abb. 12-14 und Abb. 12-15 zu entnehmen.

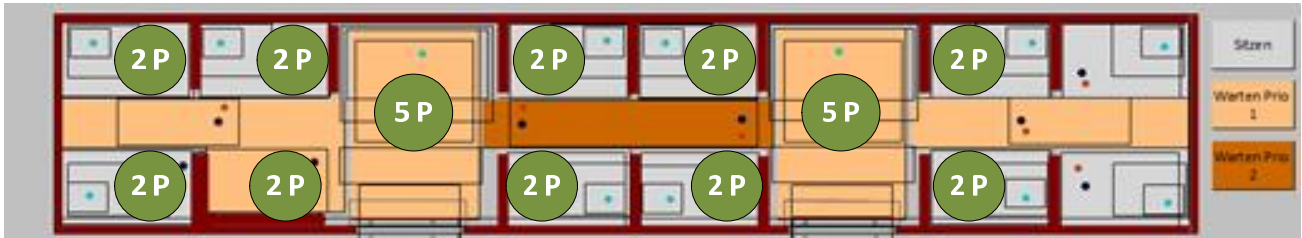


Abb. 12-14: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor dem Fahrgastwechsel, F=130 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

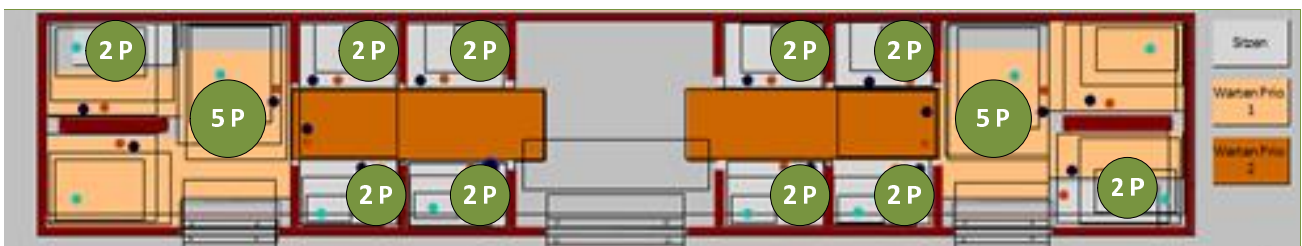


Abb. 12-15: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor dem Fahrgastwechsel, F=130 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
16-20	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-
20-30	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 2
25-35	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1+2	

Tabelle 12-6: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 6.

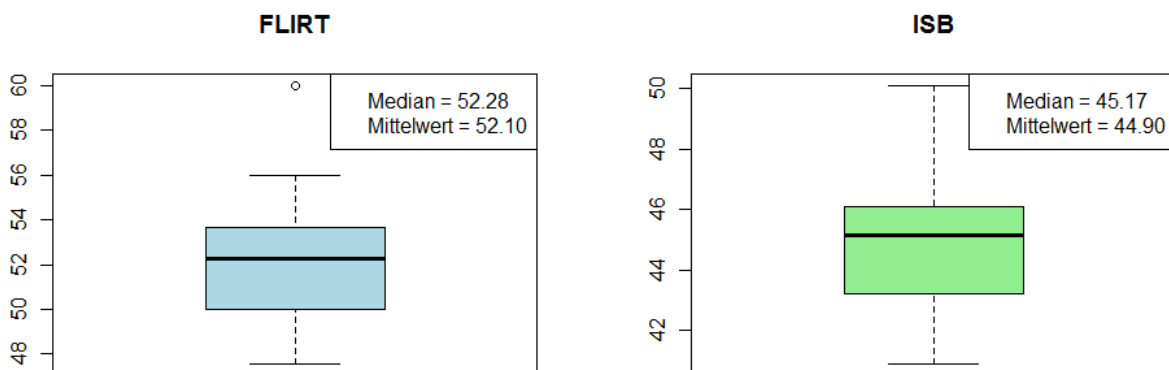


Abb. 12-16: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 6, Lastrichtung HVZ 1 (abends), F=130.

12.1.7 Szenario 7: Lastrichtung HVZ 2 (abends)

Diese Simulation bildet einen weiteren möglichen S-Bahn-Halt zur abendlichen HVZ in Richtung Zürich ab. Infrage kommende Bahnhöfe für dieses Szenario sind ebenfalls Hardbrücke, Museumstrasse oder Stadelhofen. Der gewählte Belegungsgrad vor und nach dem Fahrgastwechsel ist den Abb. 12-17 und Abb. 12-18 zu entnehmen.

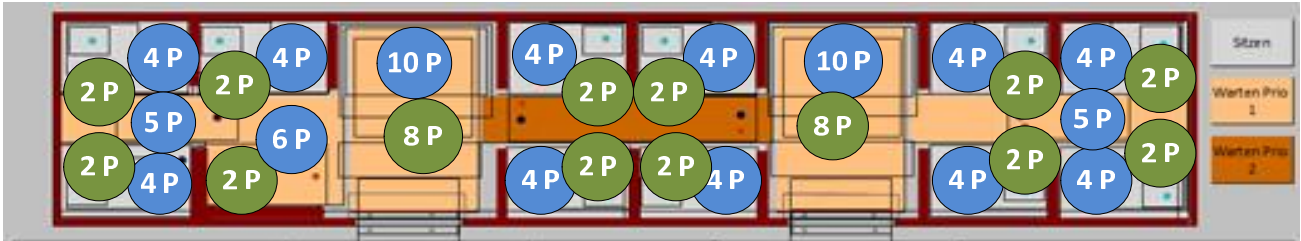


Abb. 12-17: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=120 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

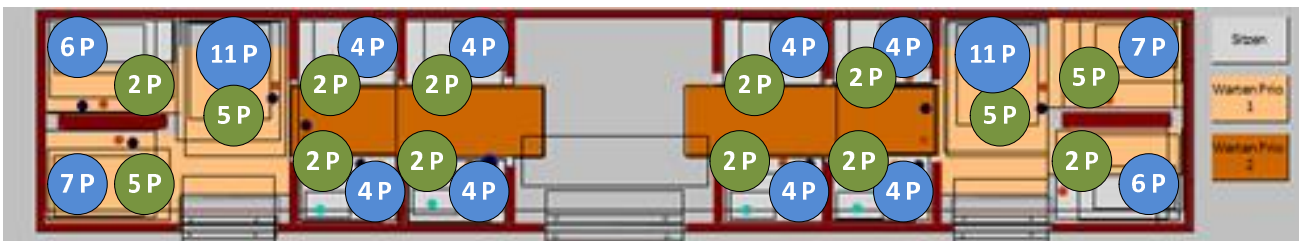


Abb. 12-18: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=120 Ein-/Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
18-22	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-
27-37	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1+2	-

Tabelle 12-7: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 7.

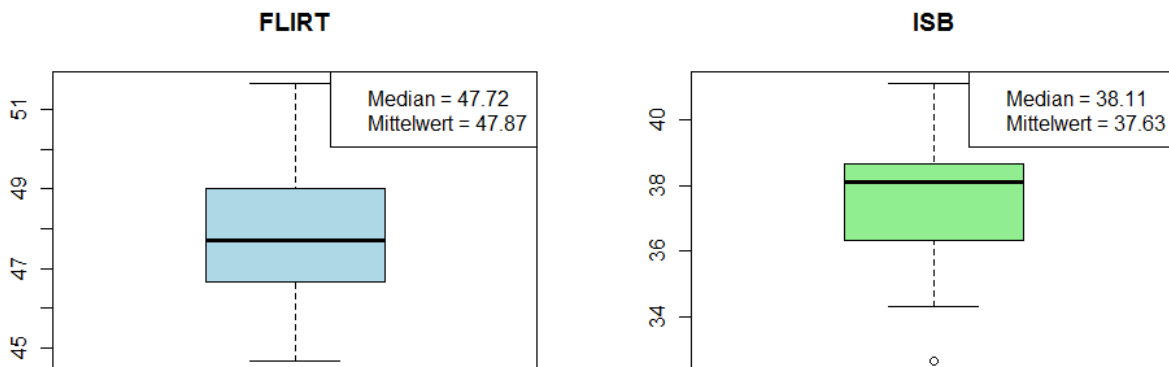


Abb. 12-19: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 7, Lastrichtung HVZ 2 (abends), F=120.

12.1.8 Szenario 8: Einsteigen 90%

Da die ISB mit nur einer Türe zum Einsteigen und einer lichten Weite von 1.90 Metern bei Fahrgastwechseln, welche aus reinen Einsteigern bestehen schlechtere Leistungswerte aufweist, soll mit den folgenden Simulationen, Szenario 8 bis 13, herausgefunden werden, ab welcher Einsteigerzahl ein Angleichen der Fahrgastwechselzeit stattfindet. In der Realität sind diese einseitigen Fahrgastwechsel-Szenarien mit hoher Einsteigerzahl eher selten anzutreffen. Der gewählte Belegungsgrad nach dem Fahrgastwechsel für dieses Szenario ist den Abb. 12-20 und Abb. 12-21 zu entnehmen.

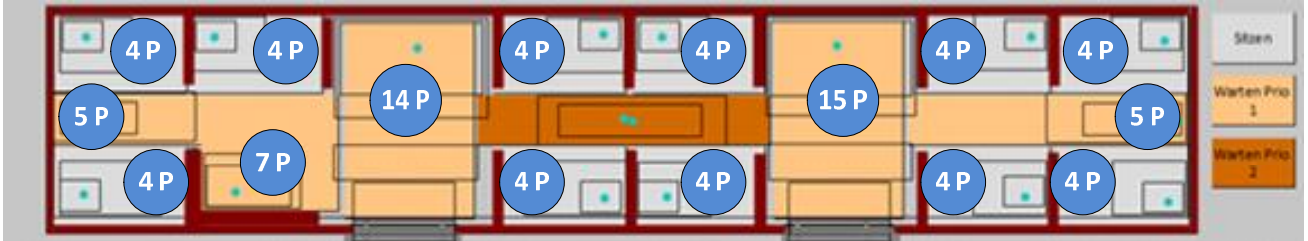


Abb. 12-20: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT nach dem Fahrgastwechsel, F=90 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

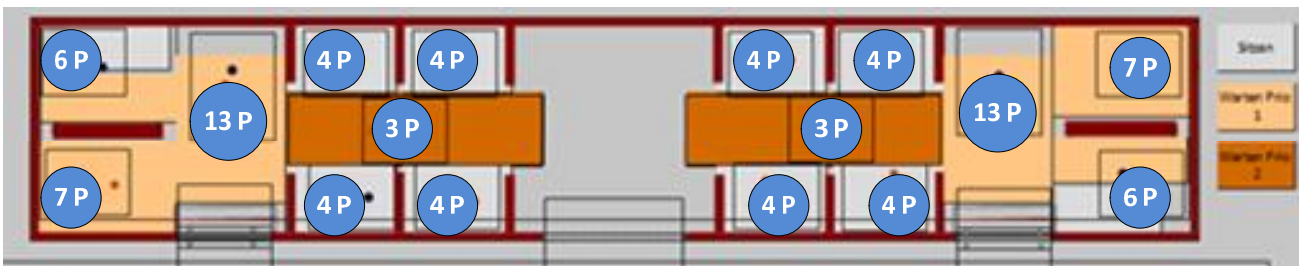


Abb. 12-21: Verteilung der Fahrgäste in der ISB nach dem Fahrgastwechsel, F=90 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 1.90 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-4	Erzeugen Einsteiger Sitzen	Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
20-30	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 2

Tabelle 12-8: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 8.

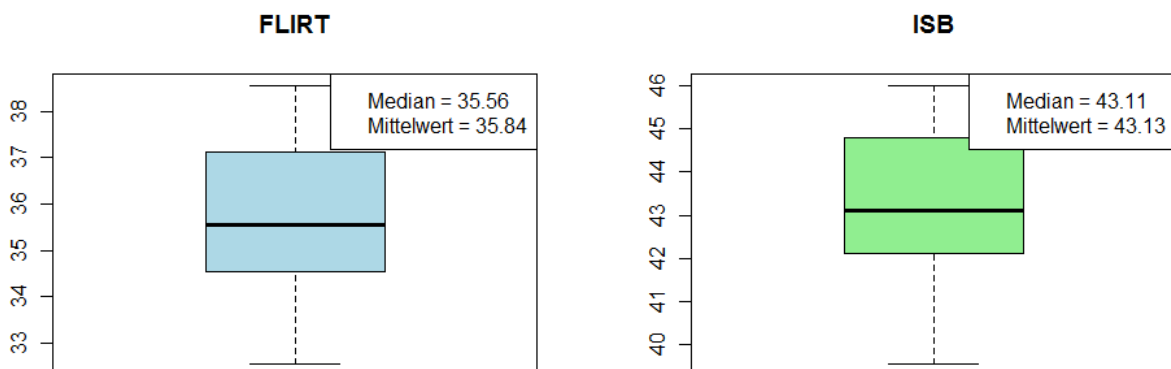


Abb. 12-22: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 8, 90% Einsteiger, F=90.

12.1.9 Szenario 9: Einsteigen 80%

Hier wird ein weiteres, reines Einsteiger-Szenario simuliert. Der gewählte Belegungsgrad nach dem Fahrgastwechsel für dieses Szenario ist den Abb. 12-23 und Abb. 12-24 zu entnehmen.

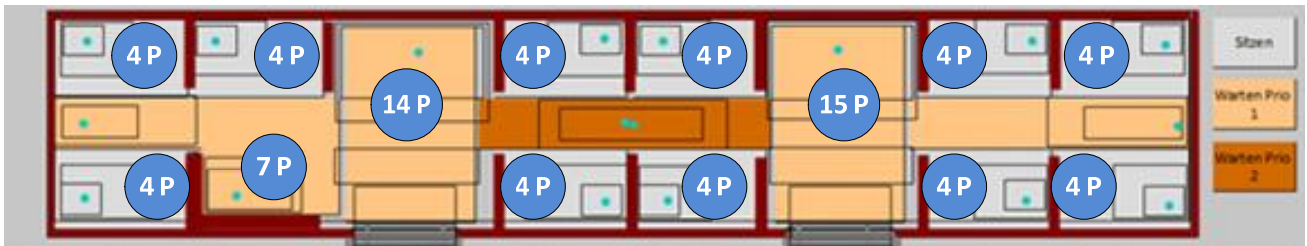


Abb. 12-23: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT nach dem Fahrgastwechsel, F=80 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

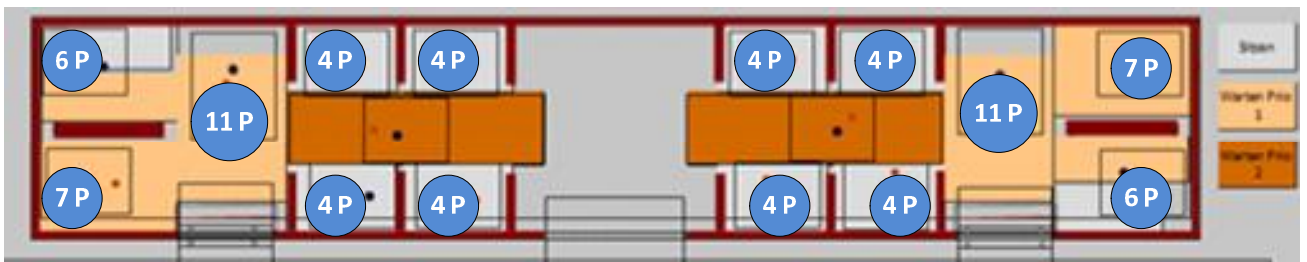


Abb. 12-24: Verteilung der Fahrgäste in der ISB nach dem Fahrgastwechsel, F=80 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 1.90 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-4	Erzeugen Einsteiger Sitzen	Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1

Tabelle 12-9: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 9.

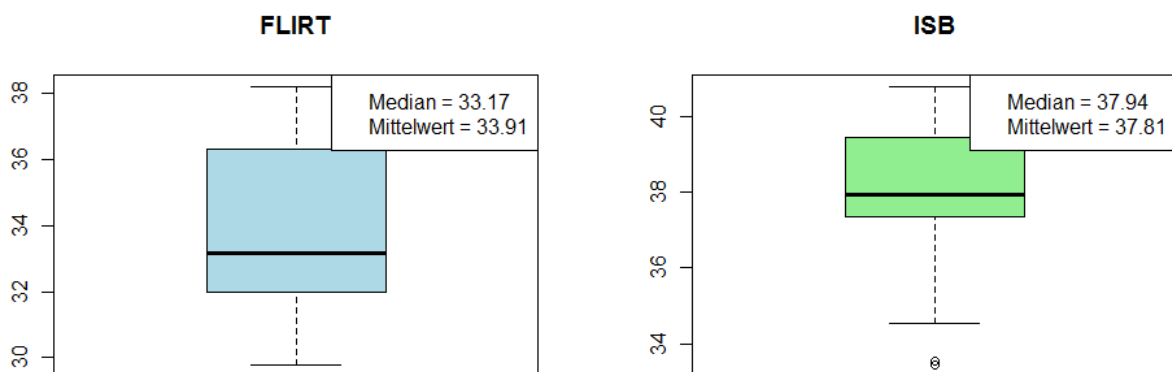


Abb. 12-25: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 9, 80% Einsteiger, F=80.

12.1.10 Szenario 10: Einsteigen 70%

Das Szenario 10 ist wiederum eine reine Einsteiger-Simulation. Der gewählte Belegungsgrad nach dem Fahrgastwechsel für dieses Szenario ist den Abb. 12-26 und Abb. 12-27 zu entnehmen.

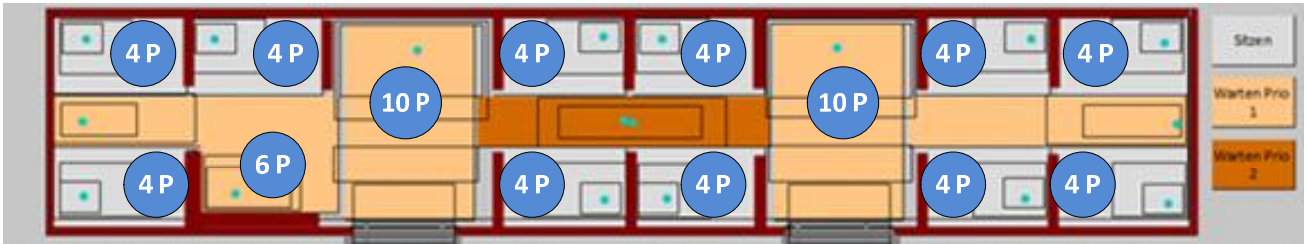


Abb. 12-26: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT nach dem Fahrgastwechsel, F=70 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

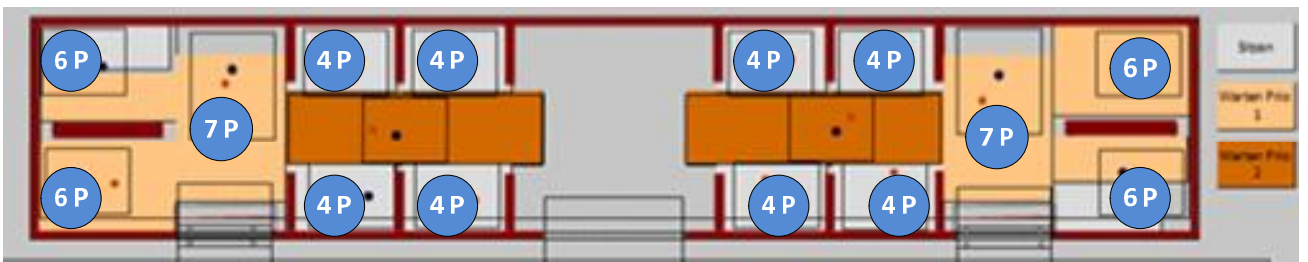


Abb. 12-27: Verteilung der Fahrgäste in der ISB nach dem Fahrgastwechsel, F=70 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 1.90 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-4	Erzeugen Einsteiger Sitzen	Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1

Tabelle 12-10: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 10.

