



Bachelorarbeit (Verkehrssysteme)

Analyse und Simulation der Personenflüsse am Bahnhof Zürich

Schlussbericht

Autor

Martin Moser

Hauptbetreuung

Albert Steiner
Dr. Marcel Dettling

Industriepartner

SBB AG
Savannah Simulations AG

Datum

06.06.2014

Zusammenfassung

Der Zürcher Hauptbahnhof wird nach der Eröffnung des Bahnhofs Löwenstrasse am 14. Juni 2014 aus drei zusammenhängenden Bahnhöfen bestehen. Dabei wird dieser schon heute täglich von rund 400'000 Personen frequentiert. Durch die Erweiterung des HB Zürich, einhergehend mit einem deutlichen Angebotsausbau für den Regional- und Fernverkehr, wird der HB Zürich noch attraktiver und leistungsfähiger, was zu einer weiteren Zunahme der Passagierzahlen führen dürfte.

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit den Personenflüssen im HB Zürich und zeigt in einer dynamischen Simulation der Hauptverkehrszeit zwischen 06.45 und 08.45 Uhr, so realistisch wie möglich, die Flächenbelastung auf. Das Modell wurde so abgebildet, wie der HB Zürich am 14. Juni 2014 eröffnet wird. Der Fahrplan 2013 bildet den Rahmen, mit 64 Fernverkehrszügen und 106 Regionalverkehrszügen im betrachteten Zeitraum.

Für die realitätsgetreue Abbildung des HB Zürich wurden CAD-Datensätze der SBB für die bestehenden Elemente verwendet, die neuen Elemente wurden den Datensätzen der Firma Dürig AG entnommen.

Eine vorausgegangene Projektarbeit bildete den HB Zürich als graphentheoretisches Modell ab und zeigte mit dem Dijkstra-Algorithmus (ein Algorithmus zur Berechnung der kürzesten Wege), die optimalen Weg-Verbindungen auf.

Als wichtigste Datenbasis wurden Simba (Standardisierte - integrierte - Modellierung - und - Bewertung - von - Angebotskonzepten) und KFMS (Kunden - Frequenz - Mess - System) verwendet. Die Simba-Daten beinhalten die Ein-, Aus- und Umsteigerzahlen pro Zug und der KFMS-Datensatz enthält die Personenfrequenzen der Zugänge des Bahnhofs Zürich. Werden beide Datensätze kombiniert, ergibt sich eine sehr gute Abbildung der Personenströme im HB Zürich.

Die Ergebnisse der Simulationen zeigen, dass das «Level of Service» (LoS) realistisch abgebildet wird und die Hotspots deutlich erkennbar sind. Die Trajektorien der Personen (Agenten) folgen einem logischen Pfad im zweidimensionalen wie auch im dreidimensionalen Raum. Bestehende Fehlerquellen konnten identifiziert werden.

Mit dieser Bachelorarbeit wird ein realistisches System geliefert, auf dem weitere Studien aufgebaut und weiterführende Projekt-, Bachelor- und Masterarbeiten durchgeführt werden können. Zudem dient das entwickelte Framework als Test-Case für die Weiterentwicklung des Programms SimWalk.

Abstract

With the opening of the new station "Löwenstrasse" in June 2014, Zurich Main Station (Zurich HB) will consist of three coherent stations. Today it's used by around 400'000 people daily. Through the expansion of Zurich Main Station, with a significant increase of regional- and long-distance transport supply, Zurich HB is even more attractive and more efficient, which should lead to a further increase in passenger numbers.

This bachelor thesis deals with the flow of people at Zurich Main Station and shows a dynamic simulation of the dynamics during the morning rush hour between 6:45 and 8:45. The model captures the layout of Zurich HB available starting from June 14, 2014. The timetable used is the one from 2013 and covers a rolling stock of 64 long-distance trains and 106 regional trains for the period defined.

To create a complete representation of Zurich HB, CAD records were provided by the SBB (existing elements) and by Dürig AG (new elements).

In a previous project work, a graph-theoretical model of Zurich HB was built. Furthermore, the optimal path connections were calculated by using the Dijkstra algorithm (an algorithm for computing the shortest paths). From the previous work, the path distances were used in order to calculate the walking time for point-to-point connections.

The two most important data sets used were SIMBA (standardized integrated modelling and evaluation of schedule concepts) and KFMS (customer frequency measurement system). The SIMBA data contains the entering and alighting passengers per train as well as all transfer passengers. From the KFMS database the number of pedestrians entering and leaving the station is available. If both data sets are combined, one gets a comprehensive picture of the flow of people at Zurich Main Station.

The simulation results show that the "Level of Service" (LoS) is depicted realistically and the hotspots are clearly visible. The trajectories of the agents follow a logical path in two-dimensional as well as in three-dimensional space. Existing sources of error could be identified.

This bachelor thesis forms a solid basis for future studies. These include, amongst others, further Bachelor and Master theses and a case study as part of a project developing the next generation of SimWalk.

Vorwort und Danksagung

Ein Grossteil der Datengrundlagen dieser Bachelorarbeit ist als vertraulich klassifiziert und darf deshalb nicht publiziert werden. Die Weitergabe und Veröffentlichung der von der SBB abgegebenen Werte sowie der abgeleiteten Ergebnisse, welche Rückschlüsse auf diese erlauben, darf nicht ohne schriftliche Einwilligung der SBB AG geschehen.

Diese Bachelorarbeit beschäftigt sich mit den Personenflüssen und der damit verbundenen Flächenbelastung am HB Zürich und baut auf der vorhergehenden Projektarbeit von Daniel Bürgi und Martin Moser auf.

Bei der Umsetzung konnte auf die exzellente und regelmässige Fachbetreuung durch Herr Albert Steiner und Herr Dr. Marcel Dettling gezählt werden, welche mit ihren wertvollen Inputs diese Arbeit unterstützten. Ein riesiges Dankeschön geht an Alexander Schmid und Norbert Köchli der Firma Savannah Simulations AG, welche mir freundlicherweise eine Lizenz im Wert von 16'000 SFr. für SimWalk Transport™ zur Verfügung stellten und meine Fragen immer schnell beantworteten. Ein weiterer Dank geht an die Firma Dürig AG, welche mir die neuen (noch nicht veröffentlichten und bis Dato als vertraulich klassifizierten) Baupläne der neuen Elemente des HB Zürich zukommen liess. Einen herzlichen Dank geht auch an die SBB AG, im speziellen an:

- Stefan Buchmüller für die Simba – Daten (Vertraulich).
- Bonnie Qian für die KFMS – Daten des HB Zürich (Vertraulich).
- Martin Wyder für die gute Unterstützung bei den CAD - Arbeiten.
- Reto Rufener für das Umprogrammieren des CorrMeRe, so dass erstellen konnte.

Ein grosses Dankeschön geht an Herr Michael Schwarz, Dozent der ZHAW, für die gute Schreibberatung. Ein weiter Dank geht an Felix Winterling - ein Arbeitskollege bei der SBB und persönlicher Freund - für das kritische Hinterfragen und für das Korrekturlesen, meiner Partnerin Carina Hesse und meinem Vater Hans Moser.

Glossar/ Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---------------|--|
| AFZ | Automatische Fahrgastzählung |
| BAV | Bundesamt für Verkehr |
| CAD | Computer Aided Design |
| CorrMeRe | Correspondances Measure Reporting (Anschlussrechner der SBB) |
| DML | Durchmesserlinie (Weinbergtunnel zwischen Oerlikon und dem Hauptbahnhof sowie im künftigen Durchgangsbahnhof Löwenstrasse) |
| DPZ | Doppelstock Pendelzug (S-Bahn Zürich) |
| DTZ | Doppelstock Triebzug (S-Bahn Zürich) |
| DWV | Durchschnittlicher Werktagsverkehr |
| EVU | Eisenbahnverkehrsunternehmung |
| FDV | Fahrdienstvorschriften (durch BAV erlassen) |
| FPL | Fahrplan |
| GBP | Gleisbelegungsplan |
| HB | Hauptbahnhof |
| HOP | Hochrechnung Personenverkehr |
| HVZ | Hauptverkehrszeit |
| IC | Inter City (Fernverkehrszug) |
| ICN | Inter City Neigezug |
| IR | Inter Regio (Fernverkehrszug) |
| KFMS Daten | Kunden Frequenz Mess System |
| KuZuBa | Kundenzufriedenheit Bahnhöfe |
| LoS | Level of Service (Qualitätsstufen A – F) |
| ÖPNV | Öffentlicher - Personen - Nah - Verkehr (meist Bus oder Tram) |
| PA | Projektarbeit „Optimierung der Personenflüsse am HB Zürich“ von Daniel Bürgi und Martin Moser |
| PAX | Persons approximately, den ICAO-Code für Passagier |
| SBB | Schweizerische Bundesbahn |
| Simba - Daten | Standardisierte integrierte Modellierung und Bewertung von Angebotskonzepten |
| SZU | Sihltal Zürich Uetliberg Bahn |
| TU | Transportunternehmen |
| ZBP | Zugsbildungsplan |
| ZSW | Zentralstellwerk |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Ausgangslage | 1 |
| 1.2 | Zielsetzung | 4 |
| 1.2.1 | Industriepartner | 6 |
| 2 | Theoretische Grundlagen | 7 |
| 2.1 | Theoretische Grundlagen Personenflüsse | 7 |
| 2.2 | LoS (Level of Service) | 9 |
| 2.3 | Fussgängergeschwindigkeit für die HVZ..... | 12 |
| 2.4 | Personentypus am Bahnhof..... | 14 |
| 2.5 | Graph HB Zürich aus der Projektarbeit/ Graphentheorie..... | 16 |
| 3 | Vorstudie | 18 |
| 3.1 | Personenflüsse. Leistungsfähigkeit und Anschlüsse | 18 |
| 3.2 | Erste Abschätzung - Umsteigebeziehungen am HB Zürich | 19 |
| 3.3 | Erste Analyse der Anschlussbrüche am HB im Januar 2014 | 21 |
| 4 | Vorgehen und Methode | 24 |
| 4.1 | Aufgabenstellung für die Simulation | 24 |
| 4.2 | Perimeter | 24 |
| 4.3 | Messgrößen | 25 |
| 4.4 | Vorgehen | 25 |
| 4.5 | Datengrundlagen | 27 |
| 4.5.1 | Bahnhofpläne | 28 |
| 4.5.2 | Zeitmatrixen | 30 |
| 4.5.3 | Simba - Daten..... | 33 |
| 4.5.4 | KFMS – Daten | 34 |
| 4.5.5 | Umgebung Bahnhof Zürich (Verifikation der KFMS-Werte)..... | 40 |
| 4.5.6 | Kombination der KFMS - und Simba - Daten..... | 41 |
| 4.5.7 | KFMS – Datensatz mit Simba - Daten gewichtet | 43 |
| 4.5.8 | . Zugsbildungsplan, Gleisbelegungsplan und Fahrplan..... | 45 |
| 4.6 | Modell und Simulation..... | 47 |
| 4.6.1 | Daten in SimWalk einlesen | 47 |
| 4.6.2 | Modellierungsmechanik vom SimDraw/ SimWalk..... | 47 |
| 4.6.3 | Zusammentragen der Layer..... | 50 |
| 4.6.4 | Überarbeiten der Pläne | 51 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.6.5 | Erstellen der Ein und Ausgänge (Start and Exitareas) | 57 |
| 4.6.6 | Wartezonen Perrons (Waiting Areas)..... | 58 |
| 4.6.7 | Einkaufszonen (Meeting Areas)..... | 59 |
| 4.6.8 | Treppen, Rolltreppen und Lifte | 60 |
| 4.6.9 | Modellieren der Gleise | 62 |
| 4.6.10 | Erstellen der Züge | 66 |
| 4.6.11 | Erstellen der Fahrzeugformationen | 67 |
| 4.6.12 | Bilden des Agentenplan (Personen in SimWalk)..... | 68 |
| 4.7 | Verifizierungen der Simulation | 74 |
| 5 | Resultate | 77 |
| 5.1 | Gesamtsicht auf den Bahnhof Zürich..... | 78 |
| 5.2 | Bewertung LoS für Teilbereich Perronanfang Halle..... | 79 |
| 5.3 | Aufenthaltsdauer aller Agenten im System..... | 83 |
| 5.4 | Agentenpfad | 85 |
| 6 | Diskussion und Ausblick..... | 86 |
| 6.1 | Diskussion | 86 |
| 6.2 | Ausblick | 86 |
| 6.3 | Lessons Learned..... | 88 |
| 7 | Verzeichnisse | 89 |
| 7.1 | Quellenverzeichnis/ Literaturverzeichnis..... | 89 |
| 7.2 | Abbildungsverzeichnis | 91 |
| 7.3 | Tabellenverzeichnis..... | 94 |
| 7.4 | Verwendete Standard – Si Einheiten..... | 96 |
| 7.5 | Programmverzeichnis..... | 97 |
| 8 | Anhang | 98 |
| 8.1 | Daten CD..... | 99 |
| 8.2 | Aufgabenstellung | 100 |
| 8.3 | FKMS – Messstellen | 101 |
| 8.3.1 | Aufgang Radgasse (2) | 101 |
| 8.3.2 | Aufgang Sihlquai (4)..... | 101 |
| 8.3.3 | Passage Löwenstrasse Süd (5)..... | 101 |
| 8.3.4 | Passage Bahnhofstrasse Süd (10) | 101 |
| 8.3.5 | Aufgang Walche (14) | 101 |
| 8.3.6 | Aufgang Landesmuseum (15) | 101 |
| 8.3.7 | Querhalle Süd (16) | 101 |
| 8.3.8 | Querhalle Nord (17) | 101 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 8.3.9 | Durchgang Südtrakt (22)..... | 101 |
| 8.3.10 | Durchgang Nordtrakt (23)..... | 101 |
| 8.3.11 | Arkade Nord (24)..... | 101 |
| 8.3.12 | Arkade Süd (25)..... | 101 |
| 8.3.13 | ICN (Inter City Neigezug)..... | 102 |
| 8.3.14 | IR (Inter Regio)..... | 102 |
| 8.3.15 | IR kurz (Inter Regio kurze Formation)..... | 103 |
| 8.3.16 | IC (InterCity)..... | 103 |
| 8.3.17 | DTZ (Doppelstocktriebzug)..... | 104 |
| 8.3.18 | DPZ (Doppelstock-Pendelzug)..... | 105 |
| 8.4 | Makro zum erstellen der Einsteiger..... | 106 |
| 8.5 | Makro zum erstellen der Querer..... | 108 |
| 8.6 | Matlab Code..... | 111 |
| 8.7 | Fahrplangrundlage 1..... | 118 |
| 8.8 | Fahrplangrundlage 2..... | 118 |
| 8.9 | Formationsplakat 05:08 – 06:36..... | 118 |
| 8.10 | Formationsplakat 06:36 – 07:35..... | 119 |
| 8.11 | Formationsplakat 07:36 – 08:12..... | 120 |
| 8.12 | Formationsplakat 08:30 – 09:09..... | 121 |