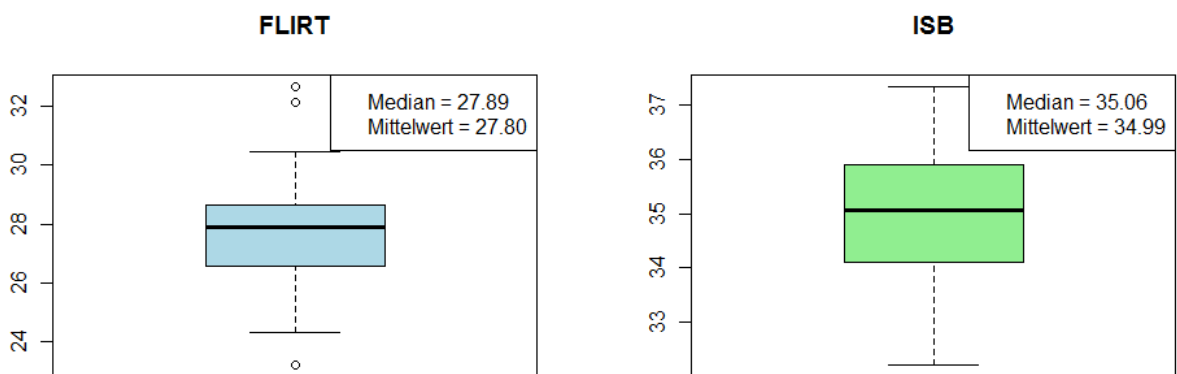


Abb. 12-28: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 10, 70% Einsteiger, F=70.

12.1.11 Szenario 11: Aussteigen 80%

Mit dieser Simulation soll herausgefunden werden, ob sich die beiden Fahrzeuge mit je zwei Ausstiegstüren und insgesamt 2.60 Metern lichter Weite bezüglich des Ausstiegsverhaltens gleichen. Dieser Fahrgastwechsel ist wiederum einseitig und mit reinen Aussteigern aufgebaut. Der gewählte Belegungsgrad vor dem Fahrgastwechsel für dieses Szenario ist den Abb. 12-29 und Abb. 12-30 zu entnehmen.

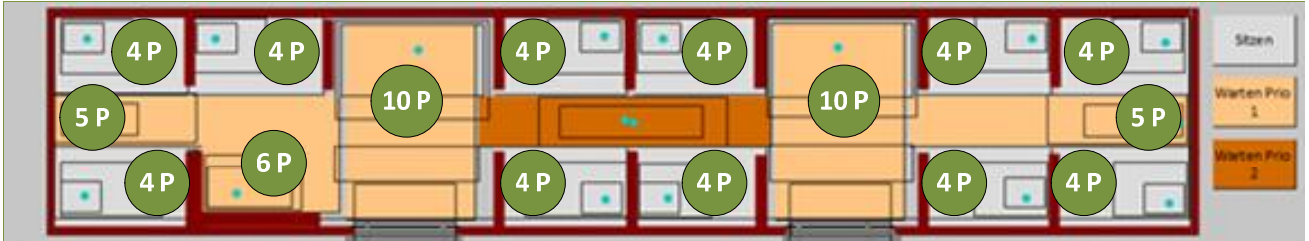


Abb. 12-29: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor dem Fahrgastwechsel, F=80 Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

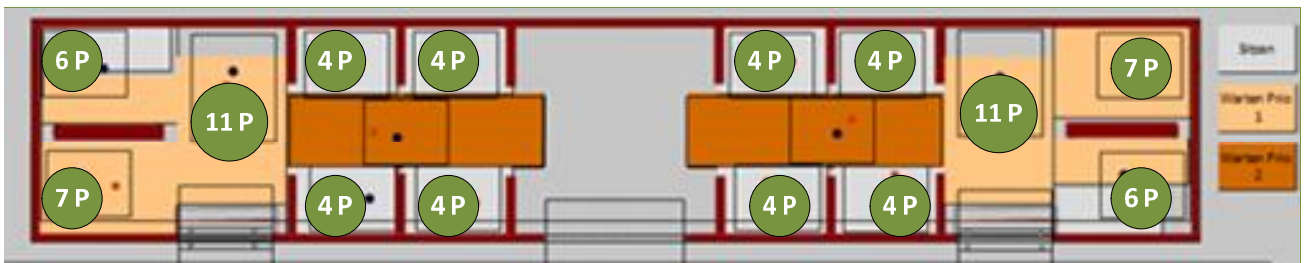


Abb. 12-30: Verteilung der Fahrgäste in der ISB nach dem Fahrgastwechsel, F=70 Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1
7-15	Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Sitzen

Tabelle 12-11: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 11.

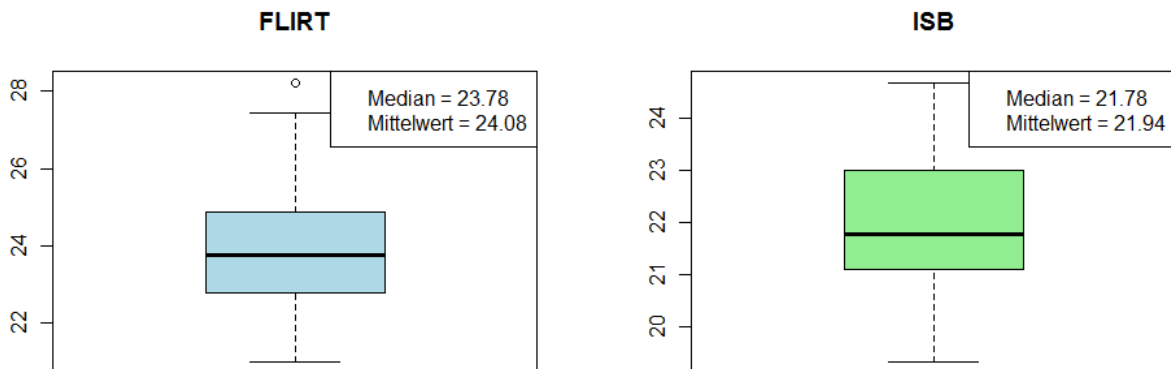


Abb. 12-31: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 11, 80% Aussteiger, F=80.

12.1.12 Szenario 12: Fahrgastwechsel mit 160 Ein-/ Aussteiger

Die nächsten sieben Simulationen sollen mögliche Fahrgastwechsel zu unterschiedlichen Tageszeiten nachbilden. Das Verhältnis von Ein-/ Aussteigern ist dabei immer gleich und reduziert sich bei jedem Szenario. Diese Szenarien sind auf allen Bahnhöfen, auf welcher die ISB verkehrt, denkbar. Der gewählte Belegungsgrad vor und nach dem Fahrgastwechsel für das Szenario 12 ist den Abb. 12-32 und Abb. 12-33 zu entnehmen.

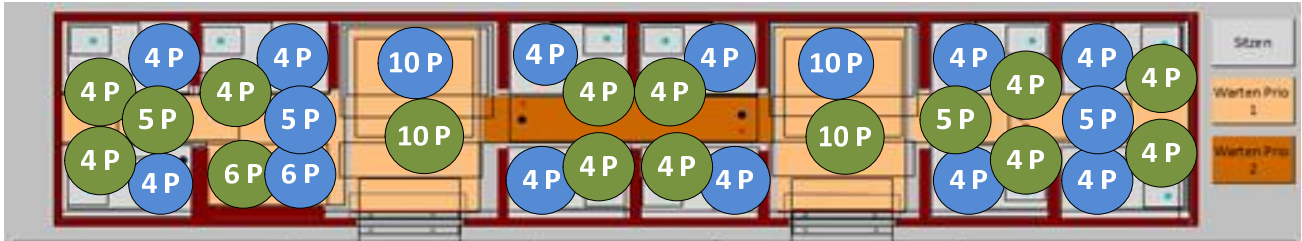


Abb. 12-32: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=160 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

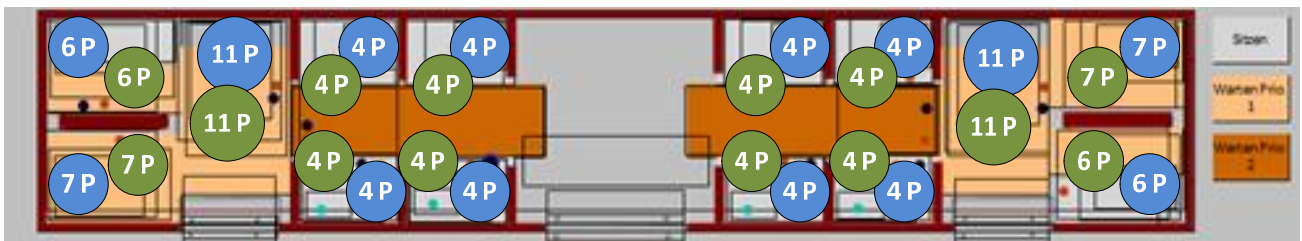


Abb. 12-33: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=160 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
28-32	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-
37-47	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	-

Tabelle 12-12: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 12.

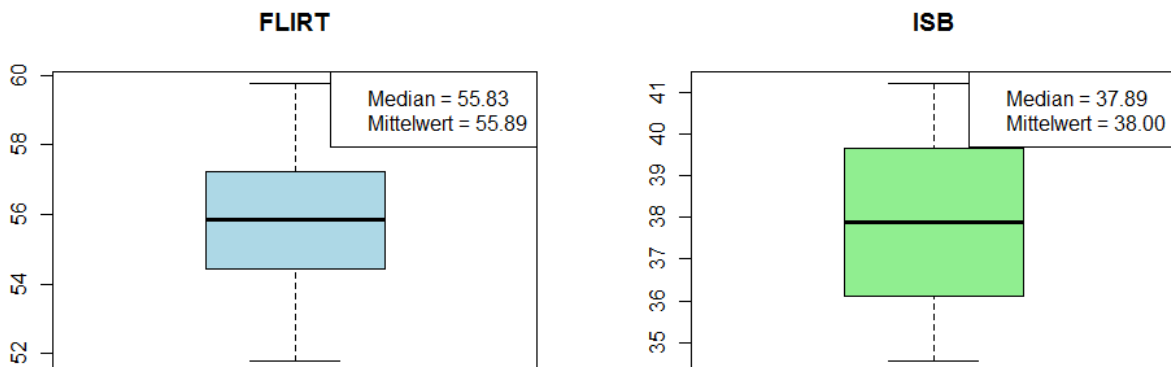


Abb. 12-34: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 12, Fahrgastwechsel mit 160 Ein-/ Aussteiger, F=160.

12.1.13 Szenario 13: Fahrgastwechsel mit 140 Ein-/ Aussteiger

Hier wird ein weiterer, beliebiger Fahrgastwechsel simuliert. Der gewählte Belegungsgrad vor und nach dem Fahrgastwechsel für dieses Szenario ist den Abb. 12-35 und Abb. 12-36 zu entnehmen.

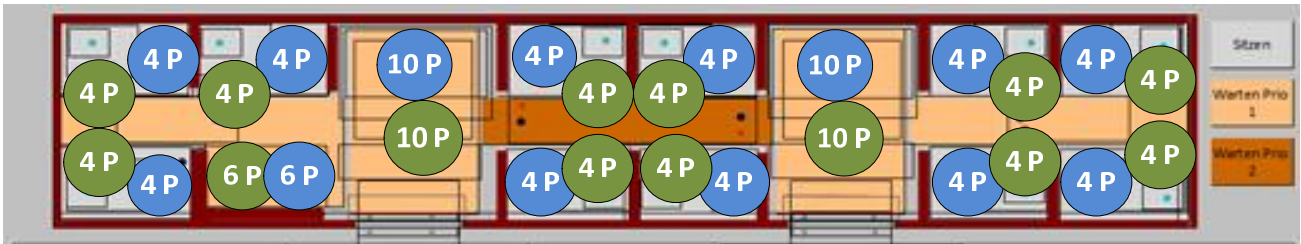


Abb. 12-35: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=140 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

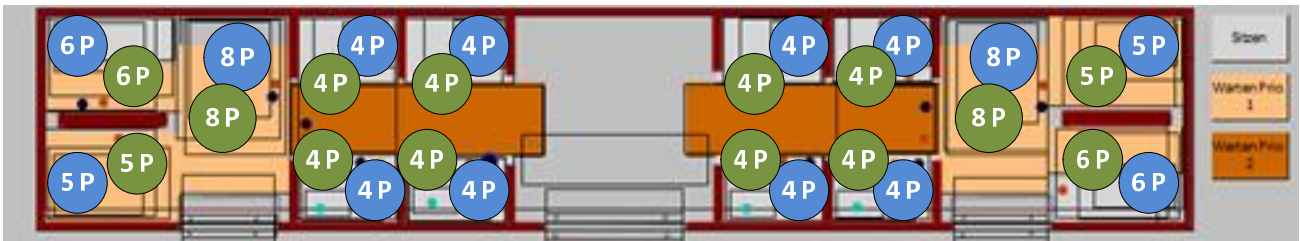


Abb. 12-36: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=140 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
25-29	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-
30-35	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	

Tabelle 12-13: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 13.

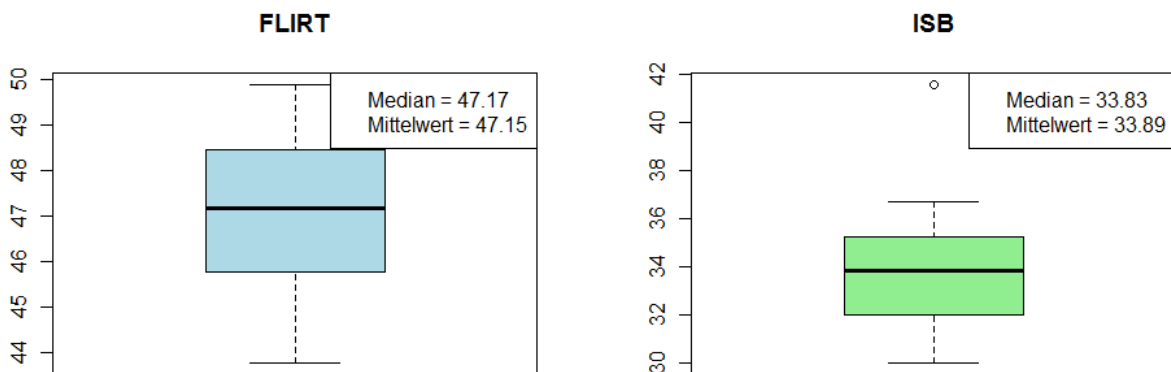


Abb. 12-37: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 13, Fahrgastwechsel mit 140 Ein-/ Aussteiger, F=140.

12.1.14 Szenario 14: Fahrgastwechsel mit 120 Ein-/ Aussteiger

Der gewählte Belegungsgrad für das Szenario 14 vor und nach dem Fahrgastwechsel ist den Abb. 12-38 und Abb. 12-39 zu entnehmen.

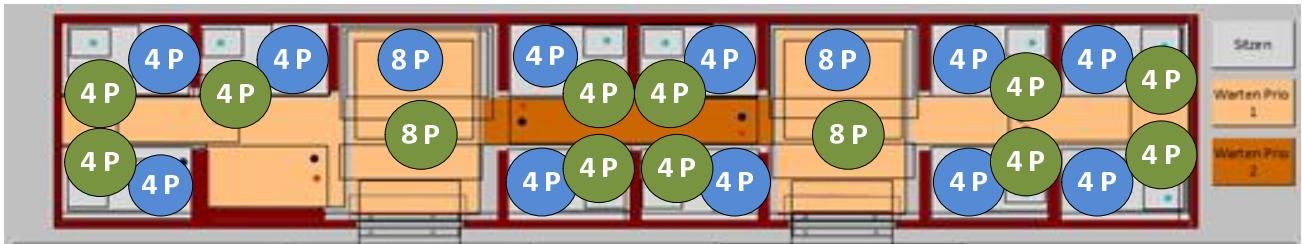


Abb. 12-38: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=120 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

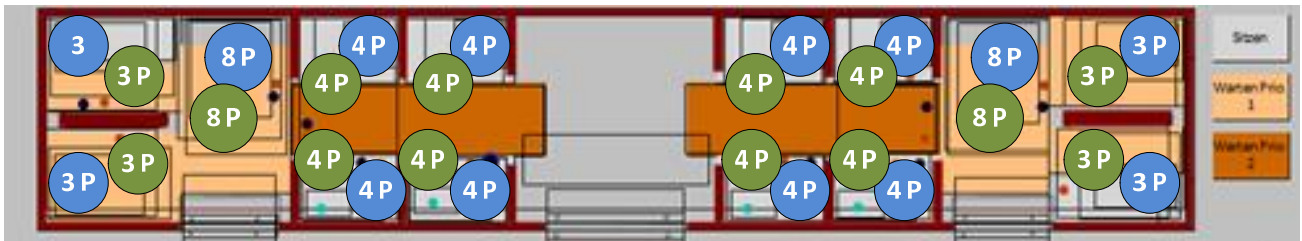


Abb. 12-39: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=120 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
23-27	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-
28-33	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	-

Tabelle 12-14: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 14.

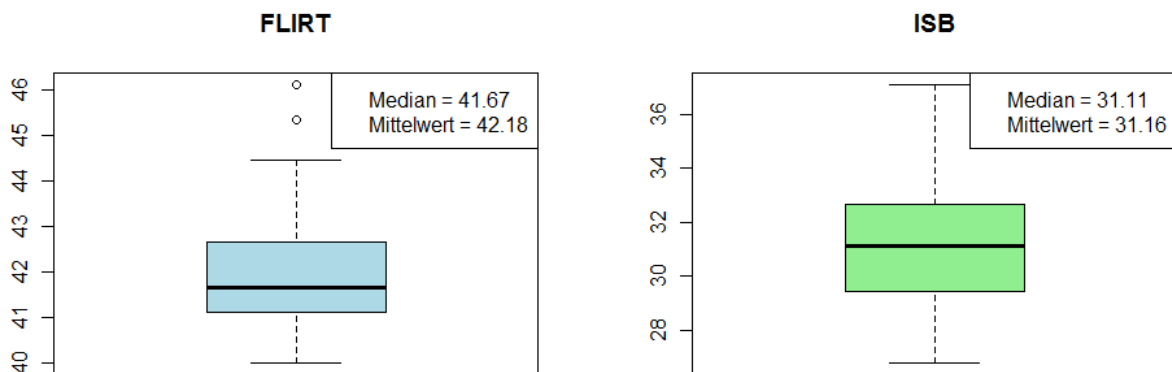


Abb. 12-40: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 14, Fahrgastwechsel mit 120 Ein-/ Aussteiger, F=120.

12.1.15 Szenario 15: Fahrgastwechsel mit 100 Ein-/ Aussteiger

Mit dem Szenario 15 werden 100 Ein-/ Aussteiger simuliert. Der gewählte Belegungsgrad vor und nach dem Fahrgastwechsel ist den Abb. 12-41 Abb. 12-42 zu entnehmen.

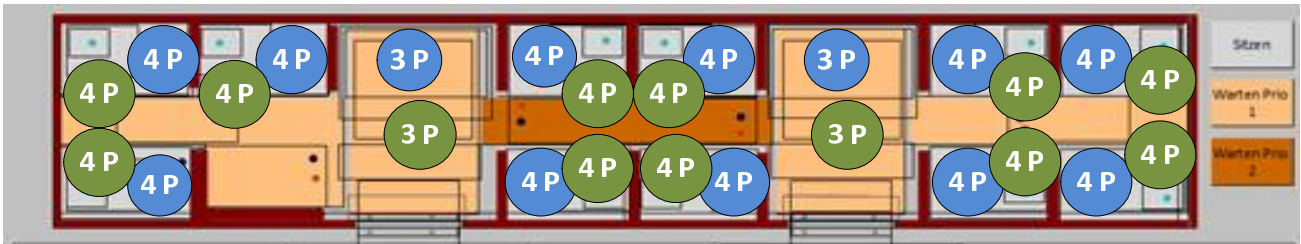


Abb. 12-41: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=100 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

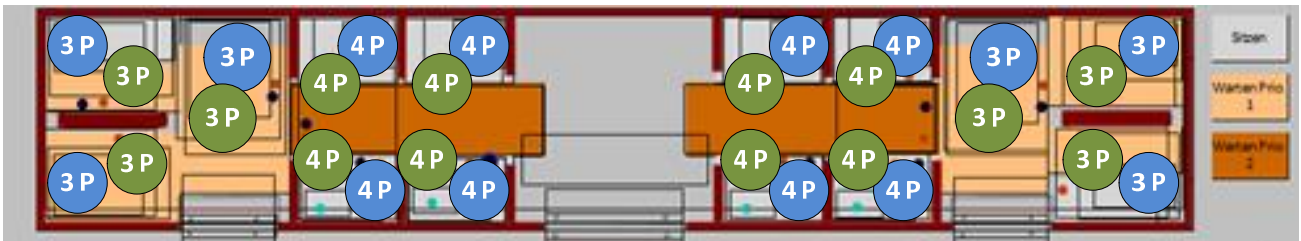


Abb. 12-42: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=100 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
23-27	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-
28-33	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	-

Tabelle 12-15: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 15.

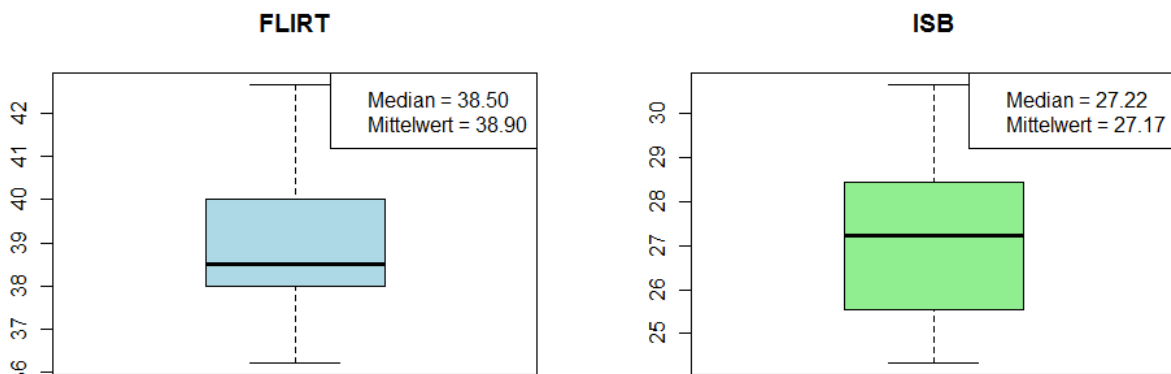


Abb. 12-43: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 15, Fahrgastwechsel mit 100 Ein-/ Aussteiger, F=100.

12.1.16 Szenario 16: Fahrgastwechsel mit 80 Ein-/ Aussteiger

Der gewählte Belegungsgrad vor und nach dem Fahrgastwechsel des Szenarios 16, welches aus 80 Ein-/Aussteigern besteht, ist den Abb. 12-44 und Abb. 12-45 zu entnehmen.

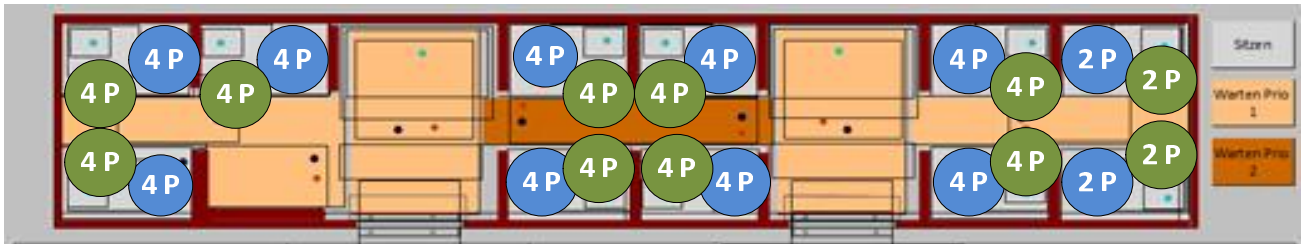


Abb. 12-44: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=80 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

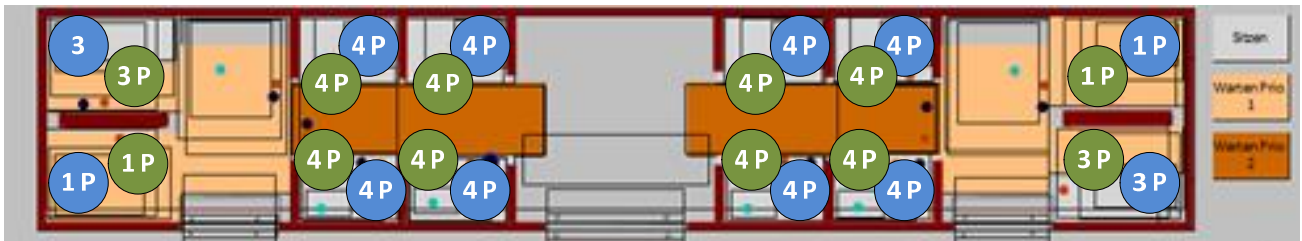


Abb. 12-45: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=80 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-15	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
20-24	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-

Tabelle 12-16: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 16.

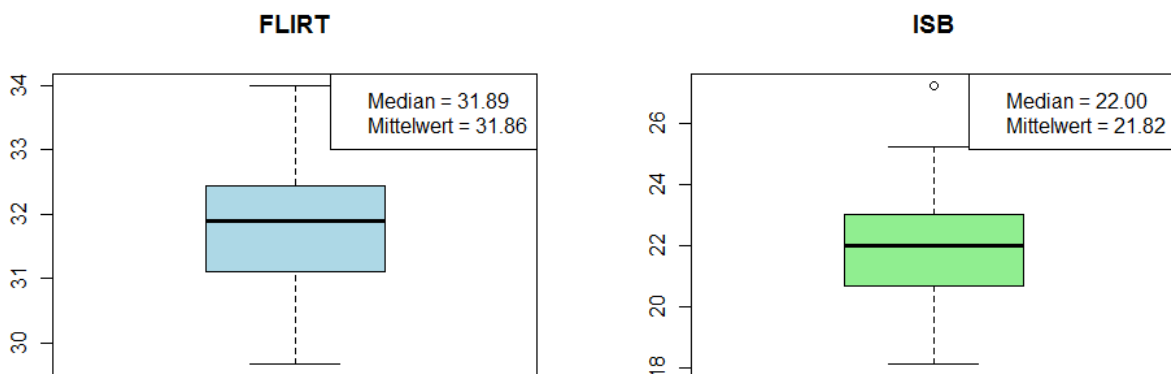


Abb. 12-46: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 16, Fahrgastwechsel mit 80 Ein-/ Aussteiger, F=80.

12.1.17 Szenario 17: Fahrgastwechsel mit 60 Ein-/ Aussteiger

Das Szenario 17 ist ein weiterer Fahrgastwechsel, welcher im täglichen Betrieb häufig anzutreffen ist. Der gewählte Belegungsgrad vor und nach dem Fahrgastwechsel für dieses Szenario ist den Abb. 12-47 und Abb. 12-48 zu entnehmen.

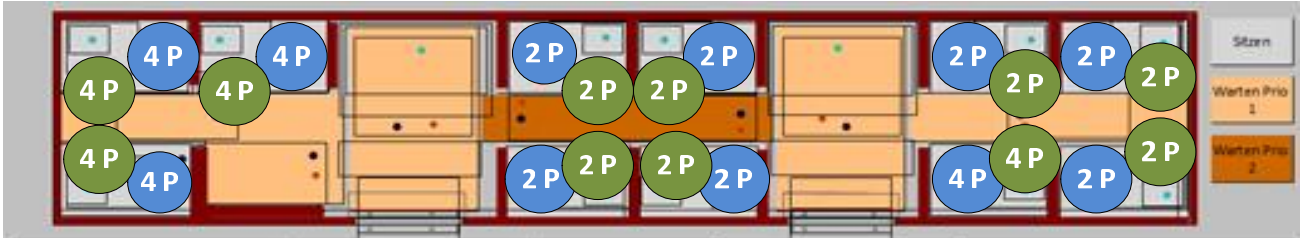


Abb. 12-47: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=60 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

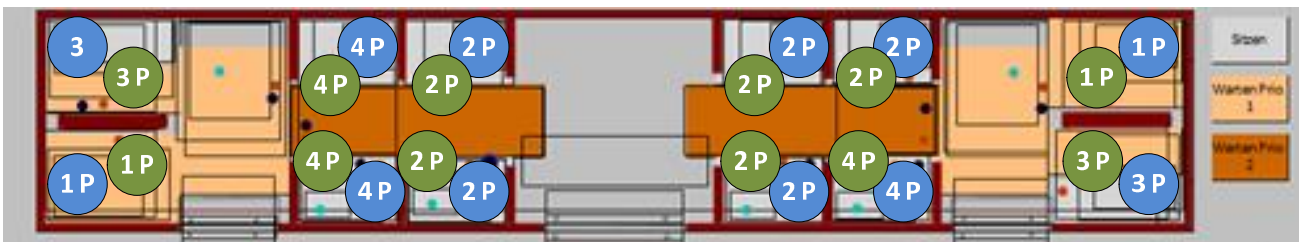


Abb. 12-48: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=60 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-7	Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
7-10	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
18-22	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-

Tabelle 12-17: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 17.

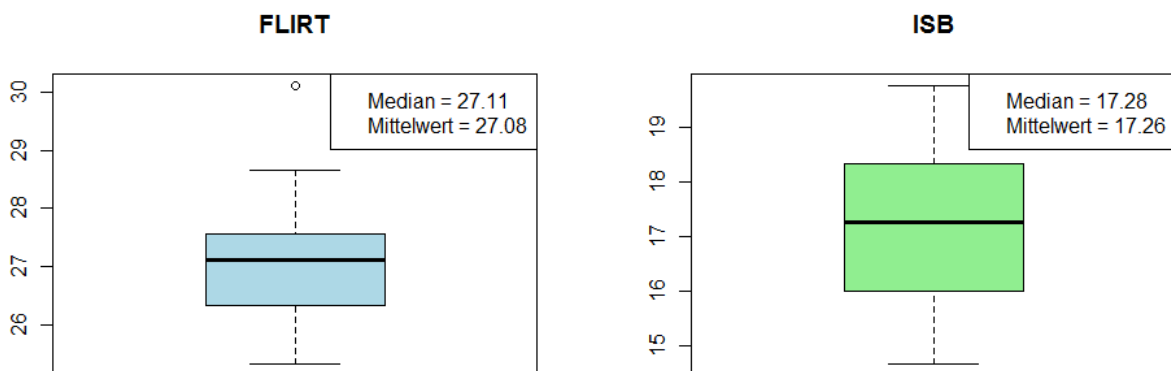


Abb. 12-49: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 17, Fahrgastwechsel mit 60 Ein-/ Aussteiger, F=60.

12.1.18 Szenario 18: Fahrgastwechsel mit 40 Ein-/ Aussteiger

Das Szenario 18 beinhaltet die Simulation eines Fahrgastwechsels mit 40 Ein-/ Aussteigern. Der gewählte Belegungsgrad vor und nach dem Fahrgastwechsel für dieses Szenario ist den Abb. 12-50 und Abb. 12-51 zu entnehmen.

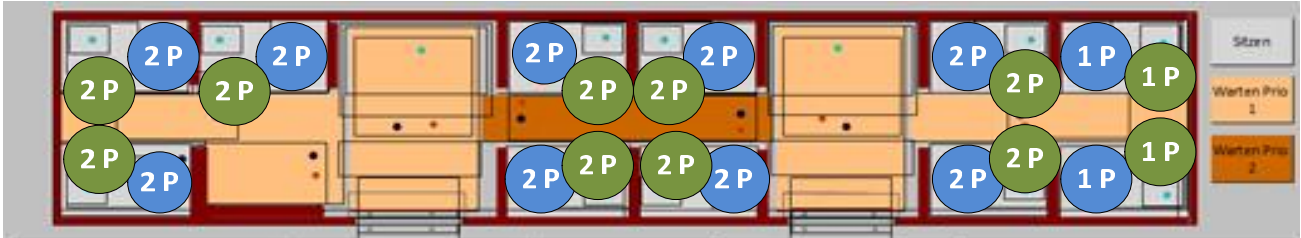


Abb. 12-50: Verteilung der Fahrgäste im FLIRT vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=40 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 2.60 m.

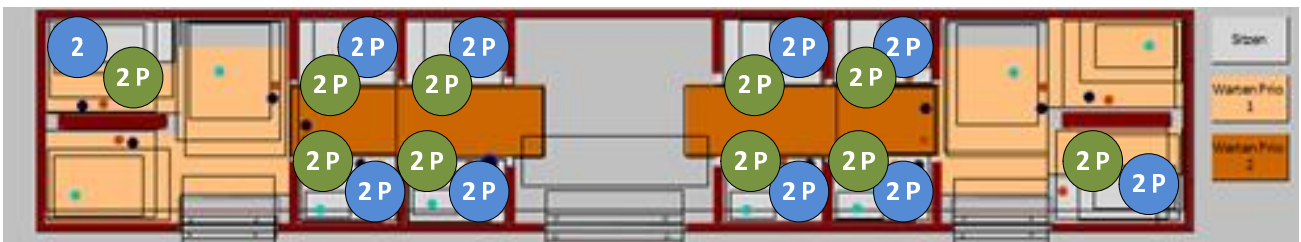


Abb. 12-51: Verteilung der Fahrgäste in der ISB vor und nach dem Fahrgastwechsel, F=40 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.50 m.

Die zeitliche Staffelung der Personenzuflüsse sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	FLIRT	ISB
0-7	Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
16-20	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-

Tabelle 12-18: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 18.

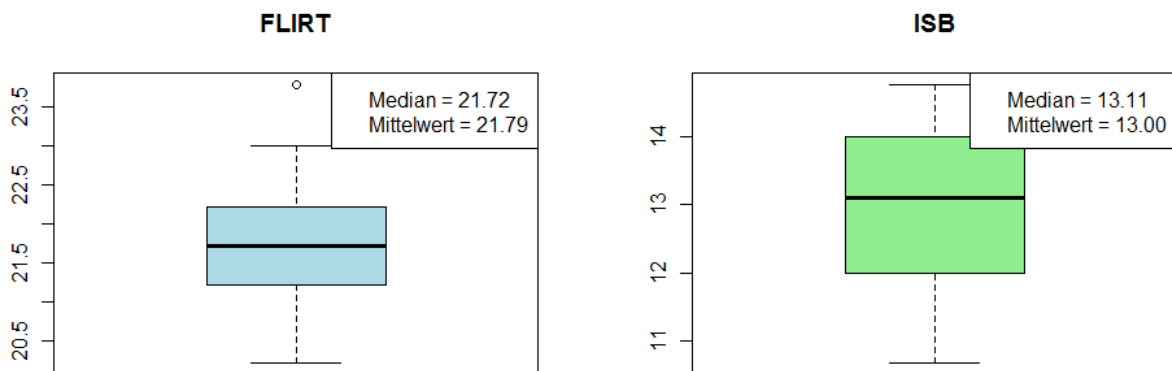


Abb. 12-52: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich FLIRT und ISB, Szenario 18, Fahrgastwechsel mit 40 Ein-/ Aussteiger, F=40.

12.2 Simulationsdesign ISB-Wagen mit und ohne getrenntem Ein- und Aussteigen

12.2.1 Szenario 1: ISB Variante 3, Maximale Einsteiger

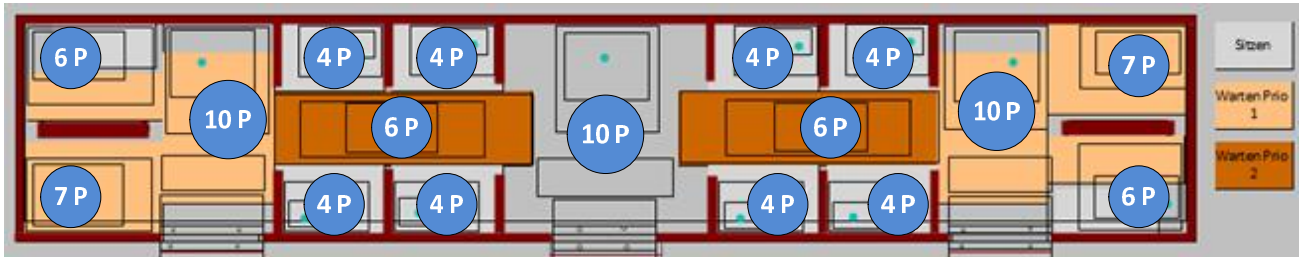


Abb. 12-53: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=100 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt.

Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzuflüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISBv3 (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.1)
0-4	-	Erzeugen Einsteiger Sitzen
0-7	Erzeugen Einsteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	-
10-15	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 2	-
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
20-30	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 2

Tabelle 12-19: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 1, ISBv3.

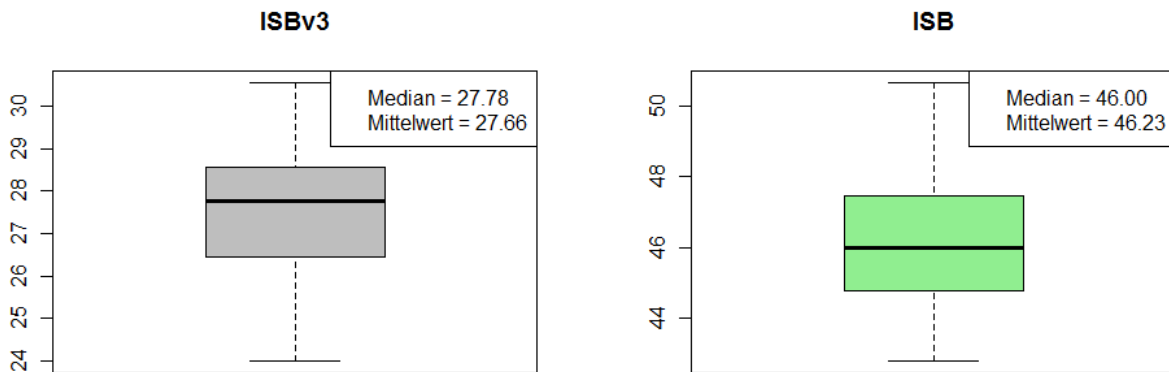


Abb. 12-54: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 1, Fahrgastwechsel mit 100 Einsteiger, F=100.