1 Einleitung

Die aktuellen Prognosen weisen auch für die Zukunft eine steigende Nachfrage für den öffentlichen Verkehr aus. Durch das Wachstum wird der Druck auf die Verkehrssysteme mit beschränkten Ressourcen, wie finanzielle Mittel oder benötigten Flächen hoch bleiben. Zukünftig müssen die bestehenden Infrastrukturanlagen den Mehrverkehr abwickeln können bei mindestens gleichbleibender Qualität. Dafür braucht es Optimierung und innovative Lösungen für die Bewältigung der Fahrgastströme im öffentlichen Verkehr. Die Basis dafür sind korrekte Analysen und reale Simulationen, so dass gute Prognosen erstellt werden, um dann am richtigen Ort zu optimieren. Diese Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten.



Abbildung 1: Zürich HB Halle während der Abend HVZ (Quelle: SBB)

1.1 Ausgangslage

Kundenzufriedenheit der
Bewegungsfreiheit an Bahnhöfen

Knapp 6'500 Kunden werden in regelmässigen Abständen zu der Zufriedenheit mit der Bahnhofsqualität befragt. Die Resultate aus der Befragung 2011, welche telefonisch (Stichprobe: 6'409 Personen) durch die Firma TransferPlus AG im Auftrag der SBB durchgeführt wurde, zeigen die sieben wichtigen Themen für die Gesamtzufriedenheit der Kunden an Bahnhöfen. Platz und Bewegungsfreiheit teilt sich mit dem Thema Sicherheit den Platz zwei und drei (vgl. KuZuBa).

Das Eisenbahnnetz der Schweiz stösst immer mehr an seine Grenzen. Die Szenarien über die Fahrgastzunahme, welche 1985 für die Bahn 2000 erstellt wurden, übertrafen das optimistische Szenario um 49%.

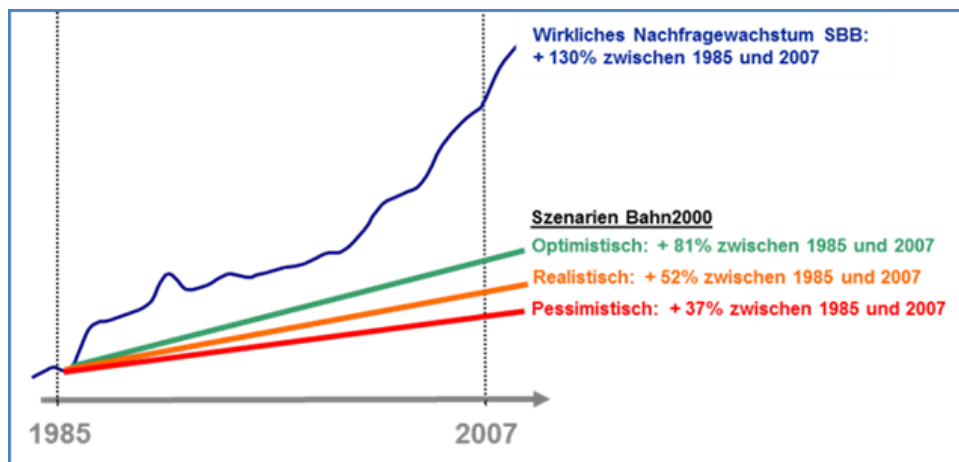


Abbildung 2: Wachstumsprognose 1985 bis 2007 und wirkliches Wachstum

Gegenüber dem Referenzjahr 1990 (Eröffnung der S-Bahn Zürich) haben die Fahrgastzahlen der S-Bahn Zürich um 157% zugenommen (vgl. ZVV 2013, 17).

Begrenzter Ausbau

Die Tagesganglinie eines durchschnittlichen Werktags des Bahnhofs Zürich zeigt zwei Spitzen - um 07.00 und um 17.30 Uhr. Zu diesen Zeiten ist die Flächenbelastung durch die Ein-, Aus- und Umsteiger besonders hoch. Je mehr Personen pro Quadratmeter, desto niedriger ist die Flussgeschwindigkeit und dies wiederum beeinträchtigt die Umsteigezeit, welche einen Einfluss auf die Anschlusszeiten der Züge hat. Für den Bahnhof Zürich sind von der SBB sieben Minuten Umsteigezeit für die publizierten Anschlüsse definiert.

Die Personendichte und die Geschwindigkeit der Personenströme auf den Nutzflächen sind massgebend für die Qualität der Anslusserreichung. Sind regelmässig zu viele Leute im System, die sich gegenseitig blockieren, kann im Bahnhof die vorgegebene Anschlusszeit nicht mehr gehalten werden. Dies hätte zur Folge, dass die definierte Umsteigezeit erhöht werden müsste, was einen negativen Einfluss auf den gesamten Fahrplan der SBB hätte.

Der zentrale Dreh- und Angelpunkt für die Zu- und Abgänger der Pendler für den Raum und Stadt Zürich ist der Hauptbahnhof - weltweit der Bahnhof mit der höchsten Zugsfrequenz. Täglich verkehren 1'281 Zügen (Basis Fahrplan 14) und ca. 400'000 Personen. Mit dem Ausbau und der Eröffnung des Bahnhofs Löwenstrasse als dritter Bahnhof im Gesamtsystem Bahnhof Zürich wird er den Abstand im Ranking der Bahnhöfe mit der höchsten Zugsfrequenz nochmals vergrössern. Die Inbetriebnahme des Bahnhofs Löwenstrasse findet am 14 Juni 2014 statt. Der dritte Bahnhof liegt 16 Meter unter den Hallengleisen 4 bis 9, besteht aus vier Gleisen an zwei 420 Meter langen Perrons. Die Perrons sind 13 Meter breit (3 Meter breiter als die Perrons im Bahnhof Museumstrasse) und es gibt pro Perron 10 Aufgänge in die Passagen und das Ladengeschoss (RailCity). Mit dem Bau des Bahnhof Löwenstrasse gab es weitere bauliche Massnahmen am HB, so wurde die bestehenden Passage Sihlquai verbreitert, die bestehenden Passage Löwenstrasse angepasst und eine weitere Passage - Passage Gessnerallee - gebaut, welche die

drei Bahnhöfe verbindet inklusive Stadtanbindung. Die Kosten belaufen sich auf 660 Millionen Franken (vgl. SBB 2014 2-5). Mit dem kleinen Fahrplanwechsel am 14 Juni 2014 werden allein im Regionalverkehr ca. 200 Züge mehr pro Tag verkehren.

Dieser Entwicklung wurde Rechnung getragen, welcher mit dem neuen Bahnhof Löwenstrasse und der damit verbundenen Durchmesserlinie (DML) mit dem Weinbergtunnel - einen weiteren Meilenstein in der Geschichte der SBB setzt.

Ein kontinuierliches Ausbauen der Gleis- und Perronanlagen gestaltet sich insbesondere in dicht bebautem Gebiet, wie in der Region Zürich, als äusserst anspruchsvoll. Die Flächen der Publikumsanlagen sind stark in die Umgebung eingebettet. Investitionen in die Infrastruktur sind langwierige Prozesse mit einem grossen Zeithorizont. Aufgrund der finanziell beschränkten Mittel und den frei verfügbaren Flächen sind die Möglichkeiten begrenzt, das Nachfragewachstum nur über Infrastrukturausbauten aufzufangen. Die generelle Nachfrage wird in den nächsten Jahren jedoch weiter steigen. Für ein leistungsfähiges Bahnnetz muss deshalb nach innovativen Lösungen und Ansätzen gesucht werden. Dies ist notwendig, um auch bei steigenden Passagierzahlen auf den zur Verfügung stehenden Flächen ein effizientes Aus-, Ein- und Umsteigen zu ermöglichen. Ansonsten wird das System Fahrplan/ Infrastruktur/ Rollmaterial instabil.

Flächennutzung und
Umsteigezeit

Deshalb muss die Flächennutzung der bestehenden Bahninfrastrukturanlagen, insbesondere in Bahnhöfen von regionaler und nationaler Bedeutung, optimiert werden. Die vorhandene Kapazität (Anzahl Personen pro m²) soll auf den Publikumsanlagen optimal auf die örtlichen Gegebenheiten ausgerichtet werden. Eine gleichmässige Verteilung der Reisenden auf dem Perron wie auch im Zug wird angestrebt, so dass ein rasches Aus- und Einsteigen sowie Zirkulieren im Bahnhof möglich ist. Um die Pünktlichkeit bei den steigenden Fahrgastzahlen auf hohem Niveau zu halten, müssen unter anderem die Anschlusszeiten, welche von den vorgegebenen Umsteigezeiten abhängen, garantiert werden. Zukünftig müssen durch den stetigen Angebotsausbau auch die Umsteigezeit gehalten oder im besten Fall verkürzt werden, sonst stösst der Angebotsausbau bald an seine Grenzen.