12.2.2 Szenario 2: ISB Variante 3, Maximale Aussteiger

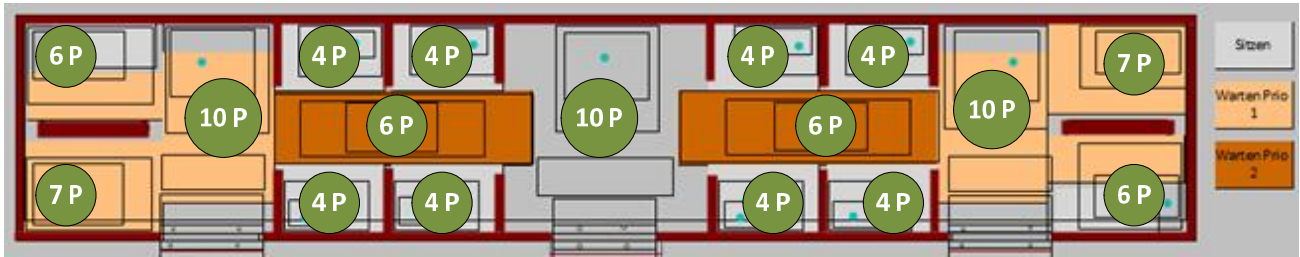


Abb. 12-55: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=100 Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt. Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzufüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.2)
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1+2	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1+2
7-15	Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Sitzen

Tabelle 12-20: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 2, ISBv3.

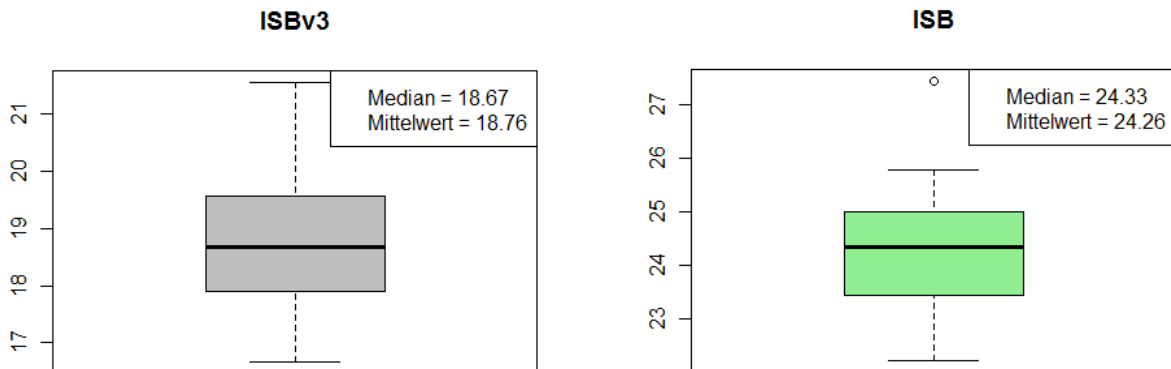


Abb. 12-56: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 2, Fahrgastwechsel mit 100 Aussteiger, F=100.

12.2.3 Szenario 3: ISB Variante 3, Maximaler Fahrgastwechsel

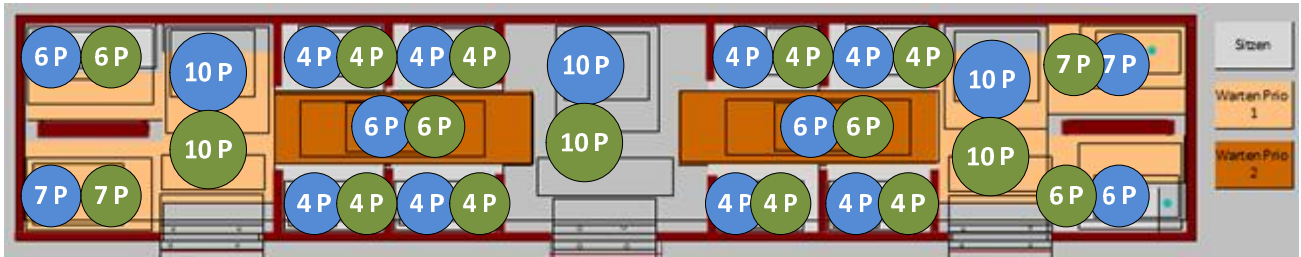


Abb. 12-57: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=200 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt.

Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzufüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.3)
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1+2 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1+2 Erzeugen Aussteiger Sitzen
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
20-30	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 2
23-30	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-
30-35	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1+2	-

Tabelle 12-21: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 3, ISBv3.

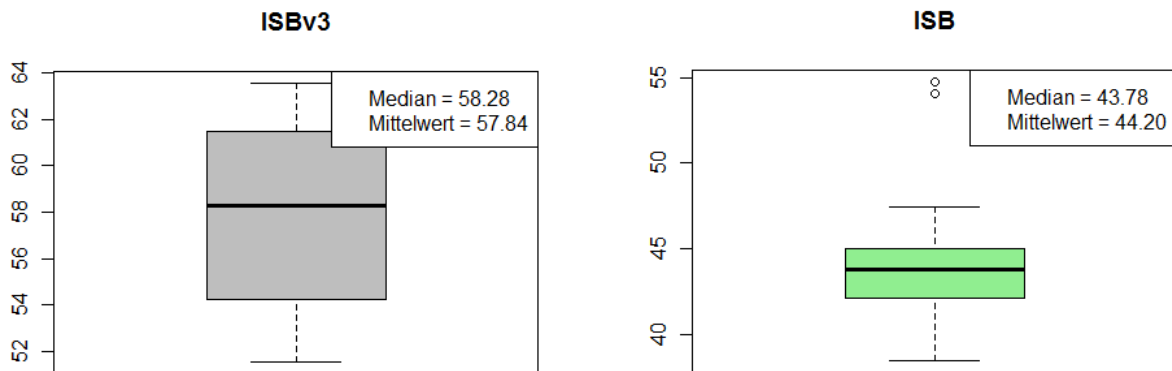


Abb. 12-58: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 3, Fahrgastwechsel mit 200 Ein-/ Aussteiger, F=200.

12.2.4 Szenario 4: ISB Variante 3, Lastrichtung HVZ 1 (morgens)

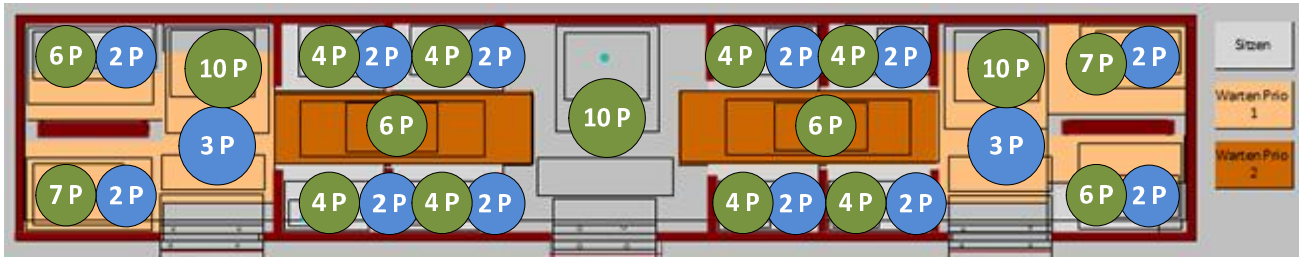


Abb. 12-59: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=130 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt.

Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzufüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.4)
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1+2 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1+2 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
7-10	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
24-31	Erzeugen Einsteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	-

Tabelle 12-22: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 4, ISBv3.

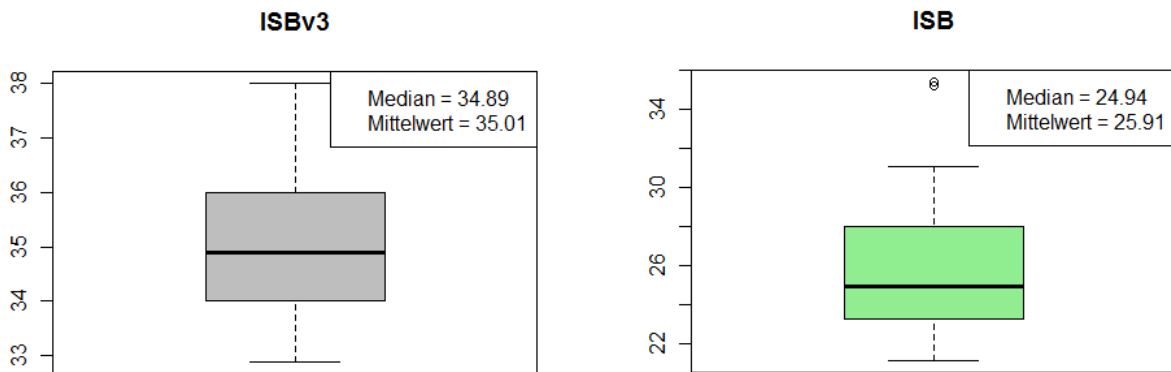


Abb. 12-60: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 4, Fahrgastwechsel mit 130 Ein-/ Aussteiger, F=130.

12.2.5 Szenario 5: ISB Variante 3, Lastrichtung HVZ 2 (morgens)

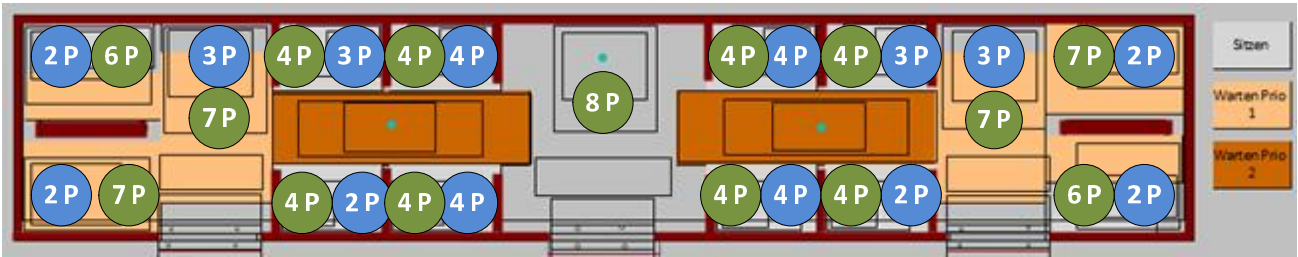


Abb. 12-61: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=120 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt.

Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzufüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.5)
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1+2 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
7-10	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
20-25	Erzeugen Einsteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	-

Tabelle 12-23: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 5, ISBv3.

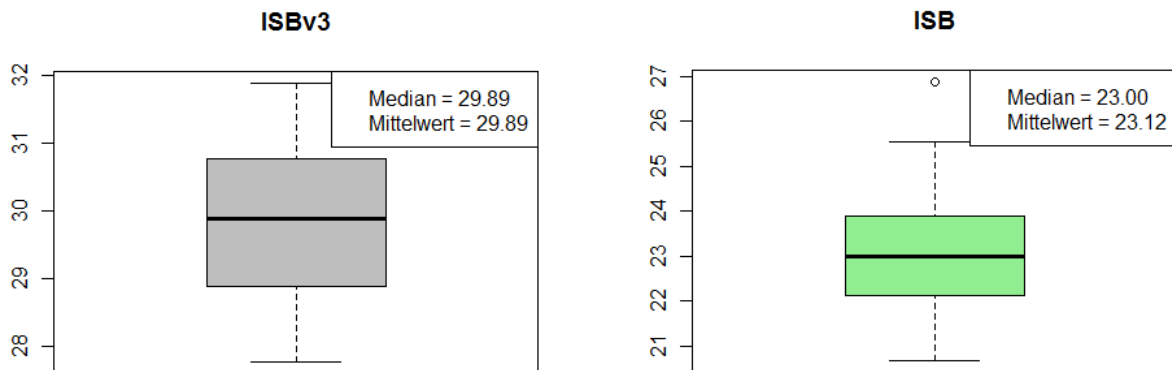


Abb. 12-62: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 5, Fahrgastwechsel mit 120 Ein-/ Aussteiger, F=120.

12.2.6 Szenario 6: ISB Variante 3, Lastrichtung HVZ 1 (abends)

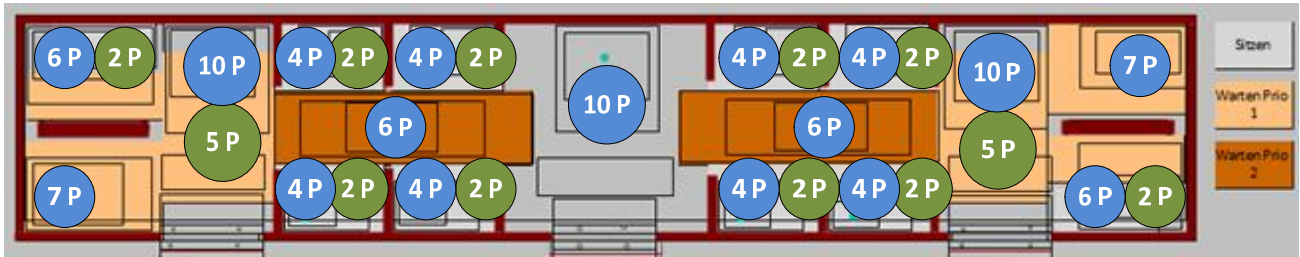


Abb. 12-63: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=130 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt.

Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzufüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.6)
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
15-20	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-
20-25	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1+2	-
20-30	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 2

Tabelle 12-24: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 6, ISBv3.

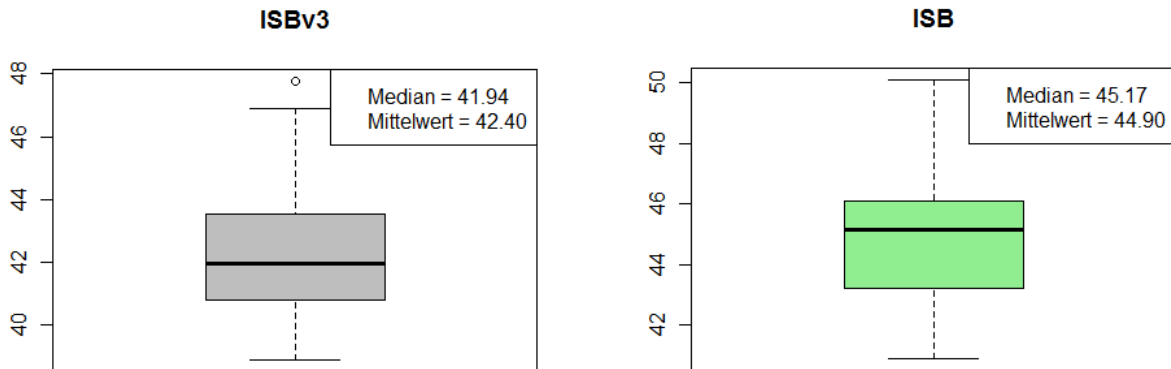


Abb. 12-64: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 6, Fahrgastwechsel mit 130 Ein-/ Aussteiger, F=130.

12.2.7 Szenario 7: ISB Variante 3, Lastrichtung HVZ 2 (abends)

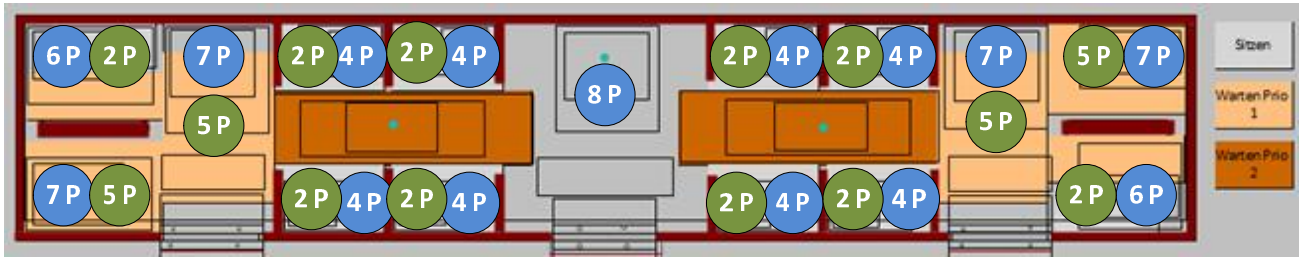


Abb. 12-65: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=120 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt.

Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzufüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.7)
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
17-22	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-
22-27	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	

Tabelle 12-25: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 7, ISBv3.

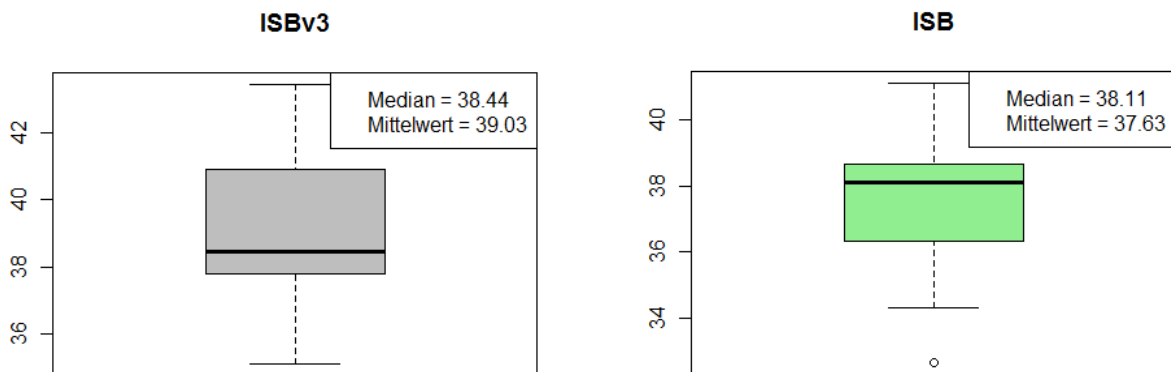


Abb. 12-66: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 7, Fahrgastwechsel mit 120 Ein-/ Aussteiger, F=120.

12.2.8 Szenario 8: ISB Variante 3, Einsteigen 90%

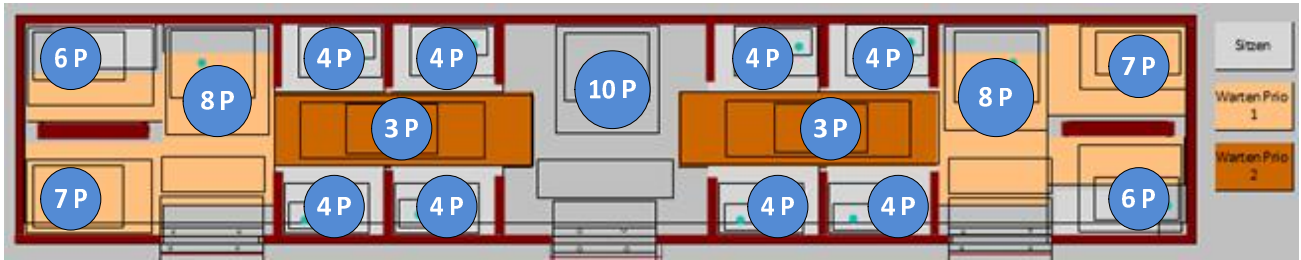


Abb. 12-67: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=90 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt. Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzufüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.8)
0-4	Erzeugen Einsteiger Sitzen	Erzeugen Einsteiger Sitzen
4-10	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
10-15	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 2	-
20-30	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 2

Tabelle 12-26: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 8, ISBv3.

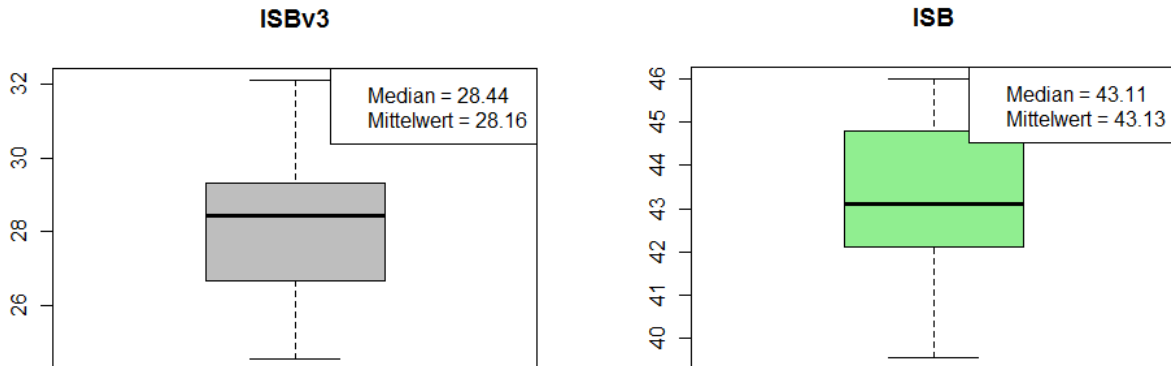


Abb. 12-68: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 8, Fahrgastwechsel mit 90 Einsteiger, F=90.

12.2.9 Szenario 9: ISB Variante 3, Einsteigen 80%

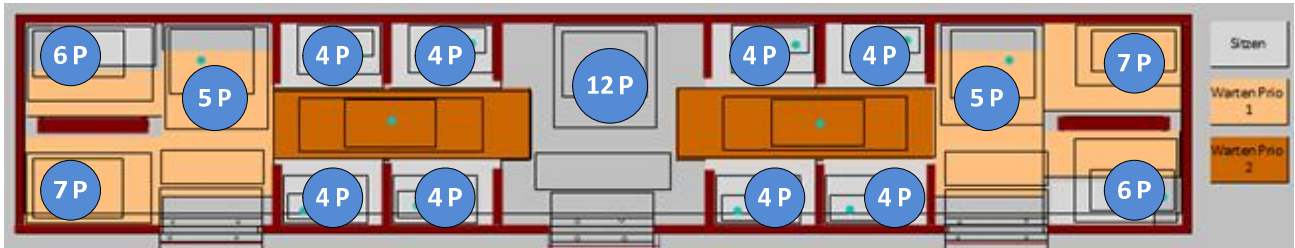


Abb. 12-69: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=80 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt. Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzuflüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.9)
0-4	Erzeugen Einsteiger Sitzen	Erzeugen Einsteiger Sitzen
4-10	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	-
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1

Tabelle 12-27: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 9, ISBv3.

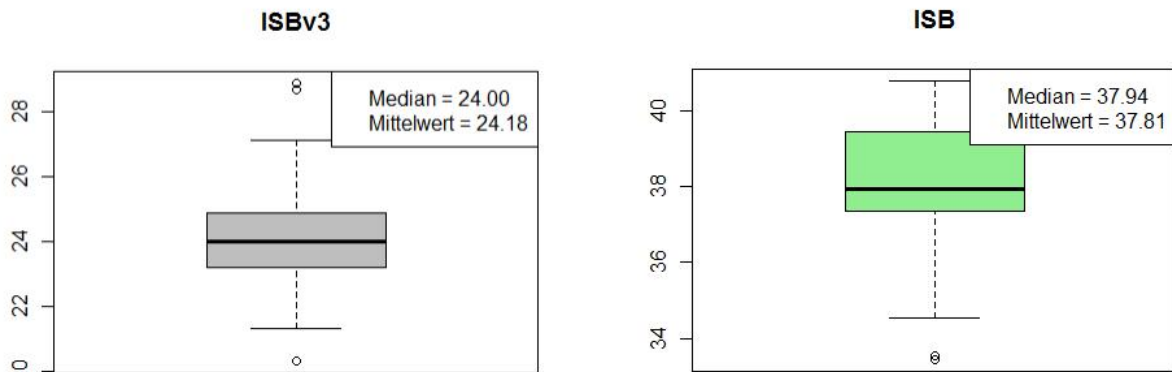


Abb. 12-70: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 9, Fahrgastwechsel mit 80 Einsteiger, F=80.

12.2.10 Szenario 10: ISB Variante 3, Einsteigen 70%

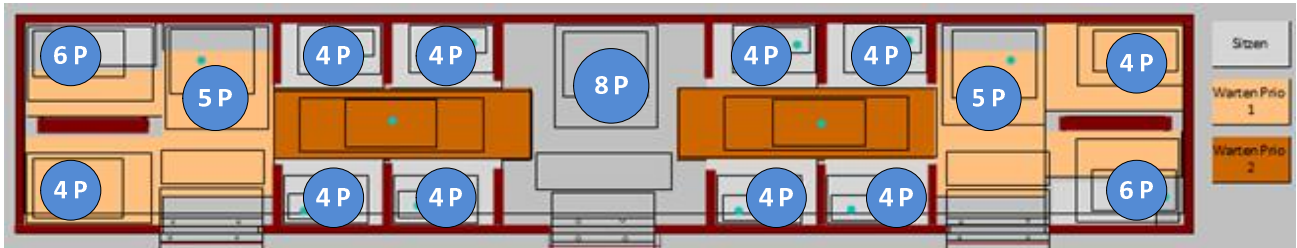


Abb. 12-71: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=70 Einsteiger. Die lichte Weite, welche zum Einsteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt. Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzuflüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.10)
0-4	Erzeugen Einsteiger Sitzen	Erzeugen Einsteiger Sitzen
4-10	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	-
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1

Tabelle 12-28: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 10, ISBv3.

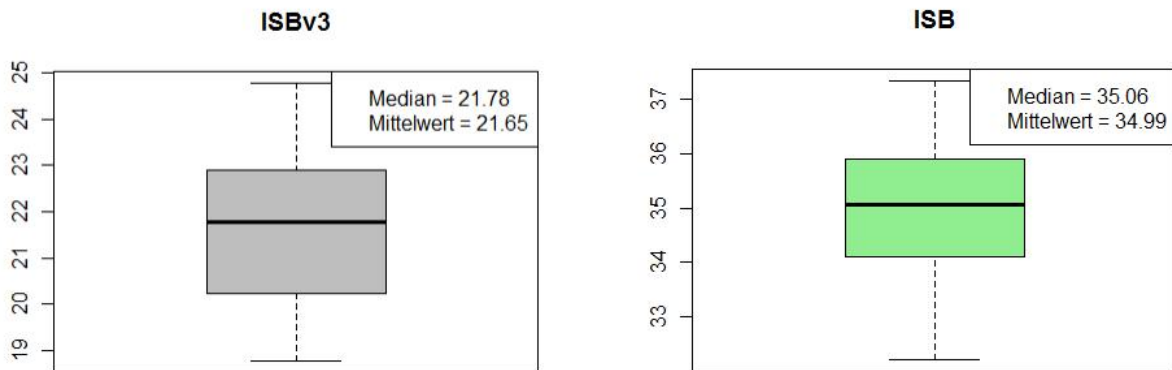


Abb. 12-72: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 10, Fahrgastwechsel mit 70 Einsteiger, F=70.

12.2.11 Szenario 11: ISB Variante 3, Aussteigen 80%

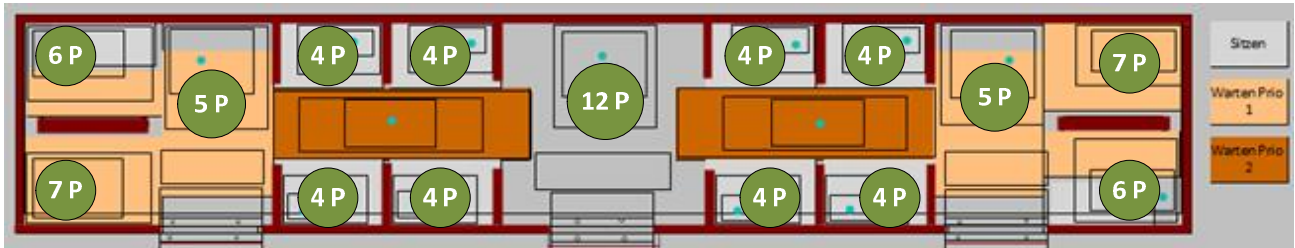


Abb. 12-73: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor erfolgtem Fahrgastwechsel. F=80 Aussteiger Die lichte Weite, welche zum Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Bei dieser Simulation war gegenüber Kapitel 12.1.11 keine Anpassung notwendig. Die Zeitintervallliste ist somit identisch.

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.11)
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1
7-15	Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Sitzen

Tabelle 12-29: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 11, ISBv3.

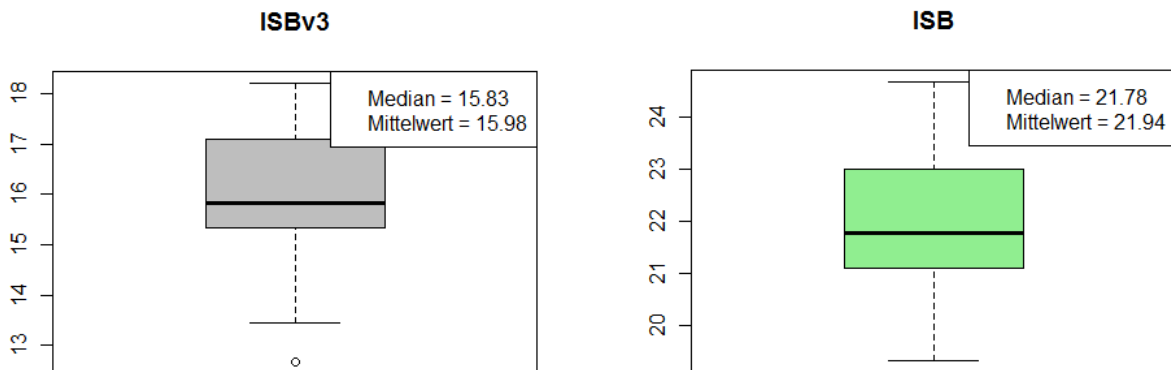


Abb. 12-74: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 11, Fahrgastwechsel mit 80 Aussteiger, F=80.

12.2.12 Szenario 12: ISB Variante 3, Fahrgastwechsel mit 160 Ein-/ Aussteiger

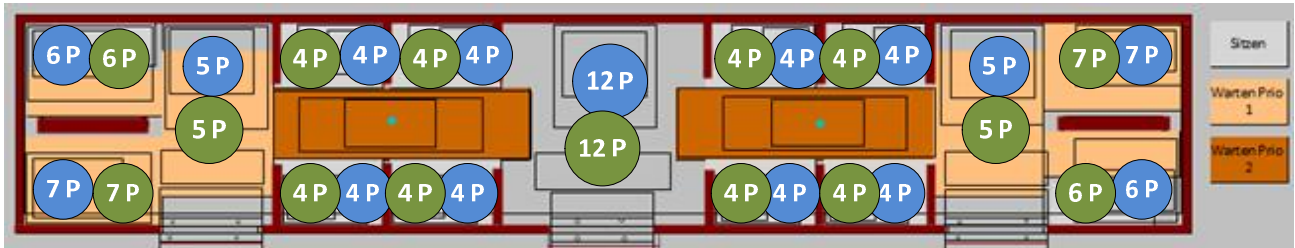


Abb. 12-75: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=160 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt. Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzufüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.12)
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
20-27	Erzeugen Einsteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	-
30-35	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	

Tabelle 12-30: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 12, ISBv3.

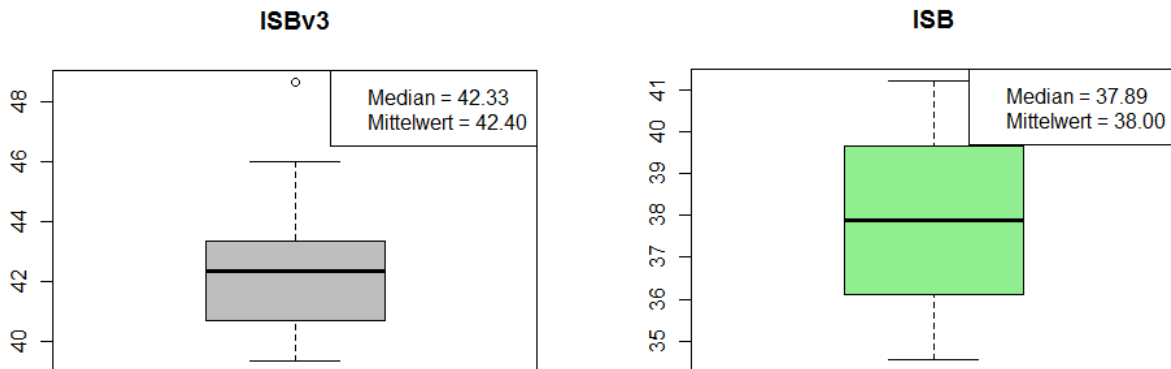


Abb. 12-76: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 12, Fahrgastwechsel mit 160 Ein-/ Aussteiger, F=160.

12.2.13 Szenario 13: ISB Variante 3, Fahrgastwechsel mit 140 Ein-/ Aussteiger

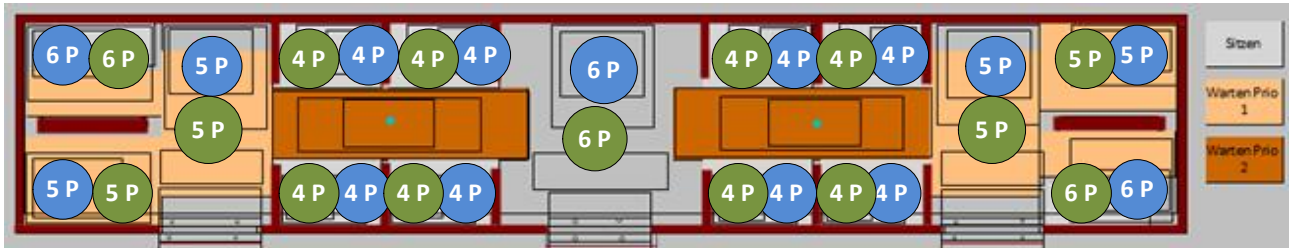


Abb. 12-77: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=140 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt. Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzuflüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.13)
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
19-26	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-
27-32	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	

Tabelle 12-31: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 13, ISBv3.

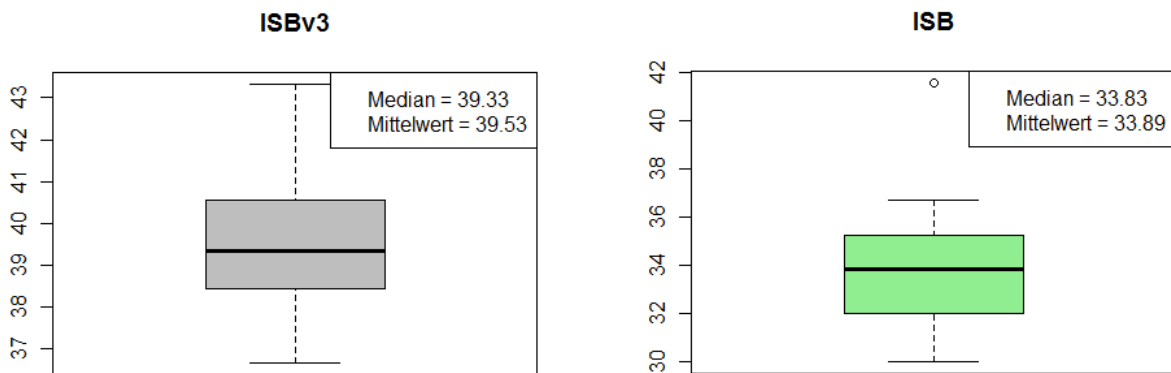


Abb. 12-78: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 1, Fahrgastwechsel mit 140 Ein-/ Aussteiger, F=140.

12.2.14 Szenario 14: ISB Variante 3, Fahrgastwechsel mit 120 Ein-/ Aussteiger

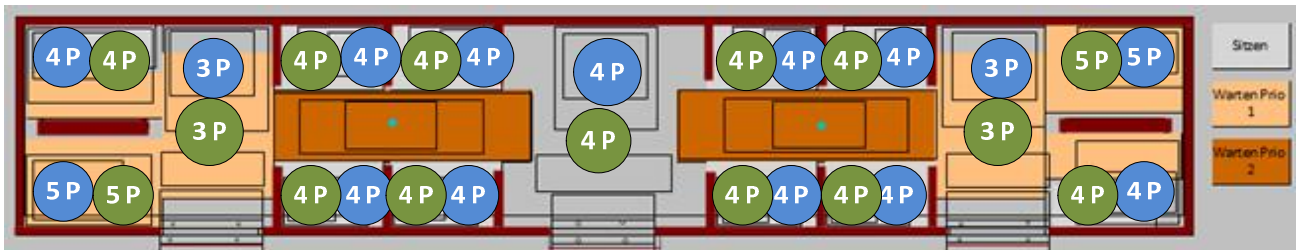


Abb. 12-79: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=120 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt. Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzuflüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.14)
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
18-26	Erzeugen Einsteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	-

Tabelle 12-32: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 14, ISBv3.

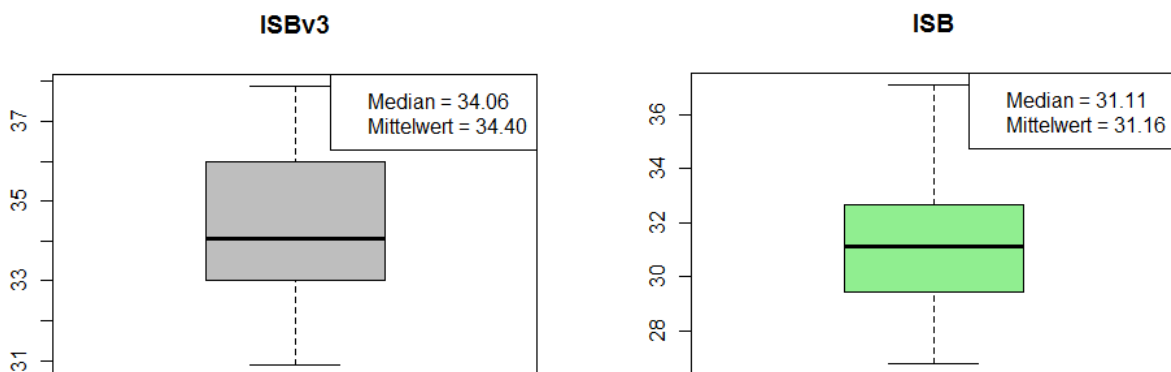


Abb. 12-80: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 14, Fahrgastwechsel mit 120 Ein-/ Aussteiger, F=120.

12.2.15 Szenario 15: ISB Variante 3, Fahrgastwechsel mit 100 Ein-/ Aussteiger

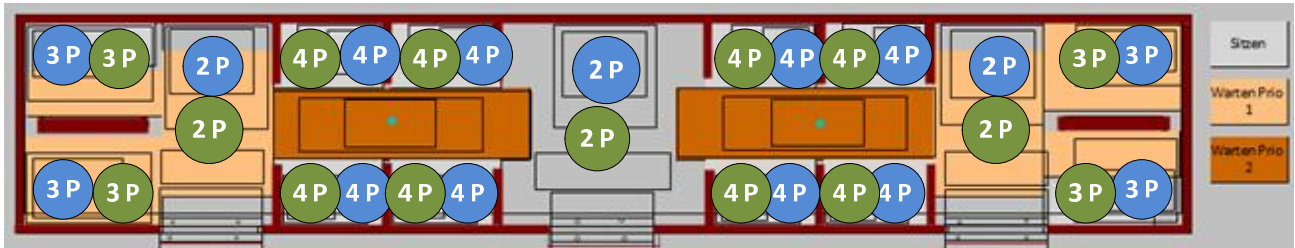


Abb. 12-81: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=100 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt. Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzuflüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.15)
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-20	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
16-24	Erzeugen Einsteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1	-

Tabelle 12-33: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 15, ISBv3.