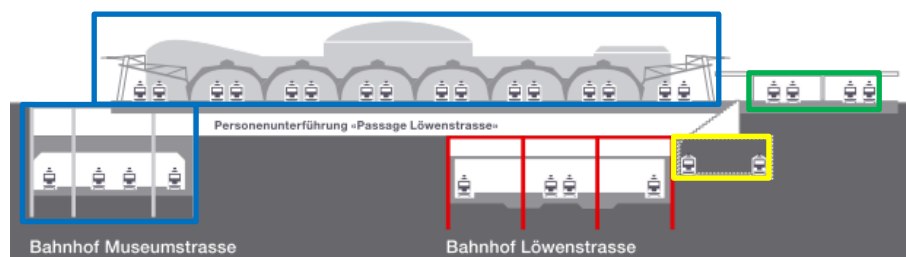


Abbildung 3: Querschnitt HB Zürich mit den drei Bahnhöfen (Quelle SBB)

Übersicht HB

Der HB Zürich besteht vor 14 Juni 2014 aus dem HB (blau umrandet) mit den Halblegleisen 3 – 18 und der Bahnhofshalle (Eröffnung 1847; ab 1902 wie er heute ist) an der Oberfläche und wickelt die Fernverkehrsverbindungen ab. Der Bahnhof Museumstrasse (Eröffnung 1990) bedient je nach Verkehrszeit 100-, 200- und 300-Meter Züge des Regionalverkehrs. Der Bahnhof der SZU (gelb umrandet) mit den Gleisen 1 und 2, wurde wie er heute ist, 1990 eröffnet. Die Gleise 51 bis 54 wurden

als provisorische Entlastung des HB gebaut und werden mit der Eröffnung des Bahnhofs Löwenstrasse zurückgebaut.

Eine erste Abschätzung in dieser Arbeit zeigt auf, dass mit der Eröffnung des Bahnhof Löwenstrasse und dem Rückbau der Gleise 51 – 54 eine Verdichtung nach innen stattfinden wird. Dies bedeutet, dass für die gleiche Anzahl Personen, weniger Fläche zur Verfügung steht. Dies kann je nach Zeitpunkt und Verteilung der Personen im Bahnhof zu einer deutlichen Geschwindigkeitsreduktion führen und trotz pünktlichen Zügen, könnten Umsteiger einen Anschluss verpassen.

1.2 Zielsetzung

Primärziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist, eine fundierte Analyse des Bahnhofs Zürich bezüglich Personenflüssen zu erstellen und darauf aufbauend eine realistische, dynamische Simulation von zwei Stunden HVZ. In den Resultaten sollen die aktuellen Flaschenhalse erkennbar sein. Weiter soll die Simulation eine Grundlage bilden, auf der weitere Studien aufbauen können.

Grundlage der Bachelorarbeit

Diese Bachelorarbeit baut auf der Projektarbeit von Daniel Bürgi und Martin Moser auf, welche den Bahnhof Zürich mittels eines graphentheoretischen Modells, die optimalen Wege für die Wechselwirkung zwischen den drei Bahnhöfen des Gesamtsystems ermittelte. Hauptfokus der Projektarbeit waren die Effekte auf die Personenflüsse, welche durch das Einmitten¹ der Halteorte der S-Bahnzüge im Bahnhof Museumstrasse entstehen. Daraus wurden Schlüsse gezogen, welche alternativen Wegbeziehungen bestehen und wie diese für eine Verbesserung im Bereich der Kundenlenkung und Kundeninformation genutzt werden können.

Struktur der Arbeit

Das Kapitel 1 führt in das Thema der Bachelorarbeit ein.

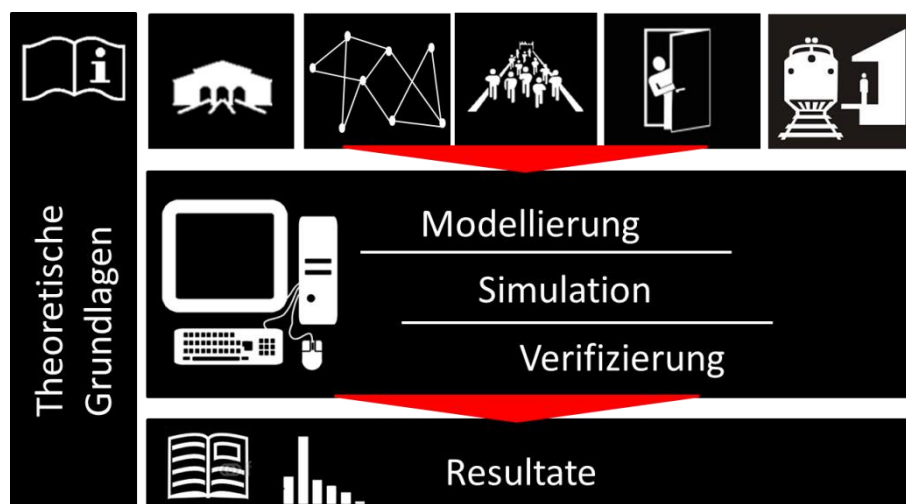


Abbildung 4: Übersicht Grobkonzept zum Vorgehen (Quelle: Moser)

Im Kapitel 2 sollen die theoretischen Grundlagen aus der Literaturrecherche zusammenfassend vorgestellt werden. Diese bilden den theoretischen Rahmen dieser Arbeit, auf denen die weiteren Berechnungen basieren. Im Kapitel 3 wird mittels einer Vorstudie eine erste Abschätzung und Analyse zu den Umsteigezeiten und

¹ Das Einmitten bezeichnet die Halteorte der Züge, welche sich symmetrisch zu den jeweiligen Zugängen eines Perrons befinden.

Anschlüssen die Brisanz des Themas aufgezeigt werden. wird das Konzept zum Vorgehen aufgezeigt und für die Simulation der Perimeter definiert. Der Versuchsaufbau erläutert die aufgearbeiteten Rohdaten und wie diese in SimWalk in die Simulation einfließen. Das Verifizieren der Simulation schliesst das Kapitel ab. Im Kapitel 4 werden die Resultate aus der Simulation vorgestellt und erklärt.



Theoretische Grundlagen über die Personenflüsse aus der Literatur – Recherche welche im Kapitel 2.1 und 2.5 beschrieben sind.



Physische Rahmen der Simulation, bestehend aus den CAD – und Bauplänen des Bahnhofs Zürich.



Graph und Wegmatrix des Bahnhofs Zürich, aus der Projektarbeit mit Geschwindigkeit hinterlegt um Zeitmatrizen zu erhalten.



Die Ein-, Aus- und Umsteiger des Bahnhof Zürich aus den Simba-Daten während der HVZ von 06.45 – 08.45.



Belastung der Ein- und Ausgänge zwischen Bahnhof und Stadt Zürich mit KFMS – Daten.



Die Züge, die am Bahnhof Zürich zwischen 06.45 – 08.45 verkehren anhand des FPL, ZBP und GBP.



Modellieren des Gesamtsystems von 06.45 – 08.45, Simulation durchführen und Verifizierung der Simulation.



Resultate analysieren und beschreiben.

Das Kapitel 6 beinhaltet die Diskussion und den Ausblick, zur Zielerreichung und wie mit dem Thema weiter gegangen werden kann. Im Kapitel 7 befinden sich die Verzeichnisse und im Kapitel 8 der Anhang mit den wichtigsten Daten, spezifischen Analysen und Tabellen, auf welche von der Arbeit aus verwiesen wird und nicht unter die Vertraulichkeitsklausel fallen oder mehr als 10 Seiten benötigen.

1.2.1 Industriepartner

| | |
|---------------------|--|
| Konzept | Das Konzept der Arbeit sowie deren Umfang stammen von Martin Moser. Savannah Simulations AG mit Sitz in Herrliberg (ZH) sponserte die Bachelorarbeit mit einer Softwarelizenz von SimWalk Transport im Wert von CHF 16'000. Die SBB als Industriepartner ist über das Projekt informiert und unterstützte bei Bedarf und nach Möglichkeit. Die Abteilungen SBB Personenverkehr Unternehmensentwicklung und SBB Infrastruktur Bahnzugang sind an dieser Arbeit interessiert. |
| Savannah Simulation | Savannah Simulations AG lieferte die Softwarelizenz für SimWalk Transport und unterstützte aktiv bei Problemen und Fragen. |
| SBB | Von Seiten der SBB stehen für die Bachelorarbeit folgende Datengrundlagen zur Verfügung: <ul style="list-style-type: none">• Bahnhofpläne zu den einzelnen Bahnhöfen Zürich HB, Museumstrasse und Löwenstrasse im .pdf-, .dwg-, und .dxf-Format• SIMBA - Daten der Fahrgastfrequenzen der Ein-, Aus- und Umsteiger am HB Zürich von 06.45 – 08.45 Uhr• KFMS – Daten (Zählstellen der Personenfrequenzen an der Schnittstellen des HB/ Stadt Zürich) des HB Zürich von 06.45 bis 08.45 Uhr• CorrMeRe – Daten des Januar 2014 (Anschlussrechnung der Zugläufe im HB Zürich) |
| Dürig AG | Die Firma Dürig AG lieferte folgende Datengrundlage: <ul style="list-style-type: none">• Bahnhofpläne zu Bahnhof Löwenstrasse, Gessnerallee, Halle Löwenstrasse und der Halle Sihlpost im .pdf-, .dwg-, und .dxf-Format |

2 Theoretische Grundlagen

Das Kapitel soll die Theorie aus der Literaturrecherche wiedergeben, vor allem in Bezug auf die Personenfluss und die Berechnungsformeln, welche für diese Arbeit benötigt wurden. Die Level of Service (LoS), als wichtiges Messkriterium für die Auswertung der Simulation, werden vorgestellt sowie eine Abhandlung über den Graphen und die Matrix des Bahnhof Zürich, welcher in dieser Arbeit erweitert wurde und die Grundlage für die Weg – Zeit Berechnungen liefert.

2.1 Theoretische Grundlagen Personenflüsse

Quellen

Das ganze Kapitel 2.1 ist eine Zusammenfassung der Kernpunkte verschiedener Autoren, die hier aufgeführt werden. Buchmüller [(Buchmüller/ Weidmann 2008), Fruin (Fruin 1971), Nelson/ Mowrer (Nelson/ Mowrer 2002), Predtetschenski/ Milinski (Predtetschenski/ Milinski 1971) und Weidmann (Weidmann 1993; 1995)

Fundamentaldiagramme

Für Bemessung in der Ebene (Flächen) sind Fundamentaldiagramme sehr zuverlässig, jedoch für die Fussgängerdynamik auf Treppen bislang wenig gesichert. In den Planungshandbüchern wird einheitlich die empirische Beziehung zwischen Dichte ρ und Fluss J zur Beschreibung von Personenströmen verwendet, das so genannte Fundamentaldiagramm. Nachfolgende Berechnungsformeln stammen aus der Feder der oben erwähnten Autoren.

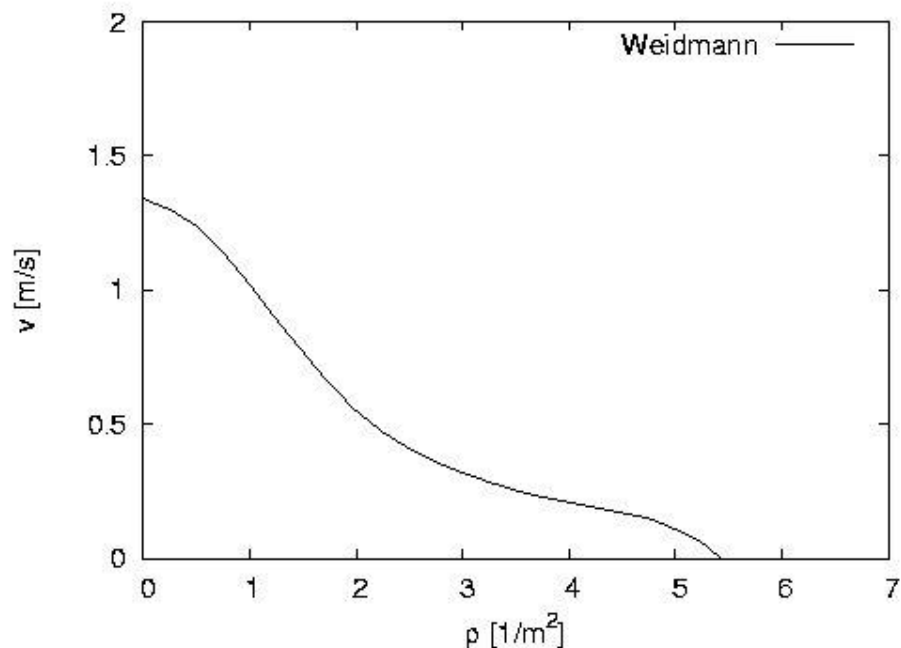


Abbildung 5: Fundamentaldiagramm [Weidmann 1995]

Der Zusammenhang zwischen Personenfluss, der Fussgängergeschwindigkeit und der Personendichte, wird durch das Fundamentaldiagramm beschrieben. Das bedeutet, dass an einem bestimmten Ort, zu einem bestimmten Zeitpunkt – wenn eine der 3 Grössen bekannt ist – sich die beiden anderen Grössen anhand des Fundamentaldiagramms ableiten lassen.