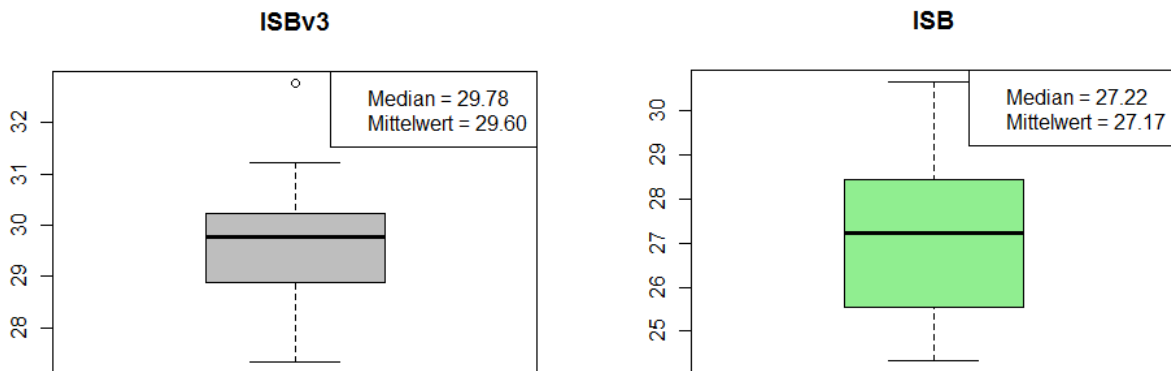


Abb. 12-82: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 15, Fahrgastwechsel mit 100 Ein-/ Aussteiger, F=100.

12.2.16 Szenario 16: ISB Variante 3, Fahrgastwechsel mit 80 Ein-/ Aussteiger



Abb. 12-83: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=80 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt. Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzuflüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.16)
0-7	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
10-15	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
15-19	Erzeugen Einsteiger Sitzen Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1	-

Tabelle 12-34: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 16, ISBv3.

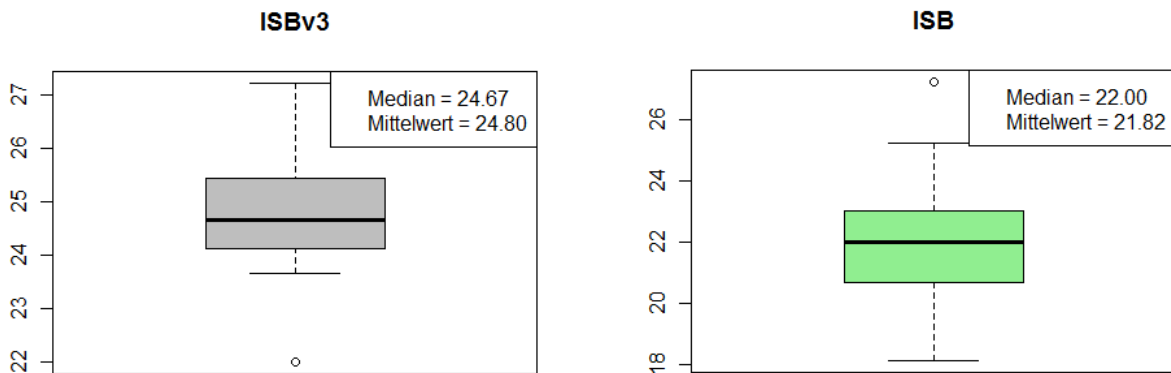


Abb. 12-84: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 16, Fahrgastwechsel mit 80 Ein-/ Aussteiger, F=80.

12.2.17 Szenario 17: ISB Variante 3, Fahrgastwechsel mit 60 Ein-/ Aussteiger



Abb. 12-85: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=60 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt. Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzuflüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.17)
0-7	Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Stehen Prio 1 Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
7-10	-	Erzeugen Einsteiger Stehen Prio 1
14-18	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-

Tabelle 12-35: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 17, ISBv3.

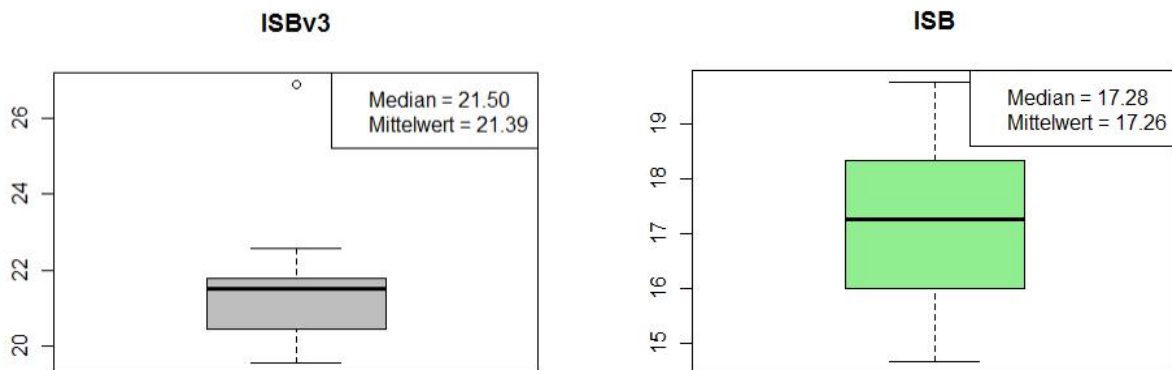


Abb. 12-86: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 17, Fahrgastwechsel mit 60 Ein-/ Aussteiger, F=60.

12.2.18 Szenario 18: ISB Variante 3, Fahrgastwechsel mit 40 Ein-/ Aussteiger



Abb. 12-87: Verteilung der Fahrgäste in der angepassten ISBv3 vor und nach erfolgtem Fahrgastwechsel. F=40 Ein-/ Aussteiger. Die lichte Weite, welche zum Ein-/ Aussteigen zur Verfügung steht, beträgt 4.20 m.

Die Zeitintervallliste der ISB aus dem vorherigen Kapitel 12.1 ist zum Vergleich mit aufgeführt. Die angepasste Zeitintervallliste der Personenzuflüsse für die ISBv3 sieht für diese Simulationen wie folgt aus:

Zeitintervall [s]	ISB (immer 3 Türen pro Richtung)	ISB (gemäss Kapitel 12.1.18)
0-7	Erzeugen Aussteiger Sitzen	Erzeugen Aussteiger Sitzen Erzeugen Einsteiger Sitzen
13-17	Erzeugen Einsteiger Sitzen	-

Tabelle 12-36: Zeitintervalle bei der Simulation Szenario 18, ISBv3.

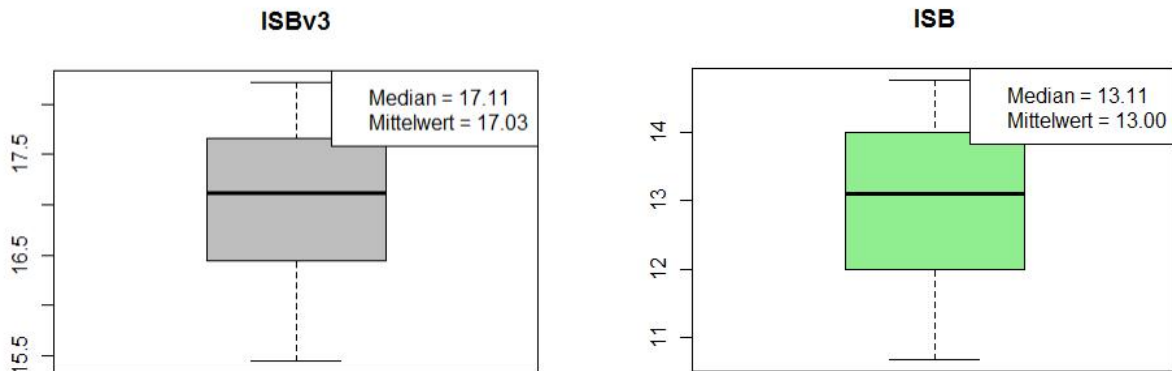
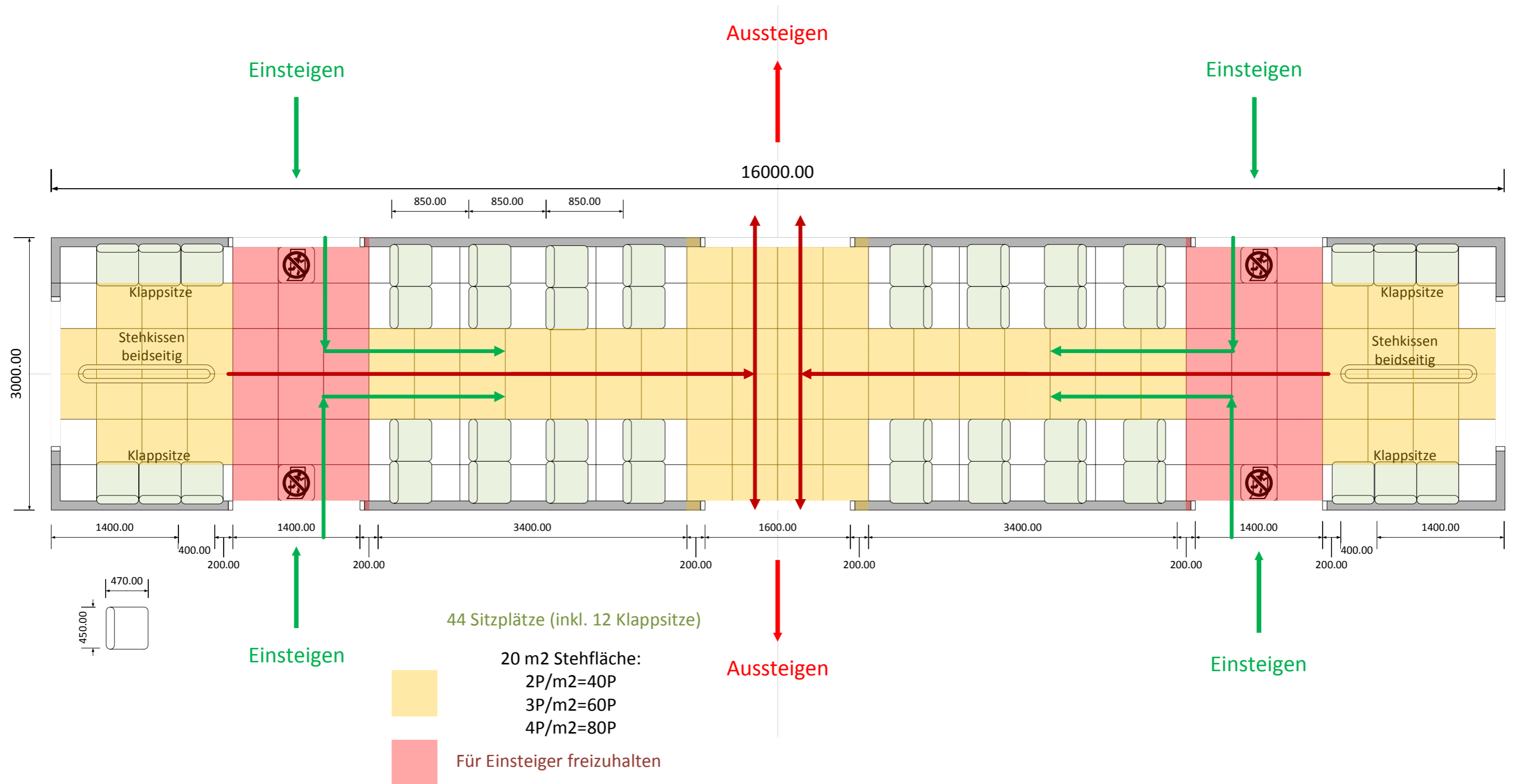


Abb. 12-88: Boxplots aus 30 Simulationen mit Median und Mittelwert der Fahrgastwechselzeit $t_{h,f}$ im direkten Vergleich ISBv3 und ISB, Szenario 18, Fahrgastwechsel mit 40 Einsteiger, F=40.

Leere Seite

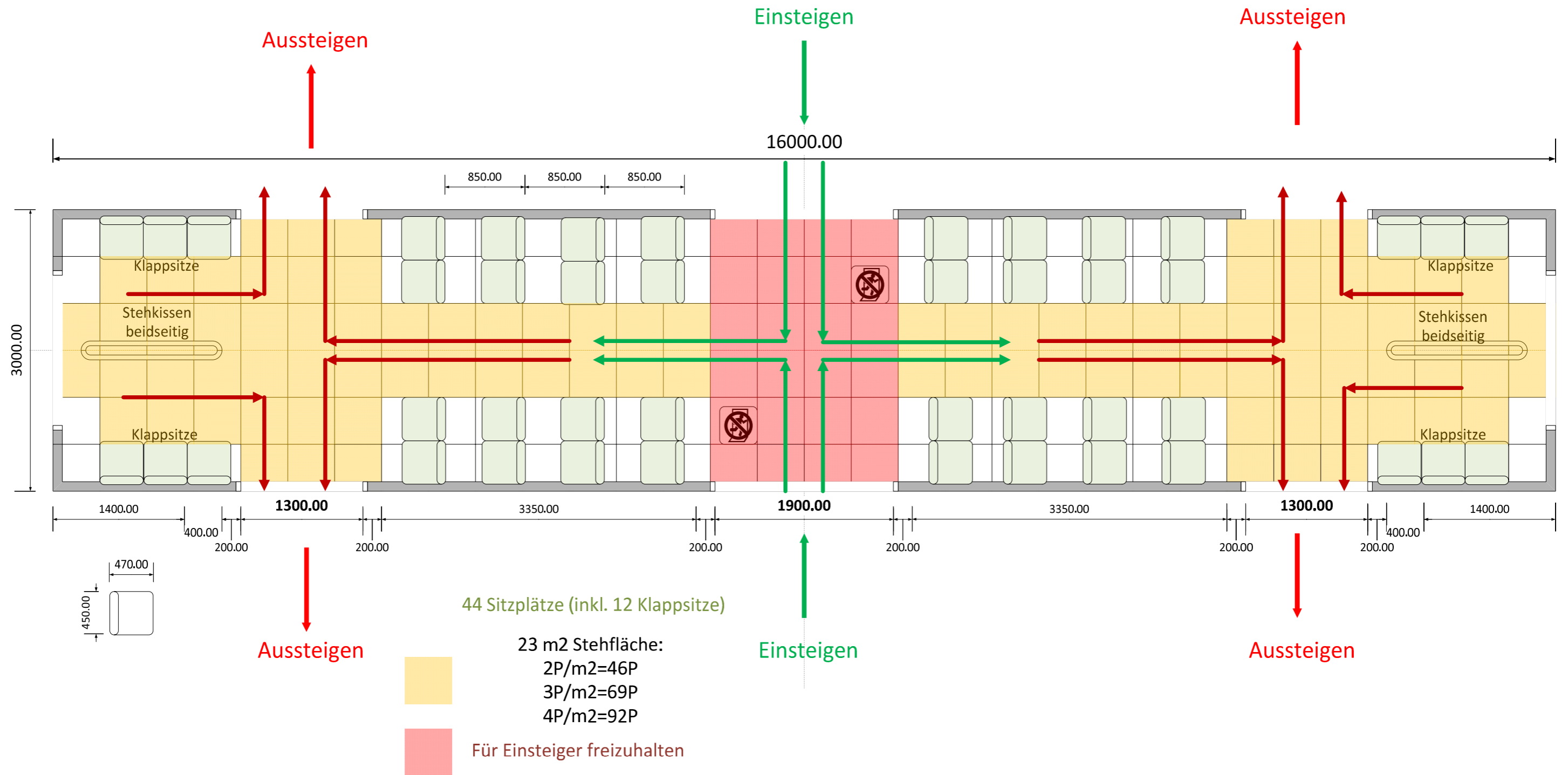
12.3 Fahrzeuglayouts ISB Variante 1 und 2