Es gibt verschiedenen Einflussfaktoren, die Engpässe oder Schwachstellen im System bilden können. In der Literatur werden immer die ähnlichen sieben Hauptfaktoren aufgezählt:

1. Der erste Faktor ist der Zirkulationsgrad, dieser kann von frei bis geführt sein.
2. Der Faktor Frequenzaufkommen– Anzahl Personen pro Flächeneinheit [m^2]- hat einen sehr grossen Einfluss auf die Fliessgeschwindigkeit. Die Frequenzen von Personenbewegungen auf definierten Flächen können gemessen werden. Studien, die durchgeführt wurden, kamen zum Schluss, dass bei Dichten von mehr als 0.5 Fussgängern/ m^2 die Geschwindigkeit abnimmt resp. der freie Bewegungsgrad des einzelnen Individuums nimmt ab. Bei Dichten von mehr als 5 P/ m^2 ist ein Vorwärtskommen kaum mehr möglich.
3. Der Faktor Niveauänderungen wird hervorgerufen durch Treppen, Rolltreppen, Rampen (jeweils ein oder zweibahnig geführt) und Lifte; diese bilden Hindernisse, welche unter anderem eine andere Laufgeometrie erfordern (Rampen und Treppen; aufwärts gehen Fussgänger langsamer als geradeaus, abwärts schneller), eine Fläche, die eine fix definierte Kapazität aufweist (Rolltreppen, Platzverfügbarkeit und eingestellte Geschwindigkeit) oder sogar ein Anhalten und Warten erfordert (Lifte).
4. Der Faktor der Geometrie hat einen grossen Einfluss, denn ein Richtungswechsel hat je nach Radien, Winkel und Kreuzungen eine Geschwindigkeitseinbusse, vor allem, wenn die Sichtachsen nicht frei sind und man den Verkehr nicht überblicken kann.
5. Der Faktor Verwendungszweck der Flächen hat einen Einfluss auf die Gehgeschwindigkeit, Durchgangsflächen für Pendler weisen eine höhere Geschwindigkeit auf als Flächen mit Verkaufsnutzung (Personen bleiben stehen, gehen langsamer an Schaufenstern vorbei).
6. Der Faktor Mensch - Eigenschaften wie Alter, Gruppenbildung, Gemütszustand, Körpergrösse, Gepäckstücke, Gesundheit, Tageszeit etc. beeinflussen die Geschwindigkeit jedes einzelnen Individuums.
7. Der letzte Faktor entspricht den sozialpsychologischen Aspekten, das heisst die Beeinflussung der Routenwahl durch Beleuchtung, Sauberkeit, Verschmutzung/ Vandalismus, Gerüche, andere Personen wie Betrunken oder Bettler, welche die Personen weiträumig umgehen, können durch psychisches Unbehagen künstliche Engnisse schaffen, die auf dem Reissbrett der Architekten nicht sichtbar sind und plötzlich auftreten können.

2.2 LoS (Level of Service)

Es gibt für Fussgängerverkehr Qualitätsstufen, die zur Beurteilung der Verkehrsqualität und des Benutzerkomforts aufgezeigt werden können. Beim Fussgängerverkehr werden diese Stufen in Level of Services (LoS) angegeben und anhand der auftretenden Personendichte festgelegt.






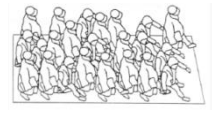
| Qualitätsstufe | Beschreibung des Verkehrszustandes <i>Personendichte [P/ms]</i> |
|----------------|---|
| A |  <p>Fussgänger bewegen sich auf dem gewünschten Weg ohne ihre Bewegung an andere Personen anpassen zu müssen. Gehgeschwindigkeit ist frei gewählt. Konflikte zwischen Fussgängern sind unwahrscheinlich. <i>Personendichte 0 - 0.15 [P/ms]</i></p> |
| B |  <p>Genügend Platz für Fussgänger, ihre Gehgeschwindigkeit frei zu wählen, anderen auszuweichen und Kreuzungskonflikte zu vermeiden. Fussgänger nehmen aber andere wahr und reagieren auf sie bei der Wahl ihres Weges. <i>Personendichte 0.15 – 0.25 [P/ms]</i></p> |
| C |  <p>Keine Konflikte bei normaler Gehgeschwindigkeit und beim Überholen oder Umgehen in hauptsächlich einseitig gerichteten Strömen. Bewegung in entgegengesetzter oder kreuzender Richtung können geringfügig Konflikte verursachen; Geschwindigkeit und Durchfluss sind etwas tiefer. <i>Personendichte 0.25 – 0.40 [P/ms]</i></p> |
| D |  <p>Flüssiger Fluss ist gewährt, aber eingeschränkte Freiheit bei der Wahl der individuellen Gehgeschwindigkeit und beim Umgehen anderer. Bewegungen in entgegengesetzter oder kreuzender Richtung sind mit Konflikten verbunden, die eine häufige Anpassung der Geschwindigkeit und der Richtung erfordern. <i>Personendichte 0.40 – 0.70 [P/ms]</i></p> |
| E |  <p>Fast alle Fussgänger müssen ihre normale Gehgeschwindigkeit einschränken und ihre Gangart häufig anpassen. Platz genügt nicht zum Überholen von langsameren Fussgängern; Bewegungen in entgegengesetzter oder umgekehrter Richtung sind schwierig <i>Personendichte 0.70 – 1.50 [P/ms]</i></p> |
| F |  <p>Alle Fussgänger müssen ihre Gehgeschwindigkeit stark einschränken. Vorwärtskommen ist nur durch Ausnutzen von Lücken möglich. Häufiger Körperkontakt mit anderen Passanten ist unvermeidbar; Bewegungen in entgegengesetzter oder kreuzender Richtung sind ebenfalls nahezu unmöglich. Es herrscht ein unregelmässiger, labiler Fluss. Abstände sind eher charakteristisch für Schlange stehende Personen als für bewegte Fussgängerströme. <i>Personendichte > 1.50 [P/ms]</i></p> |

Tabelle 1: Eigene Darstellung der Übersicht der LoS (Quelle: Buchmüller et al 2008)

Die aktuellen Normen basieren auf einem 6-stufigen Ansatz. Die 6 Qualitätsstufen werden mit A bis F bezeichnet, wobei A die beste und F die schlechteste Qualität darstellt.

Nachfolgend die Berechnungsformeln zu Personenflüssen mit ergänzender Beschreibung.

Anzahl Fussgänger

Die Anzahl der Fussgänger, welche in einer gewissen Zeit einen Querschnitt (b) überschreiten.

$$N = \rho * \bar{v} * b * t \text{ [Personen]} \quad (2.1)$$

Dichte des Personenstroms

Dichte

Für die Charakterisierung der Dichte des Personenstroms wird mit Anzahl Personen pro zur Verfügung stehender Fläche in m^2 gerechnet. Die Dichte ist der Quotient der Anzahl Personen N zu der verfügbaren Fläche A.

$$\rho = \frac{N}{A} \left[\frac{1}{m^2} \right] \quad (2.2)$$

Personenfluss

Personenfluss

Der Personenfluss J gibt an, wie viele Personen pro Zeiteinheit einen fix definierten Punkt überschreiten.

$$J = \frac{N}{\Delta t} \left[\frac{\text{Personen}}{s} \right] \quad (2.3)$$

Für eine einzelne Person gilt

$$J = \frac{1}{\Delta t_i} \left[\frac{\text{Person}}{s} \right] \quad (2.4)$$

Die Planungshandbücher weichen bei den Spezifikationen ab, jedoch gehen alle von einem hydraulischen Modell aus, bei dem sich die Personen ähnlich wie Flüssigkeiten verhalten. Der Fluss J ist das Produkt aus Dichte, Geschwindigkeit und Breite.

$$J = \rho * v * b \left[\frac{\text{Personen}}{s} \right] \quad (2.5)$$

Unter der Annahme, dass die Fliessgeschwindigkeit linear von der Breite der Fläche abhängig ist, lässt sich der spezifische Fluss für die normierte Breite 1.0 m wie folgt angeben

$$J_s = \frac{J}{b} \left[\frac{\text{Person}}{m*s} \right] \quad (2.6)$$

Achtung: Der spezifische Fluss kann nur berechnet werden, wenn $b = 1.0$ m.

Der spezifische Fluss kann auch mit der Formel aus (2.5) abgeleitet werden, da $b = 1.0$ m kann dies vernachlässigt werden.

$$J_s = \rho * v \left[\frac{\text{Person}}{m*s} \right] \quad (2.7)$$

Zeitspanne

Zeitspanne

Eine Zeitspanne ist der zeitliche Abstand zwischen zwei unmittelbar hintereinander gehenden Personen, welche einen fixen Punkt überschreiten.

$$\Delta t_i = t_{\text{person } 2} - t_{\text{person } 1} [s] \quad (2.8)$$

Die mittlere Geschwindigkeit definiert sich durch die Parameter Breite b und die mittlere Zeitdifferenz Δt .

$$\bar{v} = \frac{b}{\Delta t} \left[\frac{m}{s} \right] \quad (2.9)$$

Geschwindigkeiten nach
Reisezweck

2.3 Fussgängergeschwindigkeit für die HVZ

U. Weidmann stellte die folgende Tabelle zusammen (vgl. Abbildung 6), da je nach Reisezweck unterschiedliche Gehgeschwindigkeiten gemessen werden.

| Reisezweck | Gehgeschwindigkeiten (gemessen) | Standardisierte Werte |
|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| | [m/s] | [m/s] |
| Geschäftsviertel | 1.45 | 1.61 |
| Pendelverkehr | 1.34 | 1.49 |
| Einkauf | 1.04 | 1.16 |
| Freizeit | 0.99 | 1.10 |
| Mittel über alle Verkehrszwecke | 1.20 | 1.34 |

Abbildung 6: Mittlere Geschwindigkeit für verschiedene Reisezwecke (Quelle: Weidmann)

Der Standard für die mittlere Gehgeschwindigkeit liegt bei 1.34 [m/s]. Sie ist bei Männern mit 1.41 m/s um ca. 10% höher als bei Frauen mit 1.27 [m/s].

Personendichte und spezifischer
Personenfluss

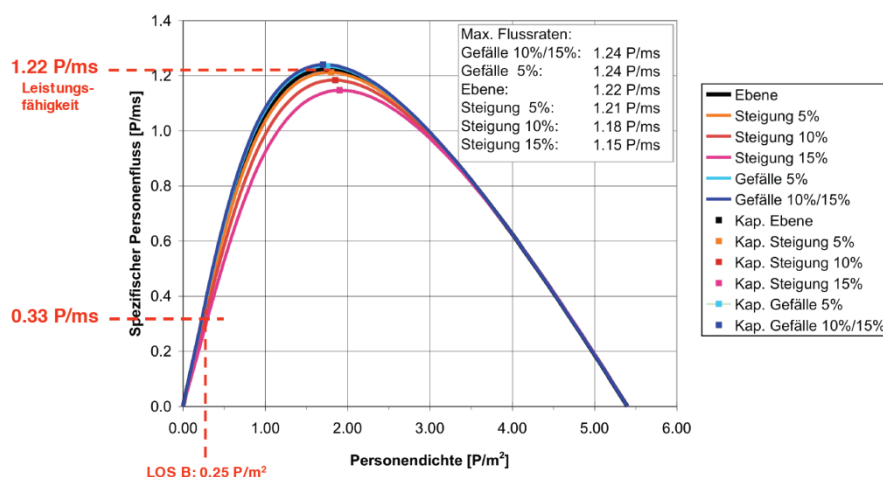


Abbildung 7: Personenflüsse abgeleitet aus der Geschwindigkeit - Dichte Beziehung (Quelle: Buchmüller)

Geschwindigkeit für diese
Bachelorarbeit

Die Formel (2.7) kann umgestellt werden nach v und entspricht dann: $v = \frac{J_s}{\rho} \left[\frac{m}{s} \right]$.

Aus der Abbildung 7 kann für die Ebene (schwarze Linie) beim Peak in der Abbildung 7 für $J_s = 1.22$ [P/ms] und für $\rho = 1.6$ [P/m²] (Losgrösse F) ausgelesen werden, somit erhält man die Geschwindigkeit von ca. 0.75 [m/s], was ca. 2.7 km/h entspricht.

Die Standardgeschwindigkeit über den Mittelwert aller Verkehrszwecke ist mit 1.34 [P/m²] hinterlegt, das entspricht für $J_s = 0.33$ [P/ms] und für $\rho = 0.25$ [P/m²] (Losgrösse B). Die Losgrösse B ist jedoch nicht realistisch für die Abbildung einer

HVZ. Es wird die Annahme getroffen, dass während der HVZ mindesten mit einer Losgrösse D ($\rho = 0.4 - 0.7$) zu rechnen ist.

Aus der Abbildung 7 kann bei $\rho = 0.5$ [P/m²] der Wert für $J_s = 0.6$ [P/ms] abgelesen werden, das entspricht einer Geschwindigkeit von 1.20 [m/s] was ca. 4.3 km/h entspricht. Dieser Wert erscheint plausibel und wird als Standardwert für diese Arbeit übernommen.

Bahnhofsqualität

2.4 Personentypus am Bahnhof

Ein Bahnhof von nationaler Bedeutung erfüllt heutzutage mehr als nur die Funktion eines Reisendenhubs. Mit den vielen Einkaufsmöglichkeiten und Events im und um den Bahnhof zieht dieser, oft in einer Stadt zentraler Punkt, zusätzliches Publikum an. Mit der Erhebung der Kundenzufriedenheit Bahnhöfe, wurden im Jahr 2011, 6409 Personen befragt, und unter anderem wurde erhoben, wie oft diese Personen einen Bahnhof besuchen ohne Reisezweck. Die Umfrage zeigte, dass von den Befragten 8% täglich den Bahnhof nutzen ohne Reisezweck und lediglich 20% den Bahnhof nie anders nutzen als Hub. Zählt man die 8% zu den 18%, welche den Bahnhof mehrmals wöchentlich benutzen, sind dies 36%, was über ein Drittel der Befragten entspricht. (vgl. KuZuBa)

An Bahnhöfen kann folgende Einteilung von Personentypen, gemacht werden; entweder in „Reisenden“, welche Ein-, Aus- oder Umsteiger oder in „nicht Reisende“, welche den Bahnhof a) als Quermöglichkeit (Quartierverbindung), b) zum abholen/ begleiten von Personen oder c) zum Einkaufen nutzen. Die Flächen in Bahnhöfen sind auf alle Personentypen auszurichten.

Die vier Personentypen der Simulation

Für die Modellierung der Simulation wurden die folgenden vier Personentypen (in Abbildung 8 rot umrahmt) abgebildet.

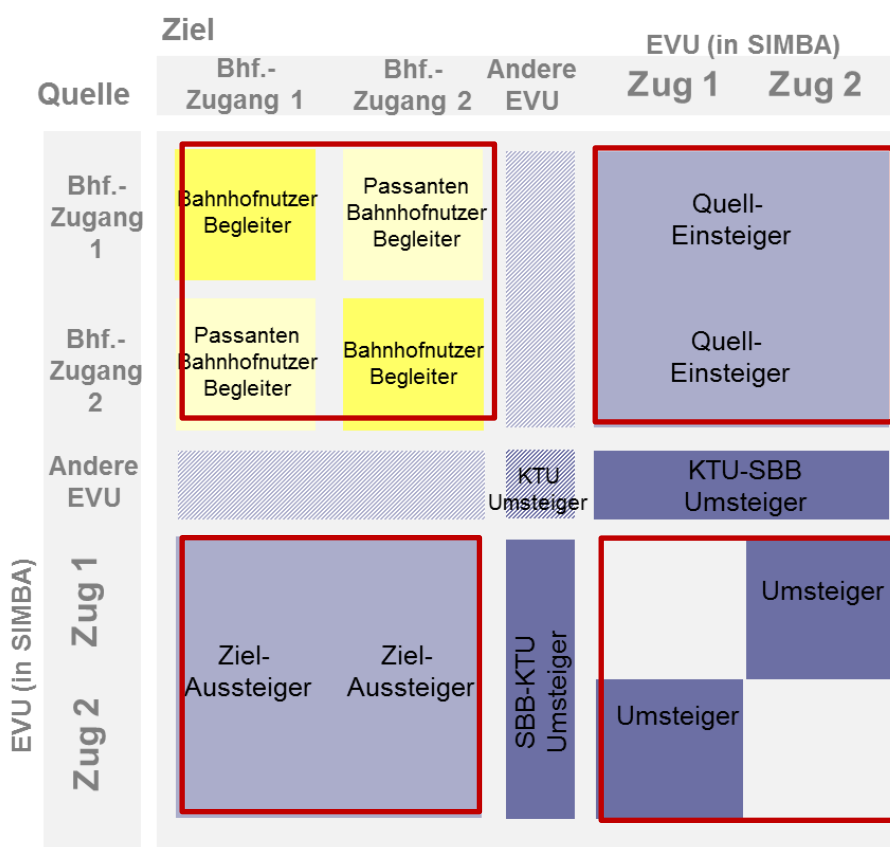


Abbildung 8: Überblick und Zusammenhang der Bahnhofnutzer (Quelle: SBB)

. Die Abbildung 8 zeigt den Wirkungszusammenhang zwischen den Messsystemen und den verschiedenen Personenklassen.

| | |
|-----------------|--|
| Einsteiger | <p>Quell-Einsteiger:</p> <p>Quell-Einsteiger sind Personen, welche von der Stadt (zu Fuss, per Bus, Auto oder Tram) in das System Bahnhof eintreten, um eine Reise in einem Zug anzutreten.</p> |
| Aussteiger | <p>Ziel-Aussteiger:</p> <p>Ziel-Aussteiger sind Reisende, welche mit einem Zug am Zielort angekommen sind und das System Bahnhof an einer Schnittstelle zur Stadt verlassen.</p> |
| Umsteiger | <p>Umsteiger:</p> <p>Umsteiger sind Personen, welche mit dem Zug im System Bahnhof ankommen und innerhalb des Bahnhofs einen anderen Zug wählen, um an ihren Bestimmungsort zu kommen. Diese Personen verlassen den Bahnhof mit einem Zug und nutzen keine Schnittstelle zur Stadt.</p> |
| Bahnhofsnutzer | <p>Bahnhofsnutzer – Begleiter</p> <p>Bahnhofsnutzer und Begleiter sind Personen, die in das System Bahnhof eintreten ohne einen Reisezweck zu verfolgen, um bspw. andere Personen zum Perron zu begleiten und danach das System Bahnhof wieder durch die gleiche Schnittstelle verlassen, von der sie gekommen sind. Ebenfalls fallen Personen darunter, welche den Bahnhof zum Einkaufen nutzen und ebenfalls die gleiche Schnittstelle zum Verlassen des Bahnhofs benutzen, durch die sie gekommen sind.</p> <p>Bahnhofsnutzer – Begleiter – Passanten</p> <p>Bahnhofsnutzer, Begleiter und Passanten sind Personen, die durch eine Schnittstelle in das System Bahnhof kommen und durch eine andere Schnittstelle das System Bahnhof wieder verlassen. Dazu zählen Personen, die den Bahnhof als reines Stadtverbindungselement nutzen oder einen oder mehrere Zwischenstopps machen, um eine Dienstleistung zu beziehen.</p> |
| Weiterreisende | <p>Weiterreisende:</p> <p>Weiterreisende sind Personen, welche im Zug sitzen bleiben, um an einem anderen Bahnhof aus- oder umzusteigen. Diese Personen sind für diese Arbeit nicht von belang, da diese die Flächen der Bahnhofsinfrastruktur nicht nutzen.</p> |
| KTU - Umsteiger | <p>KTU–Umsteiger:</p> <p>KTU–Umsteiger sind Personen, welche zwischen zwei EVU umsteigen, welche nicht zur SBB gehören. Für den Bahnhof Zürich sind diese Personen nicht relevant, da am Bahnhof Zürich nur ein KTU – die SZU (Sihltal-Zürich-Uetliberg Bahn) - verkehrt, diese ist explizit von der Arbeit ausgeschlossen.</p> |

2.5 Graph HB Zürich aus der Projektarbeit/ Graphentheorie

Graphen sind abstrahierte Verbindungsinformationen zu einer mathematischen Struktur. Ein Graph besteht aus Knoten und Kanten. Dabei verbindet jede Kante genau zwei Knoten. Je zwei Knoten können dann durch keine, eine oder mehr als eine Kante verbunden sein. Jede Kante ist dabei durch zwei Knoten ("Endpunkte") definiert. Die Objekte, die in der Knoten und Kanten enthalten sind müssen nichts mit geometrischen Objekten zu tun haben. Vielmehr ist die Graphentheorie ein Hilfsmittel zur Beschreibung beliebiger (abstrakter) Beziehungen zwischen Objekten beliebigen Typs.

Die Projektarbeit (PA) „Optimierung der Personenflüsse am Bahnhof Zürich“ von Daniel Bürgi und Martin Moser bildet die Grundlage der kürzesten Wege nach dem Algorithmus von Dijkstra (der Algorithmus von Dijkstra bezeichnet die one-to-all - Berechnung der kürzesten Wege von einem Knoten S zu allen anderen Knoten im ungerichteten, gewichteten Graphen G. Der Bahnhof Zürich wurde als Graph abgebildet, wobei die Knoten die wichtigsten Eckpunkte waren und gewichteten Kanten die Wegdistanz zwischen zwei benachbarten Knoten.