12.3.1 ISB Variante 1, Mittelwagen



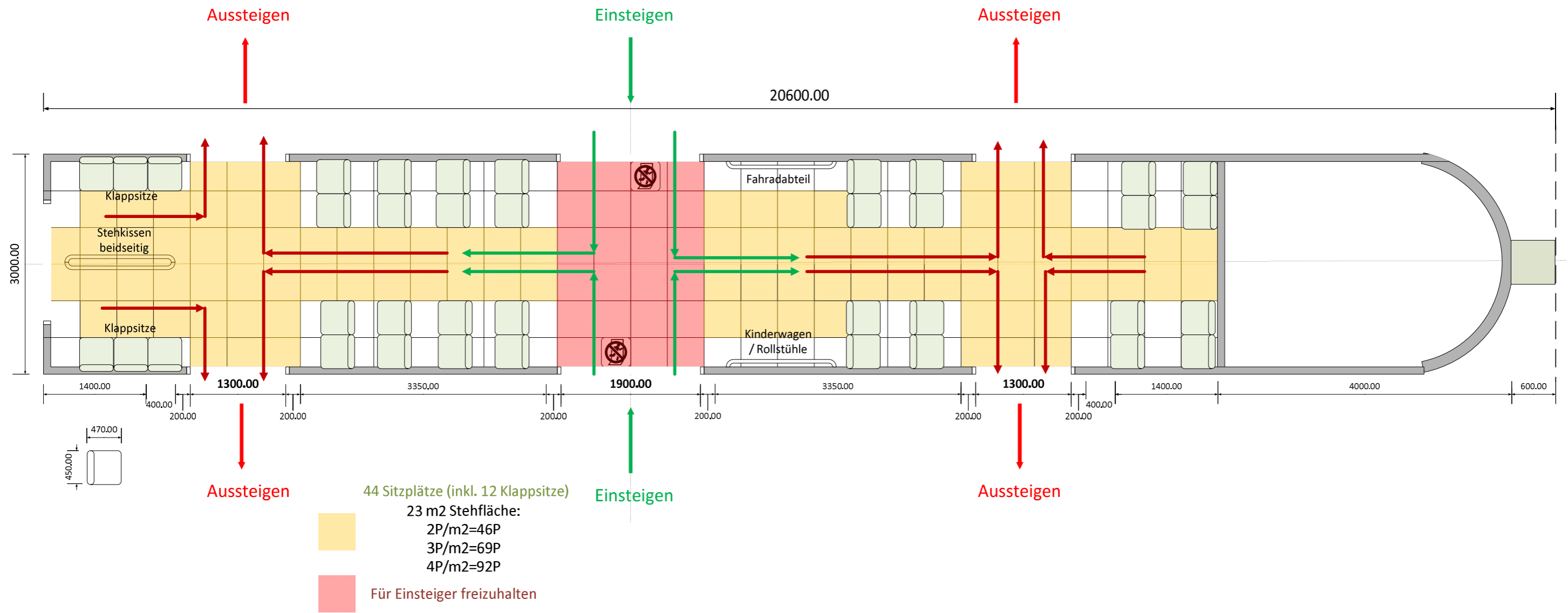
Leere Seite

12.3.2 ISB Variante 2, Mittelwagen



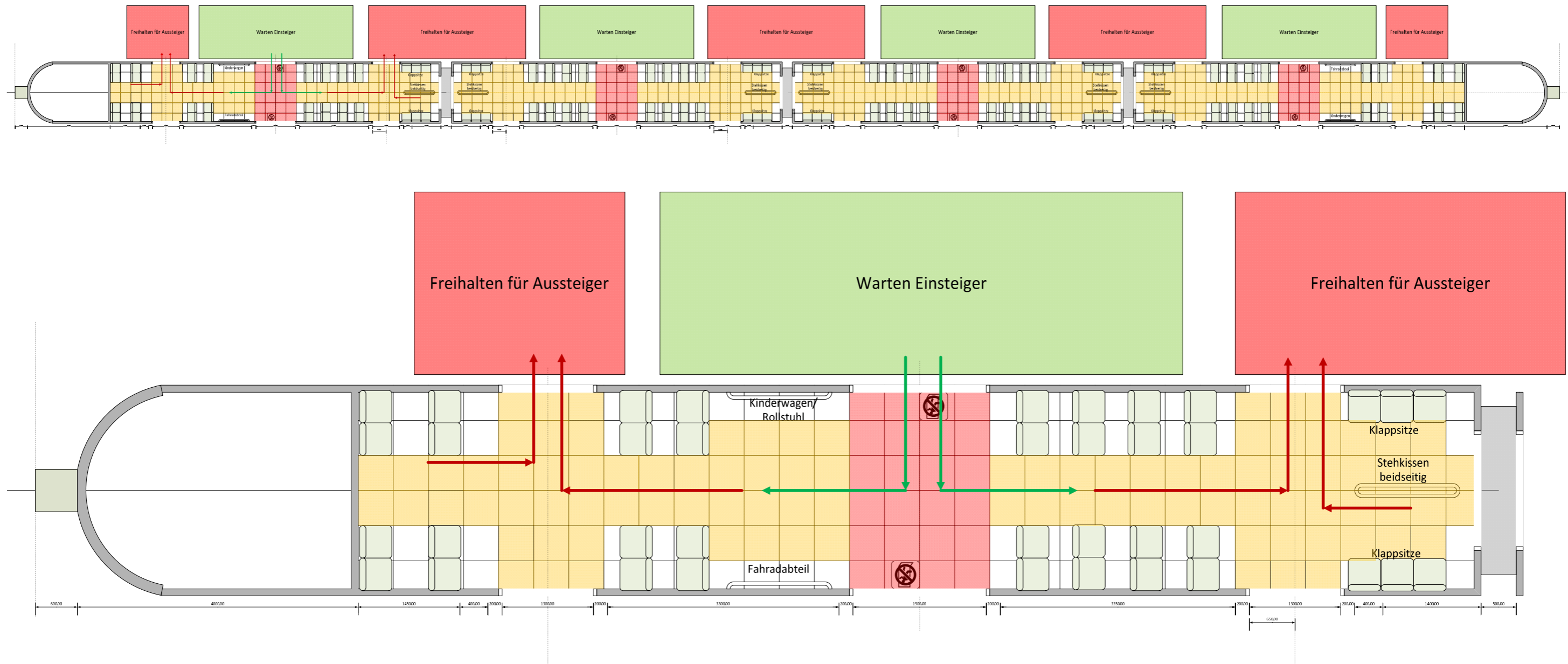
Leere Seite

12.3.3 ISB Variante 2, Endwagen (Steuerwagen)



Leere Seite

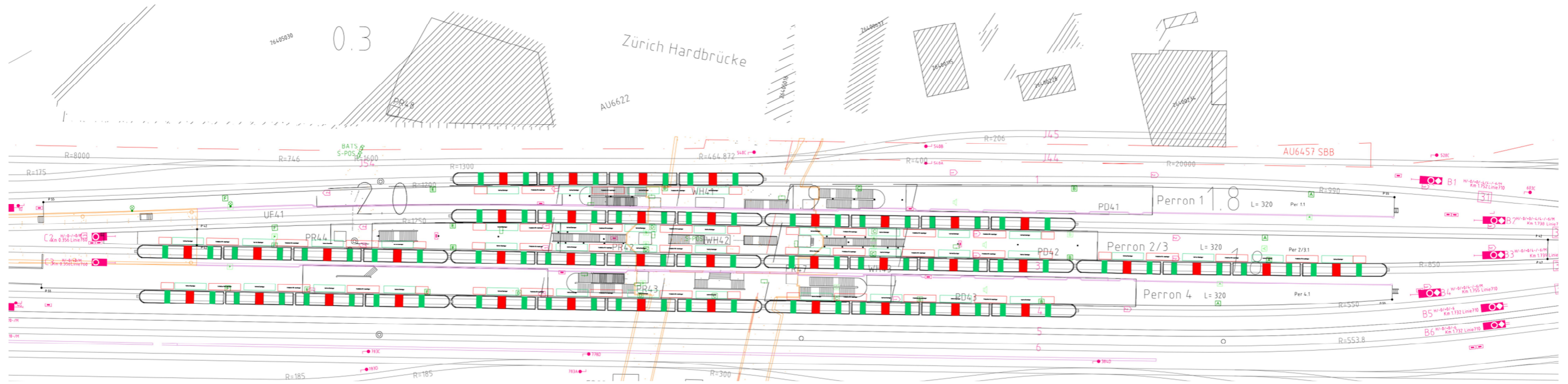
12.3.4 ISB Variante 2, Ganzer Zug vierteilig mit Bahnsteigmarkierungen



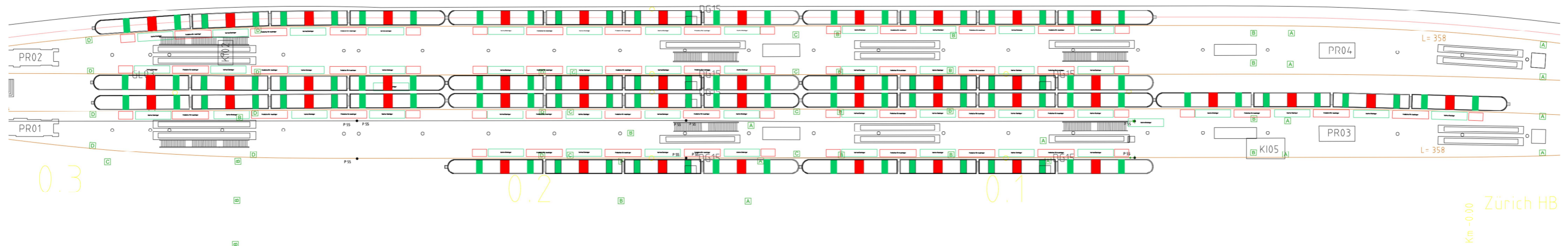
Leere Seite

12.4 Fahrzeuglayout ISB Variante 2 in bestehenden Gleistopologien

12.4.1 Hardbrücke

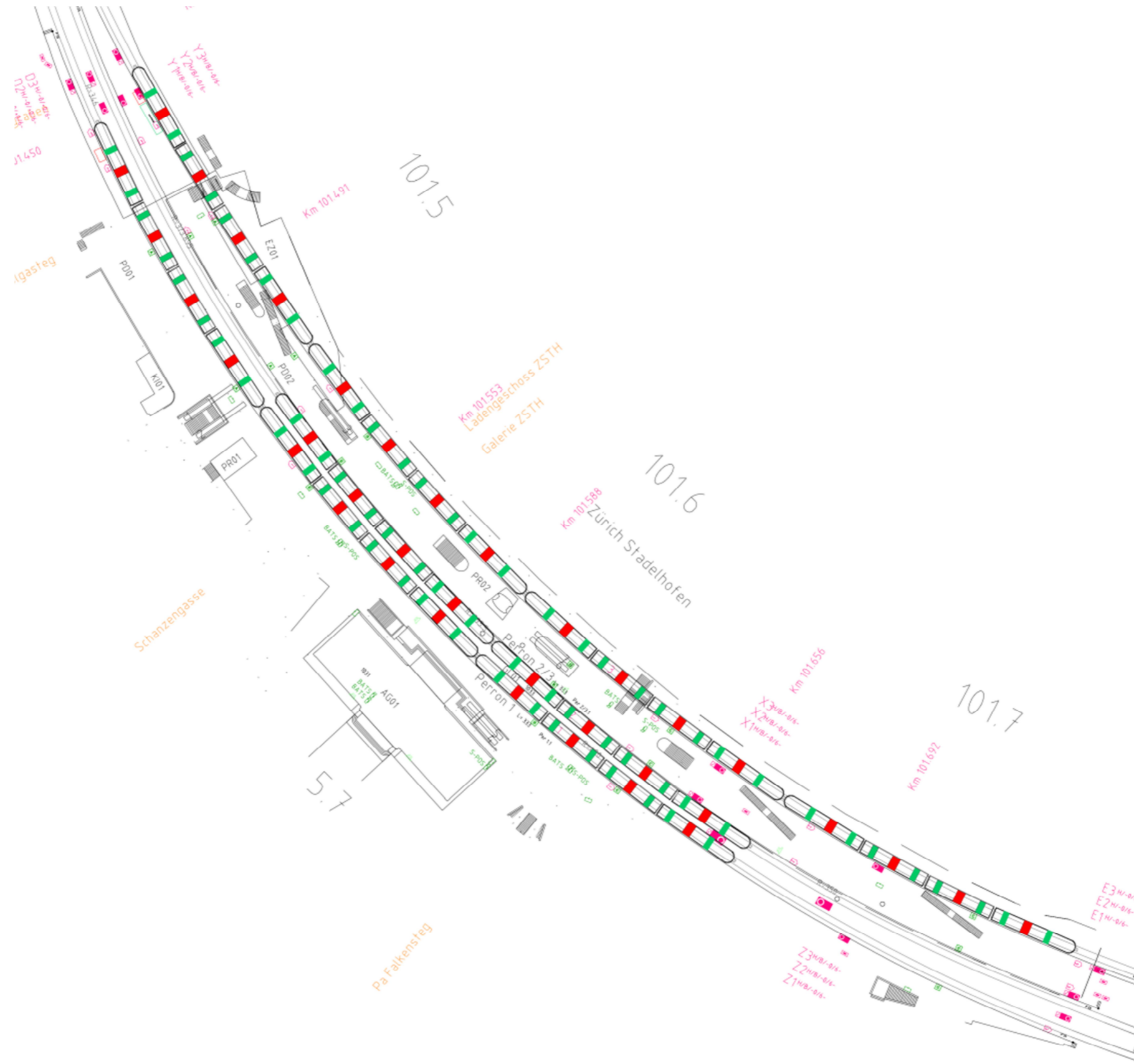


12.4.2 Museumsstrasse



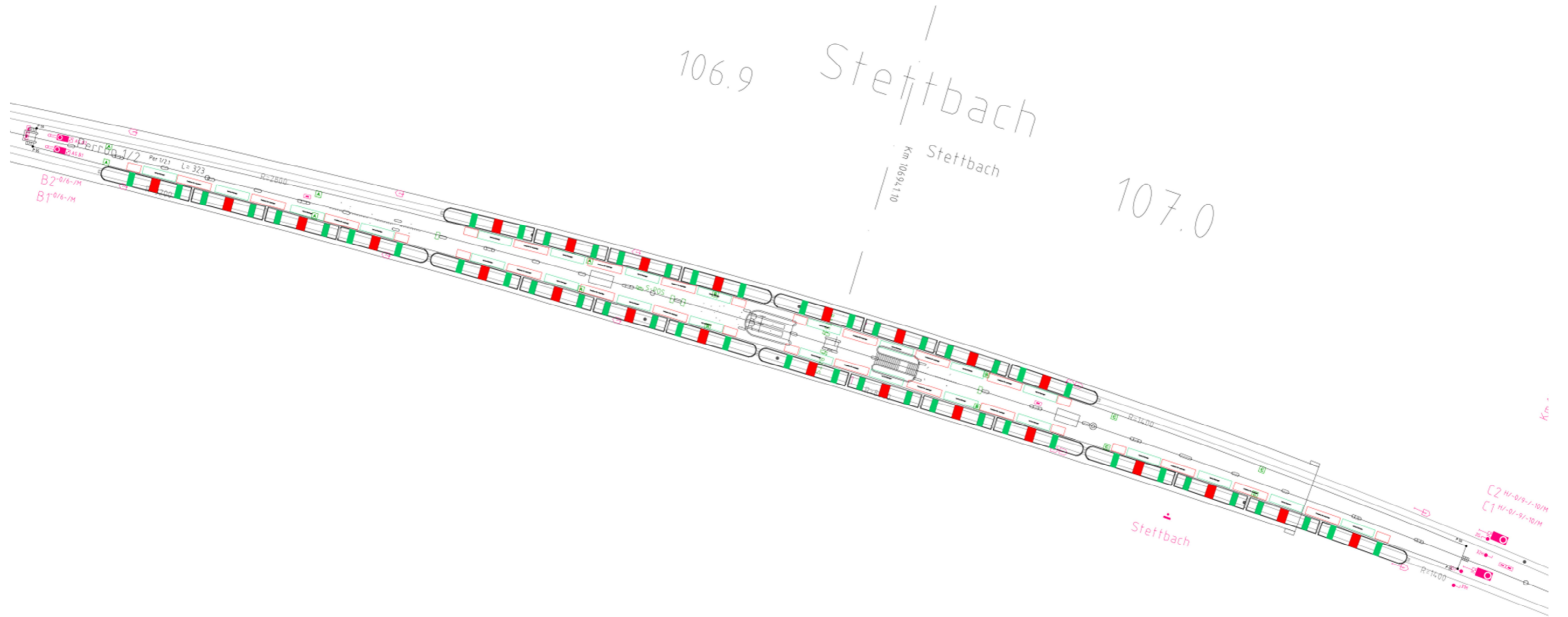
Leere Seite

12.4.3 Stadelhofen



Leere Seite

12.4.4 Stettbach



Leere Seite

12.5 Fahrgastzähldaten aus eigenen Beobachtungen

Index	Fahrzeugtyp	F	$t_{h,f}$	L	L_s	Station	Uhrzeit	Türe		
								1. Klasse	1./2. Klasse	2. Klasse
1	DPZ 1,900 m	36	23.94	1.50	0.79	W'thur	16:22			x
2	DPZ 1,900 m	31	27.39	1.13	0.60	Stadelhofen	08:05			x
3	DPZ 1,900 m	9	9.36	0.96	0.51	Stadelhofen	08:07			x
4	DPZ 1,900 m	34	31.51	1.08	0.57	Stadelhofen	08:07			x
5	DPZ 1,900 m	40	31.97	1.25	0.66	Stettbach	08:16			x
6	DPZ 1,900 m	28	35.22	0.80	0.42	Stettbach	08:16			x
7	DPZ 1,900 m	23	18.04	1.27	0.67	Stettbach	08:24			x
8	DPZ 1,900 m	31	29.04	1.07	0.56	Stettbach	08:27			x
9	DPZ 1,900 m	34	41.44	0.82	0.43	W'thur	16:21	x		
10	DPZ 1,900 m	50	49.59	1.01	0.53	W'thur	16:21			x
11	DPZ 1,900 m	24	25	0.96	0.51	Stettbach	16:34			x
12	DPZ 1,900 m	5	7.39	0.68	0.36	Zürich Altstetten	06:50			x
13	DPZ 1,900 m	33	30.49	1.08	0.57	Zürich Altstetten	17:05			x
14	DPZ 1,900 m	36	30.87	1.17	0.61	Dietikon	17:15			x
15	DPZ 1,900 m	34	27.68	1.23	0.65	Dietikon	17:20			x
16	DPZ 1,900 m	9	6.19	1.45	0.77	Dietikon	06:45			x
17	DPZ 1,900 m	5	7.18	0.70	0.37	Glanzenberg	17:15			x
18	DPZ 1,900 m	11	9.45	1.16	0.61	Hardbrücke	16:45			x
19	DPZ 1,900 m	20	20.14	0.99	0.52	Hardbrücke	17:00			x
20	DPZ 1,900 m	6	5.31	1.13	0.59	Hardbrücke	16:45			x
21	DPZ 1,900 m	18	21.19	0.85	0.45	Hardbrücke	07:00			x
22	DPZ 1,900 m	15	13.05	1.15	0.60	Hardbrücke	16:45			x
23	DPZ 1,900 m	22	26.63	0.83	0.43	Hardbrücke	17:00			x
24	DPZ 1,900 m	6	4.83	1.24	0.65	Hardbrücke	06:55			x
25	DPZ 1,900 m	8	9.19	0.87	0.46	Killw.-Spreit.	06:45			x
26	DPZ 1,900 m	25	21.58	1.16	0.61	Lenzburg	17:35			x
27	DPZ 1,900 m	14	12.15	1.15	0.61	Lenzburg	06:25			x
28	DPZ 1,900 m	12	10.78	1.11	0.59	Lenzburg	06:25			x
29	DPZ 1,900 m	8	5.9	1.36	0.71	Mägenwil	06:30			x
30	DPZ 1,900 m	23	16.72	1.38	0.72	Mell-Heitersb.	06:40			x
31	DPZ 1,900 m	12	9.93	1.21	0.64	Zürich HB	07:30			x
32	DPZ 1,900 m	29	21.04	1.38	0.73	Zürich HB	16:40			x
33	DPZ 1,900 m	64	57.87	1.11	0.58	Zürich HB	07:35			x
34	DPZ 1,900 m	37	32.22	1.15	0.60	Zürich HB	16:40			x
35	DPZ 1,900 m	31	29.28	1.06	0.56	Zürich HB	07:00			x
36	DPZ 1,900 m	29	35.1	0.83	0.43	Schlieren	17:15			x
37	DPZ 1,900 m	12	11.08	1.08	0.57	Schlieren	06:50			x
38	DPZ 1,900 m	42	39.12	1.07	0.57	Stadelhofen	16:30			x
39	DPZ 1,900 m	43	37.83	1.14	0.60	Stadelhofen	08:05			x
40	DPZ 1,900 m	31	30.81	1.01	0.53	Stadelhofen	16:40			x
41	DPZ 1,900 m	7	6.51	1.08	0.57	Stadelhofen	07:55		x	

Index	Fahrzeugtyp	F	$t_{h,f}$	L	L_s	Station	Uhrzeit	Türe		
								1. Klasse	1./2. Klasse	2. Klasse
42	DPZ 1,900 m	41	43.59	0.94	0.50	Stettbach	16:30			x
43	DPZ 1,900 m	19	17.26	1.10	0.58	Stettbach	08:10			x
44	DPZ 1,900 m	23	21.57	1.07	0.56	Stettbach	08:15			x
45	DPZ 1,900 m	12	11.13	1.08	0.57	Stettbach	08:20			x
46	DPZ 1,900 m	40	33.17	1.21	0.63	Stettbach	16:35			x
47	DPZ 1,900 m	14	10.41	1.34	0.71	Stettbach	08:20		x	
48	DPZ 1,900 m	25	22.65	1.10	0.58	W'thur	16:20			x
49	DPZ 1,400 m	19	20.6	0.92	0.66	Zürich HB	07:33			x
50	DPZ 1,400 m	52	53.56	0.97	0.69	Stadelhofen	07:59			x
51	DPZ 1,400 m	30	25.34	1.18	0.85	Hardbrücke	06:55			x
52	DPZ 1,400 m	27	25.3	1.07	0.76	Zürich Altstetten	06:50			x
53	DPZ 1,400 m	25	38.91	0.64	0.46	Schlieren	06:50			x
54	DPZ 1,400 m	6	11.19	0.54	0.38	Glanzenberg	06:45			x
55	DPZ 1,400 m	12	12.7	0.94	0.67	Dietikon	06:45			x
56	DPZ 1,400 m	24	25.15	0.95	0.68	Killw.-Spreit.	06:40			x
57	DPZ 1,400 m	22	20.35	1.08	0.77	Mell.-Heitersb.	06:35			x
58	DPZ 1,400 m	21	21.09	1.00	0.71	Mägenwil	06:30			x
59	DPZ 1,400 m	4	7	0.57	0.41	Othmarsingen	06:30			x
60	DPZ 1,400 m	29	27.8	1.04	0.75	Lenzburg	06:25			x
61	DPZ 1,400 m	23	26.03	0.88	0.63	Stadelhofen	08:05			x
62	DPZ 1,400 m	37	33.81	1.09	0.78	Zürich HB	07:35			x
63	NDW 1,330 m	14	18.27	0.77	0.58	Stettbach	16:35			x
64	NDW 1,330 m	53	62.39	0.85	0.64	Zürich HB	16:44			x
65	NDW 1,330 m	49	45.35	1.08	0.81	Zürich HB	07:29			x
66	NDW 1,330 m	33	38.29	0.86	0.65	Zürich HB	07:31			x
67	NDW 1,330 m	9	8.9	1.01	0.76	Zürich Altstetten	12:55			x
68	NDW 1,330 m	24	36.42	0.66	0.50	Dietikon	12:45			x
69	NDW 1,330 m	3	16.14	0.19	0.14	Hardbrücke	16:45			x
70	NDW 1,330 m	16	21.31	0.75	0.56	Hardbrücke	07:15			x
71	NDW 1,330 m	7	5.42	1.29	0.97	Killw.-Spreit.	12:40			x
72	NDW 1,330 m	14	13.12	1.07	0.80	Lenzburg	06:25			x
73	NDW 1,330 m	22	26.21	0.84	0.63	Lenzburg	18:05			x
74	NDW 1,330 m	12	11.75	1.02	0.77	Lenzburg	12:25			x
75	NDW 1,330 m	5	6.26	0.80	0.60	Mell.-Heitersb.	12:35			x
76	NDW 1,330 m	4	4.6	0.87	0.65	Schlieren	12:50			x
77	NDW 1,330 m	37	36.7	1.01	0.76	W'thur	16:20			x
78	NDW 1,330 m	45	47.07	0.96	0.72	Zürich HB	08:46			x
79	NDW 1,330 m	26	38.5	0.68	0.51	Zürich HB	08:54			x
80	NDW 1,330 m	25	25.49	0.98	0.74	W'thur	16:23			x
81	NDW 1,330 m	21	19.35	1.09	0.82	Zürich HB	16:44			x
82	NDW 1,330 m	13	13.79	0.94	0.71	Stadelhofen	16:40			x
83	DTZ 1,400 m	40	39.75	1.01	0.72	Zürich HB	07:41			x