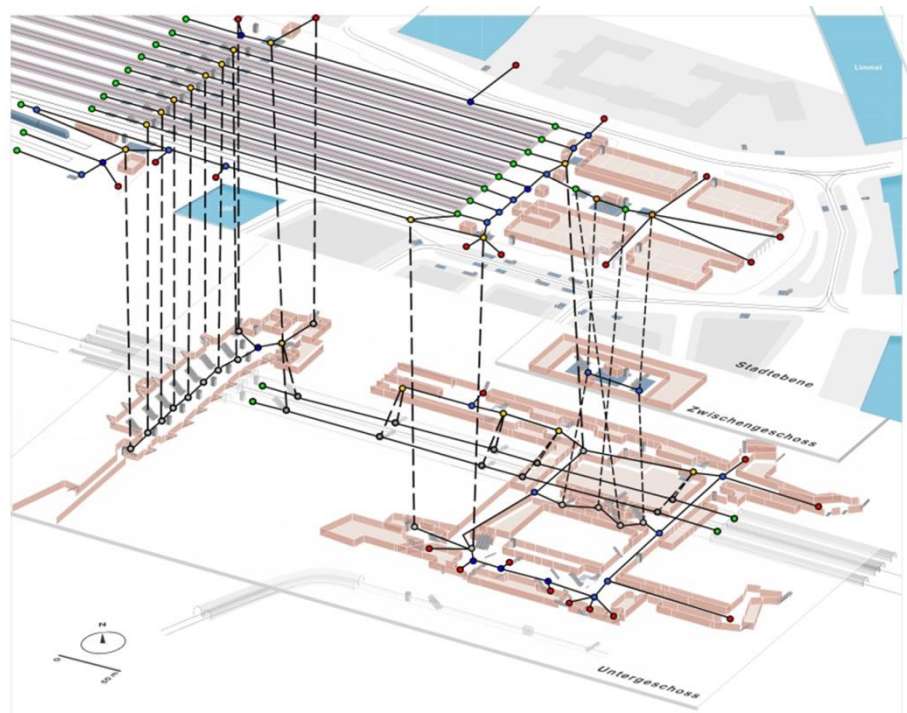


Abbildung 9: Vereinfachter Graph aus der Vorstudie der PA ohne Bahnhof Löwenstrasse (Quelle: Bürgi, Moser)

Im Rahmen des Vorprojektes der Projektarbeit wurde ein simpler Graph vom Zürich erstellt (dient hier als Veranschaulichung). Der Graph des Bahnhofs besitzt 325 Knoten und 456 Kanten. Die Distanzen der Kantenlänge zwischen den Knoten wurden mit den gemessenen Wegdistanzen gewichtet. Daraus ergeben sich $105'300$ (325×324) Möglichkeiten, um am Bahnhof zu verkehren. Diese $105'300$ Möglichkeiten wurden in einer Matrix hinterlegt, aus der jede Distanz zwischen zwei Knoten ausgelesen werden kann.

Kantengewichte

Der Graph wurde in dieser Arbeit eingesetzt, um spezifische Distanzen zwischen Punkten im Bahnhof zu ermitteln mit Hilfe der Matrix. Die Wegdistanzen bildeten die Grundlage um die Wegzeiten zu berechnen.

Formel zur Berechnung der Wegzeit: $t = \frac{s}{v}$ [s]

Dabei war s die Strecke aus der Matrix vom Graph von Zürich und für die Geschwindigkeit wurde $v = 1.20$ [m/s] hinterlegt (vgl. Kap. 2.3).

Dadurch konnten Zeitmatrizen erstellt werden zwischen ausgewählten Punkten, welche bei der Vorstudie wie auch beim Modellieren zum Einsatz kamen.

3 Vorstudie

Die Vorstudie soll die Problematik der Personenflüsse und der Umsteigezeit genauer betrachten und aufzeigen

Personenflüsse, Leistungsfähigkeit
Anschlüsse

3.1 Personenflüsse. Leistungsfähigkeit und Anschlüsse

Die Qualität der Personenflüsse beeinflusst eins zu eins die Leistungsfähigkeit einer Publikumsanlage. Denn jeder Bahnhof hat definierte Anschlusszeiten im Fahrplan hinterlegt, die angeben, wie lange der Umsteigevorgang für einen durchschnittlichen Reisenden ist, um zu bewerten, ob ein Zug als Anschluss gilt oder nicht. Dies hat einen Einfluss auf die Attraktivität des Angebots. Für den Bahnhof Zürich sind von der SBB sieben Minuten (SBB Weisung Z505) definiert. Dabei ist es nicht relevant aus welcher Richtung der ankommende resp. in welche Richtung der abfahrende Zug verkehrt. An Bahnhöfen mit halbstunden Takt, gelten Züge, bei denen die Anschlusszeit 30 Minuten übersteigt, nicht mehr als Anschlüsse. Dies bedeutet, dass eine Kombination mit Ankunftszeit Zug 1 xx.58 und Abfahrtszeit Zug 2 xx.03, nicht als Anschluss gilt, da nur fünf Minuten Differenz bestehen. Diese Verbindung wird dann auch nicht im veröffentlichten Fahrplan angezeigt. Im Volksmund gilt unter den erfahrenen Pendlern ein solcher - nicht offizieller - Anschluss als Turnschuh-Anschluss. Die SBB muss solche Anschlüsse gegenüber den Kunden nicht einhalten resp. der Kunde kann einen solchen Anschluss bei Verpassen nicht geltend machen.

Personendichte und Anschlüsse

Da aber die Personendichte und die Geschwindigkeit der Personenströme massgebend für die Umsteigezeiten zur Anschlusserreichung sind, kann bei einer Verschlechterung der Situation in dem Bahnhof die vorgegebene Anschlusszeit nicht mehr gehalten werden. Dies hätte zur Folge, dass die definierte Umsteigezeit erhöht werden müsste, was wiederum einen grossen Einfluss auf das gesamte System hätte. Gerade für den Bahnhof Zürich würde das einen negativen Einfluss auf den gesamten Fahrplan der SBB und den zu- und abführenden EVU und TU haben. Eine Reduktion der Umsteigezeit am Bahnhof Zürich von sieben auf sechs Minuten, würde in der Planung einen grossen Spielraum geben um das Angebot weiter ausbauen zu können.

3.2 Erste Abschätzung - Umsteigebeziehungen am HB Zürich

In der Projektarbeit (PA) von Daniel Bürgi und Martin Moser wurden die kürzesten Wege am HB Zürich nach dem Algorithmus von Dijkstra ermittelt für die Umsteigebeziehung zwischen den Hallengleisen und dem Bahnhof Museumstrasse bezüglich den S-Bahn – Halteorten. Aus dieser Arbeit kann die Weg - Matrix zwischen den Perron einen Aufschluss geben, wie lange es durchschnittlich dauert, um umzusteigen, wenn die Wege in [m] mit einer Zeit [min] hinterlegt werden. Diese Werte sind jedoch eine erste Abschätzung, da mit einer optimalen Routenwahl, mit durchschnittlicher Geschwindigkeit gerechnet wird.

Wegmatrix (Punkt zu Punkt)

| Wege [m] | Gleis (3) | Gleis (4/5) | Gleis (6/7) | Gleis (8/9) | Gleis (10/11) | Gleis (12/13) | Gleis (14/15) | Gleis (16/17) | Gleis (18) | Gleis (41/42) | Gleis (43/44) | Gleis (43/44) | Gleis (43/44) | Gleis (43/44) | Gleis (43/44) | Gleis (43/44) |
|---------------|-----------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Gleis (3) | 20 | 158 | 175 | 192 | 209 | 226 | 243 | 260 | 279 | 324 | 324 | 198 | 215 | 295 | 278 | 288 |
| Gleis (4/5) | 158 | 20 | 147 | 164 | 181 | 198 | 215 | 232 | 251 | 316 | 316 | 203 | 188 | 307 | 290 | 320 |
| Gleis (6/7) | 175 | 147 | 20 | 147 | 164 | 181 | 198 | 215 | 234 | 299 | 299 | 195 | 178 | 324 | 307 | 307 |
| Gleis (8/9) | 192 | 164 | 147 | 20 | 147 | 164 | 181 | 198 | 217 | 282 | 282 | 204 | 187 | 341 | 324 | 354 |
| Gleis (10/11) | 209 | 181 | 164 | 147 | 20 | 147 | 164 | 181 | 200 | 265 | 265 | 221 | 204 | 358 | 341 | 371 |
| Gleis (12/13) | 226 | 198 | 181 | 164 | 147 | 20 | 147 | 164 | 183 | 265 | 265 | 303 | 286 | 375 | 358 | 388 |
| Gleis (14/15) | 243 | 215 | 198 | 181 | 164 | 147 | 20 | 147 | 166 | 265 | 266 | 320 | 303 | 392 | 375 | 405 |
| Gleis (16/17) | 260 | 232 | 215 | 198 | 181 | 164 | 147 | 20 | 149 | 248 | 249 | 337 | 320 | 409 | 392 | 422 |
| Gleis (18) | 279 | 251 | 234 | 217 | 200 | 183 | 166 | 149 | 20 | 168 | 168 | 312 | 295 | 428 | 411 | 441 |
| Gleis (41/42) | 324 | 316 | 299 | 282 | 265 | 265 | 265 | 248 | 168 | 20 | 70 | 211 | 194 | 546 | 529 | 559 |
| Gleis (43/44) | 324 | 316 | 299 | 282 | 265 | 265 | 266 | 249 | 168 | 70 | 20 | 211 | 194 | 562 | 545 | 575 |
| Gleis (31/32) | 198 | 178 | 195 | 204 | 221 | 303 | 320 | 337 | 312 | 211 | 211 | 20 | 63 | 452 | 435 | 465 |
| Gleis (33/34) | 215 | 188 | 178 | 187 | 204 | 286 | 303 | 320 | 295 | 194 | 194 | 63 | 20 | 452 | 435 | 465 |
| Gleis (33/34) | 295 | 307 | 324 | 341 | 358 | 375 | 392 | 409 | 428 | 546 | 562 | 452 | 452 | 20 | 347 | 411 |
| Gleis (33/34) | 278 | 290 | 307 | 324 | 341 | 358 | 375 | 392 | 411 | 529 | 545 | 435 | 435 | 347 | 20 | 394 |
| Gleis (33/34) | 288 | 320 | 307 | 354 | 371 | 388 | 405 | 422 | 441 | 559 | 575 | 465 | 465 | 411 | 394 | 20 |

Tabelle 2: Wegbeziehung in [m] zwischen den Gleisen am HB (Quelle: Moser)

Die Weglängen [m] in der Matrix (vgl. Tabelle 2) werden durch die Geschwindigkeit dividiert wird, so erhält man die ungefähre Zeit [umgerechnet in min] die eine durchschnittliche Person benötigt, um von Punkt zu Punkt zu gelangen (vgl. Tabelle 3). Für die Geschwindigkeit wird 1.20 [m/s] (vgl. Kap. 2.3) angenommen, dies entspricht einer durchschnittlichen Geschwindigkeit auf gemischten Flächen (Personen begehen die Fläche aus unterschiedlichen Richtungen).

Zeitmatrix (Punkt zu Punkt)

| Zeit in [min] | Gleis (3) | Gleis (4/5) | Gleis (6/7) | Gleis (8/9) | Gleis (10/11) | Gleis (12/13) | Gleis (14/15) | Gleis (16/17) | Gleis (18) | Gleis (41/42) | Gleis (43/44) | Gleis (31/32) | Gleis (33/34) | Gleis (51) | Gleis (52/53) | Gleis (54) |
|---------------|-----------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|---------------|------------|
| Gleis (3) | 0.27 | 2.16 | 2.39 | 2.62 | 2.86 | 3.09 | 3.32 | 3.55 | 3.81 | 4.43 | 4.43 | 2.70 | 2.94 | 4.03 | 3.80 | 3.93 |
| Gleis (4/5) | 2.16 | 0.27 | 2.01 | 2.24 | 2.47 | 2.70 | 2.94 | 3.17 | 3.43 | 4.32 | 4.32 | 2.77 | 2.57 | 4.19 | 3.96 | 4.37 |
| Gleis (6/7) | 2.39 | 2.01 | 0.27 | 2.01 | 2.24 | 2.47 | 2.70 | 2.94 | 3.20 | 4.08 | 4.08 | 2.66 | 2.43 | 4.43 | 4.19 | 4.19 |
| Gleis (8/9) | 2.62 | 2.24 | 2.01 | 0.27 | 2.01 | 2.24 | 2.47 | 2.70 | 2.96 | 3.85 | 3.85 | 2.79 | 2.55 | 4.66 | 4.43 | 4.84 |
| Gleis (10/11) | 2.86 | 2.47 | 2.24 | 2.01 | 0.27 | 2.01 | 2.24 | 2.47 | 2.73 | 3.62 | 3.62 | 3.02 | 2.79 | 4.89 | 4.66 | 5.07 |
| Gleis (12/13) | 3.09 | 2.70 | 2.47 | 2.24 | 2.01 | 0.27 | 2.01 | 2.24 | 2.50 | 3.62 | 3.62 | 4.14 | 3.91 | 5.12 | 4.89 | 5.30 |
| Gleis (14/15) | 3.32 | 2.94 | 2.70 | 2.47 | 2.24 | 2.01 | 0.27 | 2.01 | 2.27 | 3.62 | 3.63 | 4.37 | 4.14 | 5.36 | 5.12 | 5.53 |
| Gleis (16/17) | 3.55 | 3.17 | 2.94 | 2.70 | 2.47 | 2.24 | 2.01 | 0.27 | 2.04 | 3.39 | 3.40 | 4.60 | 4.37 | 5.59 | 5.36 | 5.77 |
| Gleis (18) | 3.81 | 3.43 | 3.20 | 2.96 | 2.73 | 2.50 | 2.27 | 2.04 | 0.27 | 2.30 | 2.30 | 4.26 | 4.03 | 5.85 | 5.61 | 6.02 |
| Gleis (41/42) | 4.43 | 4.32 | 4.08 | 3.85 | 3.62 | 3.62 | 3.62 | 3.39 | 2.30 | 0.27 | 0.96 | 2.88 | 2.65 | 7.46 | 7.23 | 7.64 |
| Gleis (43/44) | 4.43 | 4.32 | 4.08 | 3.85 | 3.62 | 3.62 | 3.63 | 3.40 | 2.30 | 0.96 | 0.27 | 2.88 | 2.65 | 7.68 | 7.45 | 7.86 |
| Gleis (31/32) | 2.70 | 2.43 | 2.66 | 2.79 | 3.02 | 4.14 | 4.37 | 4.60 | 4.26 | 2.88 | 2.88 | 0.27 | 0.86 | 6.17 | 5.94 | 6.35 |
| Gleis (33/34) | 2.94 | 2.57 | 2.43 | 2.55 | 2.79 | 3.91 | 4.14 | 4.37 | 4.03 | 2.65 | 2.65 | 0.86 | 0.27 | 6.17 | 5.94 | 6.35 |
| Gleis (51) | 4.03 | 4.19 | 4.43 | 4.66 | 4.89 | 5.12 | 5.36 | 5.59 | 5.85 | 7.46 | 7.68 | 6.17 | 6.17 | 0.27 | 4.74 | 5.61 |
| Gleis (52/53) | 3.80 | 3.96 | 4.19 | 4.43 | 4.66 | 4.89 | 5.12 | 5.36 | 5.61 | 7.23 | 7.45 | 5.94 | 5.94 | 4.74 | 0.27 | 5.38 |
| Gleis (54) | 3.93 | 4.37 | 4.19 | 4.84 | 5.07 | 5.30 | 5.53 | 5.77 | 6.02 | 7.64 | 7.86 | 6.35 | 6.35 | 5.61 | 5.38 | 0.27 |

Tabelle 3: Wegbeziehung in [min] zwischen den Perron mit v = 1.20 [m/s] am HB (Quelle: Moser)

Aus der Tabelle 3 ist anhand der Farbintensität ersichtlich, dass vor allem die Umsteigebeziehung zwischen den Gleisen 51 – 54 auf die Gleise 41 – 44 sehr kritisch sind. Mit der Eröffnung der neuen Elemente am 14 Juni 2014 am HB Zürich werden die Gleise 51 – 54 zurückgebaut. Es zeigt sich, dass der Bahnhof ab 14. Juni 2014 in sich näher zusammenrückt, was physisch zwar faktisch kürzere Wegdistanzen bringt, jedoch schon bei gleichbleibender Anzahl Personen den Fussverkehr auf kleinerem Raum verdichtet, dadurch steigt die Personendichte. Die Geschwindigkeit $v = 1.2$ [m/s] wird in Kapitel 2.3 hergeleitet und entspricht einem $\rho = 0.5$ [P/m²] was auf 100m² eine Belastung von 50 Personen bedeutet. Bei 80 Personen auf 100m² würde das einem LoS von einem E bedeuten mit $\rho = 0.8$ [P/m²] und $J_s = 0.9$ [P/ms], das entspricht einer Geschwindigkeit von $v = 1.13$ [m/s].

| Zeit in [min] | Gleis (3) | Gleis (4/5) | Gleis (6/7) | Gleis (8/9) | Gleis (10/11) | Gleis (12/13) | Gleis (14/15) | Gleis (16/17) | Gleis (18) | Gleis (41/42) | Gleis (43/44) | Gleis (31/32) | Gleis (33/34) |
|---------------|-----------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Gleis (3) | 0.30 | 2.39 | 2.65 | 2.91 | 3.17 | 3.42 | 3.68 | 3.94 | 4.23 | 4.91 | 4.91 | 3.00 | 3.26 |
| Gleis (4/5) | 2.39 | 0.30 | 2.23 | 2.48 | 2.74 | 3.00 | 3.26 | 3.52 | 3.80 | 4.79 | 4.79 | 3.08 | 2.85 |
| Gleis (6/7) | 2.65 | 2.23 | 0.30 | 2.23 | 2.48 | 2.74 | 3.00 | 3.26 | 3.55 | 4.53 | 4.53 | 2.95 | 2.70 |
| Gleis (8/9) | 2.91 | 2.48 | 2.23 | 0.30 | 2.23 | 2.48 | 2.74 | 3.00 | 3.29 | 4.27 | 4.27 | 3.09 | 2.83 |
| Gleis (10/11) | 3.17 | 2.74 | 2.48 | 2.23 | 0.30 | 2.23 | 2.48 | 2.74 | 3.03 | 4.02 | 4.02 | 3.35 | 3.09 |
| Gleis (12/13) | 3.42 | 3.00 | 2.74 | 2.48 | 2.23 | 0.30 | 2.23 | 2.48 | 2.77 | 4.02 | 4.02 | 4.59 | 4.33 |
| Gleis (14/15) | 3.68 | 3.26 | 3.00 | 2.74 | 2.48 | 2.23 | 0.30 | 2.23 | 2.52 | 4.02 | 4.03 | 4.85 | 4.59 |
| Gleis (16/17) | 3.94 | 3.52 | 3.26 | 3.00 | 2.74 | 2.48 | 2.23 | 0.30 | 2.26 | 3.76 | 3.77 | 5.11 | 4.85 |
| Gleis (18) | 4.23 | 3.80 | 3.55 | 3.29 | 3.03 | 2.77 | 2.52 | 2.26 | 0.30 | 2.55 | 2.55 | 4.73 | 4.47 |
| Gleis (41/42) | 4.91 | 4.79 | 4.53 | 4.27 | 4.02 | 4.02 | 4.02 | 3.76 | 2.55 | 0.30 | 1.06 | 3.20 | 2.94 |
| Gleis (43/44) | 4.91 | 4.79 | 4.53 | 4.27 | 4.02 | 4.02 | 4.03 | 3.77 | 2.55 | 1.06 | 0.30 | 3.20 | 2.94 |
| Gleis (31/32) | 3.00 | 2.70 | 2.95 | 3.09 | 3.35 | 4.59 | 4.85 | 5.11 | 4.73 | 3.20 | 3.20 | 0.30 | 0.95 |
| Gleis (33/34) | 3.26 | 2.85 | 2.70 | 2.83 | 3.09 | 4.33 | 4.59 | 4.85 | 4.47 | 2.94 | 2.94 | 0.95 | 0.30 |

Tabelle 4: Wegbeziehung in [min] zwischen den Perron mit $v = 1.13$ [m/s] am HB (Quelle: Moser)

In der Tabelle 4 sind die Gleise 51 – 54 ausgeblendet und die Wegedistanzen mit der Geschwindigkeit von 1.13 [m/s] gewichtet. Durch den Rückbau der Gleise 51 – 54 ist die Situation trotz des Faktors Zeit mit einer langsameren Fussgängergeschwindigkeit weniger schlimm als vorher.

| Zeit in [min] | Gleis (3) | Gleis (4/5) | Gleis (6/7) | Gleis (8/9) | Gleis (10/11) | Gleis (12/13) | Gleis (14/15) | Gleis (16/17) | Gleis (18) | Gleis (41/42) | Gleis (43/44) | Gleis (31/32) | Gleis (33/34) |
|---------------|-----------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Gleis (3) | 0.48 | 3.76 | 4.17 | 4.57 | 4.98 | 5.38 | 5.79 | 6.19 | 6.64 | 7.71 | 7.71 | 4.71 | 5.12 |
| Gleis (4/5) | 3.76 | 0.48 | 3.50 | 3.90 | 4.31 | 4.71 | 5.12 | 5.52 | 5.98 | 7.52 | 7.52 | 4.83 | 4.48 |
| Gleis (6/7) | 4.17 | 3.50 | 0.48 | 3.50 | 3.90 | 4.31 | 4.71 | 5.12 | 5.57 | 7.12 | 7.12 | 4.64 | 4.24 |
| Gleis (8/9) | 4.57 | 3.90 | 3.50 | 0.48 | 3.50 | 3.90 | 4.31 | 4.71 | 5.17 | 6.71 | 6.71 | 4.86 | 4.45 |
| Gleis (10/11) | 4.98 | 4.31 | 3.90 | 3.50 | 0.48 | 3.50 | 3.90 | 4.31 | 4.76 | 6.31 | 6.31 | 5.26 | 4.86 |
| Gleis (12/13) | 5.38 | 4.71 | 4.31 | 3.90 | 3.50 | 0.48 | 3.50 | 3.90 | 4.36 | 6.31 | 6.31 | 7.21 | 6.81 |
| Gleis (14/15) | 5.79 | 5.12 | 4.71 | 4.31 | 3.90 | 3.50 | 0.48 | 3.50 | 3.95 | 6.31 | 6.33 | 7.62 | 7.21 |
| Gleis (16/17) | 6.19 | 5.52 | 5.12 | 4.71 | 4.31 | 3.90 | 3.50 | 0.48 | 3.55 | 5.90 | 5.93 | 8.02 | 7.62 |
| Gleis (18) | 6.64 | 5.98 | 5.57 | 5.17 | 4.76 | 4.36 | 3.95 | 3.55 | 0.48 | 4.00 | 4.00 | 7.43 | 7.02 |
| Gleis (41/42) | 7.71 | 7.52 | 7.12 | 6.71 | 6.31 | 6.31 | 6.31 | 5.90 | 4.00 | 0.48 | 1.67 | 5.02 | 4.62 |
| Gleis (43/44) | 7.71 | 7.52 | 7.12 | 6.71 | 6.31 | 6.31 | 6.33 | 5.93 | 4.00 | 1.67 | 0.48 | 5.02 | 4.62 |
| Gleis (31/32) | 4.71 | 4.24 | 4.64 | 4.86 | 5.26 | 7.21 | 7.62 | 8.02 | 7.43 | 5.02 | 5.02 | 0.48 | 1.50 |
| Gleis (33/34) | 5.12 | 4.48 | 4.24 | 4.45 | 4.86 | 6.81 | 7.21 | 7.62 | 7.02 | 4.62 | 4.62 | 1.50 | 0.48 |

Tabelle 5: Wegbeziehung in [min] zwischen den Perron mit $v = 0.8$ [m/s] am HB (Quelle: Moser)

Ab einer Geschwindigkeit von $v = 0.8$ [m/s] könnten die Anschlusszeit von sieben Minuten nicht mehr gewährt werden. Dies entspricht dem maximalen $J_s = 1.22$ [P/ms] und $\rho = 1.5$ [P/m²], respektive dem LoS F, was 150 Personen auf 100m² entspricht.

3.3 Erste Analyse der Anschlussbrüche am HB im Januar 2014

CorrMeRe

Aus den CorrMeRe - Daten (Daten aus dem Anschlussrechner der SBB) für den HB Zürich, wurden die Verspätungsdaten ausgelesen von den Zügen, welche mit einer Verspätung grösser als drei Minuten abgefahren sind. Das waren im Januar (2014) 2'824 Züge. Dies entspricht einem Durchschnitt von 91 Zügen pro Tag, die mit einer Verspätung grösser drei Minuten an dem HB losgefahren sind. Pro Tag fahren nach Fahrplan 2014 im Schnitt (über die Woche gemittelt 1'260 Züge am Sa/ So und 1'290 Mo-Fr) 1281 Züge, dies bedeutete das 7,1 % der Züge fahren mit einer Verspätung grösser 3 Minuten abfahren.