Index	Fahrzeugtyp	F	$t_{h,f}$	L	L_s	Station	Uhrzeit	Türe		
								1. Klasse	1./2. Klasse	2. Klasse
84	DTZ 1,400 m	7	7.5	0.93	0.67	Stadelhofen	07:47			x
85	DTZ 1,400 m	20	18.66	1.07	0.77	Stadelhofen	07:50			x
86	DTZ 1,400 m	5	7.39	0.68	0.48	Zürich Altstetten	13:00			x
87	DTZ 1,400 m	13	12.75	1.02	0.73	Zürich Altstetten	13:00			x
88	DTZ 1,400 m	10	7.2	1.39	0.99	Zürich HB	16:15			x
89	DTZ 1,400 m	14	13.44	1.04	0.74	Zürich HB	08:08			x
90	DTZ 1,400 m	19	25.95	0.73	0.52	Zürich HB	08:14			x
91	DTZ 1,400 m	14	24.29	0.58	0.41	Zürich HB	08:17		x	
92	DTZ 1,400 m	7	10.63	0.66	0.47	Zürich HB	08:17		x	
93	DTZ 1,400 m	12	13.23	0.91	0.65	Hardbrücke	07:05			x
94	DTZ 1,400 m	12	8.23	1.46	1.04	Hardbrücke	07:20			x
95	DTZ 1,400 m	26	18.84	1.38	0.99	Zürich HB	17:20			x
96	DTZ 1,400 m	16	16.04	1.00	0.71	Zürich HB	08:10			x
97	DTZ 1,400 m	38	38.34	0.99	0.71	Zürich HB	08:10			x
98	DTZ 1,400 m	12	12.93	0.93	0.66	Zürich HB	07:40		x	
99	DTZ 1,400 m	5	4.43	1.13	0.81	Stadelhofen	07:45			x
100	DTZ 1,400 m	3	1.91	1.57	1.12	Zürich Altstetten	13:00			x
101	DTZ 1,400 m	15	18.69	0.80	0.57	Zürich Altstetten	13:00			x
102	DTZ 1,400 m	28	26.27	1.07	0.76	Zürich Altstetten	14:00			x
103	DTZ 1,400 m	9	6.19	1.45	1.04	Hardbrücke	07:05		x	
104	DTZ 1,400 m	16	19.73	0.81	0.58	Zürich HB	16:20			x
105	DTZ 1,400 m	18	17.03	1.06	0.75	Zürich HB	16:25			x
106	DTZ 1,400 m	12	12.35	0.97	0.69	Zürich HB	08:15		x	
107	DTZ 1,400 m	13	14.03	0.93	0.66	Oerlikon	17:10			x
108	DTZ 1,400 m	23	19.54	1.18	0.84	Oerlikon	07:20			x
109	DTZ 1,400 m	35	33.13	1.06	0.75	Oerlikon	17:10			x
110	DTZ 1,400 m	19	15.62	1.22	0.87	Wallisellen	17:05			x
111	DTZ 1,400 m	21	15.71	1.34	0.95	Wallisellen	07:25			x
112	DTZ 1,400 m	23	17.21	1.34	0.95	Wallisellen	17:00			x
113	DTZ 1,400 m	25	26.25	0.95	0.68	Wallisellen	17:05			x
114	DTZ 1,400 m	19	14.17	1.34	0.96	Wallisellen	16:30			x
115	DTZ 1,400 m	5	4.72	1.06	0.76	Zug	07:15		x	
116	DTZ 1,400 m	5	5.65	0.88	0.63	Zürich Altstetten	14:00			x
117	DTZ 1,400 m	13	13.66	0.95	0.68	Zürich Altstetten	14:00			x
118	DTZ 1,400 m	8	6.54	1.22	0.87	Zürich HB	17:15			x
119	DTZ 1,400 m	14	12.93	1.08	0.77	Zürich HB	09:08			x
120	DTZ 1,400 m	19	19.15	0.99	0.71	Zürich HB	09:14			x
121	DTZ 1,400 m	14	24.18	0.58	0.41	Zürich HB	09:17		x	
122	DTZ 1,400 m	10	10.3	0.97	0.69	Zürich HB	09:17		x	
123	DTZ 1,400 m	37	40.3	0.92	0.66	Zürich HB	08:13			x
124	DTZ 1,400 m	36	42.91	0.84	0.60	Zürich HB	08:18			x
125	DTZ 1,400 m	21	23.13	0.91	0.65	Zürich HB	08:19			x

Index	Fahrzeugtyp	F	$t_{h,f}$	L	L_s	Station	Uhrzeit	Türe		
								1. Klasse	1./2. Klasse	2. Klasse
126	DTZ 1,400 m	17	22.49	0.76	0.54	Zürich HB	08:19			x
127	DTZ 1,400 m	16	17.48	0.92	0.65	Zürich HB	08:20			x
128	DTZ 1,400 m	43	35.96	1.20	0.85	Zürich HB	16:50			x
129	DTZ 1,400 m	17	16.6	1.02	0.73	Oerlikon	17:13			x
130	DTZ 1,400 m	35	38.53	0.91	0.65	Wallisellen	16:38			x
131	DTZ 1,400 m	13	13.61	0.96	0.68	Wallisellen	17:09			x
132	DTZ 1,400 m	18	15.34	1.17	0.84	Wallisellen	16:34			x
133	DTZ 1,400 m	28	26.74	1.05	0.75	Zürich HB	17:21			x
134	DTZ 1,400 m	46	36.96	1.24	0.89	Zürich HB	16:51			x
135	Regio Dosto 1,400 m	12	30.71	0.39	0.28	Zürich HB	17:03			x
136	Regio Dosto 1,400 m	31	26.72	1.16	0.83	Zürich HB	17:03			x
137	Regio Dosto 1,400 m	28	24.04	1.16	0.83	W'thur	15:50		x	
138	Regio Dosto 1,400 m	7	5.9	1.19	0.85	Hardbrücke	16:55			x
139	Regio Dosto 1,400 m	9	8.77	1.03	0.73	Hardbrücke	16:55			x
140	Regio Dosto 1,400 m	8	7.24	1.10	0.79	Hardbrücke	07:20			x
141	Regio Dosto 1,400 m	3	3.1	0.97	0.69	Hardbrücke	07:20			x
142	Regio Dosto 1,400 m	29	26.76	1.08	0.77	W'thur	15:50			x
143	Regio Dosto 1,400 m	30	31.16	0.96	0.69	Zürich HB	16:20			x
144	Regio Dosto 1,400 m	15	14.59	1.03	0.73	Zürich HB	16:25			x
145	Regio Dosto 1,400 m	15	13.6	1.10	0.79	Stadelhofen	07:50			x
146	Regio Dosto 1,400 m	12	12.08	0.99	0.71	Stadelhofen	16:15			x
147	Regio Dosto 1,400 m	13	16.15	0.80	0.57	Stettbach	16:05			x
148	Regio Dosto 1,400 m	31	23.86	1.30	0.93	W'thur	16:50		x	
149	Regio Dosto 1,400 m	17	19.79	0.86	0.61	Zürich HB	08:19		x	
150	Regio Dosto 1,400 m	9	10.32	0.87	0.62	Zürich Altstetten	14:15			x
151	Regio Dosto 1,400 m	14	17.47	0.80	0.57	Basel	15:24			x
152	Regio Dosto 1,400 m	8	14.21	0.56	0.40	Rheinfelden	15:10			x
153	Flirt 1,400 m	2	1.43	1.40	1.00	Aarb.-Oftringen	18:10			x
154	Flirt 1,400 m	7	5.52	1.27	0.91	Buchrain	18:25			x
155	Flirt 1,400 m	6	6.25	0.96	0.69	Buchrain	06:30			x
156	Flirt 1,400 m	8	10.33	0.77	0.55	Cham	17:55			x
157	Flirt 1,400 m	6	9.05	0.66	0.47	Cham	17:55			x
158	Flirt 1,400 m	10	9.1	1.10	0.78	Cham	06:50			x
159	Flirt 1,400 m	18	23.67	0.76	0.54	Cham	18:00			x

Index	Fahrzeugtyp	F	$t_{h,f}$	L	L_s	Station	Uhrzeit	Türe		
								1. Klasse	1./2. Klasse	2. Klasse
160	Flirt 1,400 m	5	3.5	1.43	1.02	Chämleten	18:00			x
161	Flirt 1,400 m	6	11.51	0.52	0.37	Dierikon	18:20			x
162	Flirt 1,400 m	10	10.18	0.98	0.70	Ebikon	18:30			x
163	Flirt 1,400 m	7	5.97	1.17	0.84	Ebikon	06:25			x
164	Flirt 1,400 m	5	6.6	0.76	0.54	Gisikon	06:35			x
165	Flirt 1,400 m	15	13.88	1.08	0.77	Lenzburg	06:25			x
166	Flirt 1,400 m	9	20.11	0.45	0.32	Lenzburg	06:25			x
167	Flirt 1,400 m	8	7.27	1.10	0.79	Lenzburg	06:25			x
168	Flirt 1,400 m	5	4.78	1.05	0.75	Luzern	18:50	x		
169	Flirt 1,400 m	24	26.51	0.91	0.65	Luzern	18:35			x
170	Flirt 1,400 m	11	9.14	1.20	0.86	Luzern	18:45			x
171	Flirt 1,400 m	8	11.48	0.70	0.50	Luzern	06:10			x
172	Flirt 1,400 m	12	10.08	1.19	0.85	Luzern	06:10			x
173	Flirt 1,400 m	8	9.65	0.83	0.59	Luzern	06:15	x		
174	Flirt 1,400 m	3	2.05	1.46	1.05	Nebikon	18:20			x
175	Flirt 1,400 m	4	3.15	1.27	0.91	Root	06:35			x
176	Flirt 1,400 m	9	8.17	1.10	0.79	Rotkreuz	18:05			x
177	Flirt 1,400 m	10	8	1.25	0.89	Rotkreuz	18:05			x
178	Flirt 1,400 m	4	5.37	0.74	0.53	Rotkreuz	18:10			x
179	Flirt 1,400 m	19	22.6	0.84	0.60	Rotkreuz	06:40			x
180	Flirt 1,400 m	5	6.41	0.78	0.56	Zug Schutzengel	18:00			x
181	Flirt 1,400 m	4	3.13	1.28	0.91	Zug Schutzengel	18:00			x
182	Flirt 1,400 m	5	5.51	0.91	0.65	Sursee	18:30			x
183	Flirt 1,400 m	5	4.92	1.02	0.73	Zug	07:00			x
184	Flirt 1,400 m	8	8.11	0.99	0.70	Zug	06:55			x
185	Flirt 1,400 m	23	42.4	0.54	0.39	Zug	17:35			x
186	Flirt 1,400 m	18	21.65	0.83	0.59	Zug	17:50			x
187	Flirt 1,400 m	29	38.58	0.75	0.54	Zug	17:05			x
188	Flirt 1,400 m	23	34.14	0.67	0.48	Zug	17:20			x
189	Flirt 1,400 m	28	34.6	0.81	0.58	Zug	17:35			x
190	Flirt 1,400 m	20	22.83	0.88	0.63	Zug	17:50			x
191	Flirt 1,400 m	26	24.95	1.04	0.74	Zug	07:05			x
192	Flirt 1,400 m	11	10.35	1.06	0.76	Zug	07:15			x
193	Flirt 1,400 m	16	14.19	1.13	0.81	Zug	07:15			x
194	Flirt 1,400 m	27	28.35	0.95	0.68	Zug	07:20			x
195	Flirt 1,400 m	40	37.58	1.06	0.76	Basel	15:28	Türe 3		
	Flirt 1,400 m	21	21.56	0.97	0.70	Basel	15:28	Türe 4		
	Flirt 1,400 m	12	21.34	0.56	0.40	Basel	15:28	Türe 6		
196	Flirt 1,400 m	8	11.5	0.70	0.50	Basel	15:40	Türe 3		
	Flirt 1,400 m	5	6.93	0.72	0.52	Basel	15:40	Türe 4		
	Flirt 1,400 m	8	12.78	0.63	0.45	Basel	15:40	Türe 8		
	Flirt 1,400 m	10	14.09	0.71	0.51	Basel	15:40	Türe 9		

Index	Fahrzeugtyp	F	$t_{h,f}$	L	L_S	Station	Uhrzeit	Türe		
								1. Klasse	1./2. Klasse	2. Klasse
	Flirt 1,400 m	11	10.74	1.02	0.73	Basel	15:40	Türe 16		
	Flirt 1,400 m	12	15.67	0.77	0.55	Basel	15:40	Türe 11		
197	Flirt 1,400 m	12	16.75	0.72	0.51	Basel	15:50	Türe 1		
	Flirt 1,400 m	12	18.65	0.64	0.46	Basel	15:50	Türe 2		
	Flirt 1,400 m	14	25.19	0.56	0.40	Basel	15:50	Türe 3		
198	Flirt 1,400 m	16	16.61	0.96	0.69	Basel	15:56	Türe 2		
	Flirt 1,400 m	17	16.17	1.05	0.75	Basel	15:56	Türe 3		
	Flirt 1,400 m	10	11.92	0.84	0.60	Basel	15:56	Türe 4		
	Flirt 1,400 m	19	20.18	0.94	0.67	Basel	15:56	Türe 5		
199	Flirt 1,400 m	14	19.51	0.72	0.51	Basel	16:12	Türe 1		
	Flirt 1,400 m	21	23.47	0.89	0.64	Basel	16:12	Türe 2		
	Flirt 1,400 m	20	23.45	0.85	0.61	Basel	16:12	Türe 3		
	Flirt 1,400 m	25	29.89	0.84	0.60	Basel	16:12	Türe 5		
	Flirt 1,400 m	12	12.14	0.99	0.71	Basel	16:12	Türe 6		
	Flirt 1,400 m	13	14.03	0.93	0.66	Basel	16:12	Türe 7		
200	Flirt 1,400 m	16	20.62	0.78	0.55	Basel	16:24	Türe 1		
	Flirt 1,400 m	13	17.62	0.74	0.53	Basel	16:24	Türe 3		
201	Flirt 1,400 m	12	11.5	1.04	0.75	Basel	16:28	Türe 1		
	Flirt 1,400 m	23	22.21	1.04	0.74	Basel	16:28	Türe 2		
	Flirt 1,400 m	19	21.15	0.90	0.64	Basel	16:28	Türe 3		
202	Flirt 1,400 m	7	6.56	1.07	0.76	Basel	16:40	Türe 1		
	Flirt 1,400 m	11	19.25	0.57	0.41	Basel	16:40	Türe 2		
	Flirt 1,400 m	9	11.83	0.76	0.54	Basel	16:40	Türe 3		
	Flirt 1,400 m	24	21.67	1.11	0.79	Basel	16:40	Türe 4		
	Flirt 1,400 m	18	24.07	0.75	0.53	Basel	16:40	Türe 5		
	Flirt 1,400 m	22	29.97	0.73	0.52	Basel	16:40	Türe 6		
	Flirt 1,400 m	7	9.64	0.73	0.52	Basel	16:40	Türe 7		
203	Flirt 1,400 m	5	4.52	1.11	0.79	Basel	16:52	Türe 1		
	Flirt 1,400 m	23	20.59	1.12	0.80	Basel	16:52	Türe 2		
204	Flirt 1,400 m	13	13.18	0.99	0.70	Basel	16:57	Türe 2		
	Flirt 1,400 m	12	12.41	0.97	0.69	Basel	16:57	Türe 3		
	Flirt 1,400 m	14	26.27	0.53	0.38	Basel	16:57	Türe 5		
	Flirt 1,400 m	18	23.67	0.76	0.54	Basel	16:57	Türe 7		
205	Flirt 1,400 m	7	10.28	0.68	0.49	Basel	17:14	Türe 2		
	Flirt 1,400 m	9	11.9	0.76	0.54	Basel	17:14	Türe 3		
	Flirt 1,400 m	29	30.74	0.94	0.67	Basel	17:14	Türe 8		
	Flirt 1,400 m	12	15.97	0.75	0.54	Basel	17:14	Türe 7		
	Flirt 1,400 m	13	9.58	1.36	0.97	Basel	17:14	Türe 10		
	Flirt 1,400 m	13	14.85	0.88	0.63	Basel	17:14	Türe 11		
206	Flirt 1,400 m	11	13.63	0.81	0.58	Sursee	18:12	Türe 1		

Index	Fahrzeugtyp	F	$t_{h,f}$	L	L_s	Station	Uhrzeit	Türe		
								1. Klasse	1./2. Klasse	2. Klasse
207	Flirt 1,400 m	24	24.41	0.98	0.70	Basel	07:31	Türe 1		
	Flirt 1,400 m	21	20.99	1.00	0.71	Basel	07:31	Türe 2		
208	Flirt 1,400 m	28	25.76	1.09	0.78	Basel	07:44	Türe 1		
	Flirt 1,400 m	40	29.57	1.35	0.97	Basel	07:44	Türe 2		
	Flirt 1,400 m	29	27.53	1.05	0.75	Basel	07:44	Türe 3		
	Flirt 1,400 m	26	26.32	0.99	0.71	Basel	07:44	Türe 4		
	Flirt 1,400 m	30	31.98	0.94	0.67	Basel	07:44	Türe 5		
209	Flirt 1,400 m	29	24.55	1.18	0.84	Basel	07:54	Türe 1		
210	Flirt 1,400 m	17	20.62	0.82	0.59	Basel	07:57	Türe 1		
	Flirt 1,400 m	13	15.53	0.84	0.60	Basel	07:57	Türe 2		
	Flirt 1,400 m	8	7.91	1.01	0.72	Basel	07:57	Türe 3		
211	Flirt 1,400 m	23	31.36	0.73	0.52	Zug	17:38	Türe 1		
	Flirt 1,400 m	22	22.15	0.99	0.71	Zug	17:38	Türe 2		
212	Flirt 1,400 m	7	7.47	0.94	0.67	Zug	17:41	Türe 2		
213	Flirt 1,400 m	15	17.29	0.87	0.62	Zug	17:53	Türe 1		
	Flirt 1,400 m	19	20.34	0.93	0.67	Zug	17:53	Türe 2		