Anschlüsse

Sofern die vorgegebene Umsteigezeit im Bahnhof eingehalten wird, existiert ein Anschluss. Dabei ist es nicht relevant, aus welcher Richtung der ankommende resp. in welche Richtung der abfahrende Zug verkehrt. Züge, bei denen die Anschlusszeit 30 Minuten übersteigt, werden nicht mehr als Anschlüsse gewertet. Die Kennzahl «Reisendenverspätungsminuten aus Anschlussbrüchen und Zugsausfällen» wurde 2013 bei der SBB eingeführt und ist seit 2014 zielrelevant.

Anschlussbruch

Bei grösseren Verspätungen kann nicht jeder Zubringer – Zug abgewartet werden oder bei Verspätung, die sieben Minuten Umsteigezeit gewähren. Dies bedeutet einen Anschlussbruch. Für den zweiten Fall bedeutet das beispielsweise; ein Zubringer - Zug sollte um 07.48 Uhr am HB ankommen. Der abgehende Zug sollte 07.56 Uhr abfahren. Das bedeutet im Normalfall eine Umsteigezeit von 8 Minuten und liegt somit innerhalb der Vorgaben für die Umsteigezeit im HB Zürich (für jeden Bahnhof sind Umsteigezeiten anhand der Topographie des Bahnhofs hinterlegt). Wenn nun der Zubringer – Zug eine Verspätung von 5 Minuten hat und erst um 07.53 Uhr am HB ankommt, müsste der abgehende Zug bis 08.00 Uhr warten. Wenn er jedoch zwischen 07.56 Uhr und 07.59 Uhr losfährt, dann entsteht ein Anschlussbruch.

| Pro Tag | Anschluss-Bruch | Mögliche Anschlüsse | Relative Brüche |
|------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| Sa | 6.5 | 1337 | 0.49% |
| So | 10.0 | 1223 | 0.82% |
| Mo | 30.5 | 2409 | 1.27% |
| Di | 54.8 | 2712 | 2.02% |
| Mi | 22.0 | 2236 | 0.98% |
| Do | 18.3 | 2115 | 0.86% |
| Fr | 31.2 | 2612 | 1.19% |
| Werktags | 31.3 | 2417 | 1.27% |
| Wochenende | 8.3 | 1280 | 0.65% |

Tabelle 6: Übersicht der Anschlussbrüche im Januar 2014 (Quelle: Moser)

Im Monat Januar 2014 wurden 744 Relationen von 65'387 im Anschluss gebrochen. Dies entspricht 1,14%. Dabei kann festgestellt werden, dass gemessen an den möglichen Relationen am Wochenende nur rund die Hälfte der unter der Woche entstehenden Anschlussbrüche stattfindet.

| Pro Tag | Anschluss-Bruch | Mögliche Anschlüsse | Relative Brüche |
|----------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| International | 5.3 | 177 | 3.01% |
| Fernverkehr | 8.4 | 1032 | 0.82% |
| S-Bahn | 10.3 | 844 | 1.22% |

Tabelle 7: Anschlussbrüche im Januar 2014 nach Zugsgattung (Quelle: Moser)

Betrachtet man die Zugsgattung, so wurden mit 3.01% am meisten Anschlussbrüche im internationalen Verkehr festgestellt, gefolgt vom Regionalverkehr, die wenigsten Anschlussbrüche entstanden beim Fernverkehr.

Die grösste Umsteigebeziehung zwischen den Gleisen spielt sich zwischen den Gleisen 41 bis 44 auf die Gleise 6, 8-13 und 18 ab sowie zwischen den Gleisen 53 und 54 auf das Gleis 43.

Betrachtet man die Anschlussbrüche in der Abbildung 11, so fällt die Gleisbeziehung 41-44 auf 6 sowie 44 auf 43 mit überdurchschnittlich vielen Anschlussbrüchen auf. (Je höher die Zahl, desto mehr Anschlussbrüche werden verzeichnet.)

Der Anschluss wird rechnerisch mit 7 Minuten hinterlegt. Mittelt man die Anschlussbrüche, so werden diese am ehesten verpasst, wenn auf Gleis 8, 14, 9 und 6 angekommen wird resp. auf Gleise 6, 43, 8 und 41 abgefahren wird. Da zumindest für geübte Bahnfahrer auch Anschlüsse unter 7 Minuten erreicht werden können, so sind die Anschlussbrüche effektiv innerhalb der Halle innerhalb des Tiefbahnhofes (Gleis 41-44) und innerhalb des Flügelbahnhofes (Gleis 52-54) weniger kritisch. Umsteigerelationen, welche einen „Bahnhofswechsel“ erfordern, sind jedoch mit 7 Minuten knapp gerechnet und in vielen Fällen auch durch geübte Bahnfahrer nicht mehr zu erreichen.

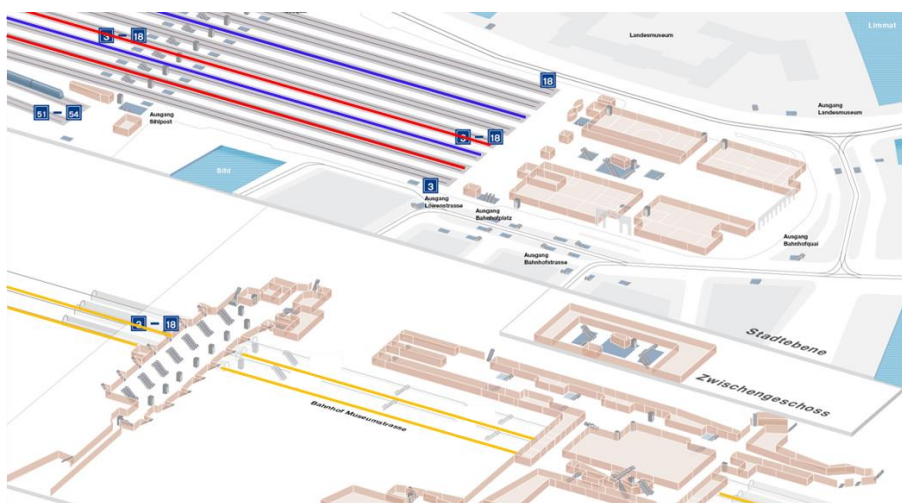


Abbildung 10: Kritische Gleise bezüglich Anschlussbrüche (Quelle Martin Moser)

Die Abbildung 7 zeigt die kritischen Gleise bezüglich des Anschluss verpassen auf:

- Blau: Kritisch bei Ankunft auf dem Gleis
- Rot: Kritisch bei Ankunft und Abfahrt auf dem Gleis
- Orange: Kritisch bei Abfahrt auf dem Gleis

| | | Von Geleise | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----|-------------|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|--|--|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 41 | 42 | 43 | 44 | 52 | 53 | 54 | | | | | | | | | |
| Nach Geleise | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | | |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | | |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 6 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 6 | 8 | 5 | 7 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | | |
| | 8 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | | |
| | 9 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | | |
| | 10 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 3 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 11 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | | |
| | 12 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 13 | 0 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 14 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 15 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 16 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 17 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 18 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 41 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 5 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | | |
| | 42 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | | |
| | 43 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 9 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 44 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 3 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | |
| 52 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 53 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 54 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |

Abbildung 11: Umsteigebeziehung und Anschlussbrüche Januar 2014 (Quelle: Moser)

Insofern sind die Umsteigebeziehungen mit Verspätung von den Gleisen 41-44 auf die Gleise 6 oder 8 nicht nur häufig, sondern auch kritisch, da in diesen Fällen der „Bahnhof“ gewechselt werden muss. Die ebenfalls häufige Umsteigebeziehung mit Verspätung von Gleis 44 auf 43 ist nicht so kritisch, da am selben Peron umgestiegen werden kann.

4 Vorgehen und Methode

4.1 Aufgabenstellung für die Simulation

Diese Bachelorarbeit soll mit echten sowie modellierten Daten der SBB eine dynamische Simulation über den ganzen Bahnhof Zürich während der Hauptverkehrszeit (HVZ) von 06.45 – 08.45 Uhr erstellen. Um dabei eine möglichst realistische Abbildung eines durchschnittlichen Werktag zu simulieren, dient der Fahrplan 2013 als Grundlage und umfasst in dieser Zeit für die angegebene HVZ 170 Züge des Regional- und Fernverkehr und ca. 90'000 Personen, die zwischen 13 Schnittstellen zwischen Stadt/ Bahnhof und den Zügen agieren. Der Perimeter umfasst den Bahnhof Zürich, wie er ab 14. Juni 2014 bestehen wird, also inkl. aller neuen Elemente, die mit der Eröffnung der DML und des Bahnhof Löwenstrasse am einhergehen.

4.2 Perimeter

Der Projektperimeter bildete der HB Zürich mit den drei Bahnhöfen Zürich HB (Hallengleise), Bahnhof Museumsstrasse und Bahnhof Löwenstrasse ab. Dazu gehören alle Elemente wie Passage Sihlquai, Löwenstrasse und Bahnhofstrasse sowie die neue Passage Gessnerallee. Hinzu kommen die Halle Sihlpost, Löwenstrasse und Bahnhofsstrasse und alle Elemente der RailCity. Diese Elemente bilden den physischen/ geographischen Rahmen, in dem sich die Simulation abspielt.

Von Gleis 51 - 54 auf 31 - 34

In der Simulation wird der Bahnhof SZU (Gleise 1 und 2) sowie die Gleise 51 bis 54 (werden zurückgebaut mit der Eröffnung des Bahnhof Löwenstrasse) nicht abgebildet. Da das Bahnhoflayout dem Stand ab 14 Juni 2014 entspricht, wurden die Züge, welche auf den Gleise 51 – 54 fahren, auf die neuen Gleise 31 – 34 im Bahnhof Löwenstrasse gelegt.

Der HB wurde deshalb in vier Ebenen eingeteilt.

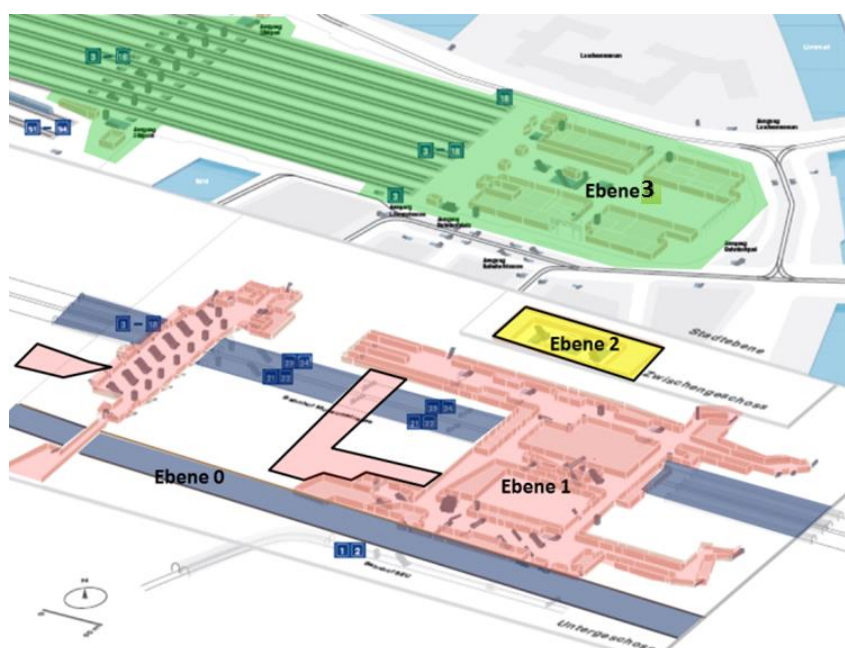


Abbildung 12: Ebenenkonzept des HB für SimDraw (c) (Quelle: Moser)

Die untere Ebene 0 (blau) bildet den Bahnhof Löwenstrasse und den Bahnhof Museumstrasse. Die mittlere Ebene (1) bildet alle Passagen (Sihlquai, Gassner, Löwenstrasse und Bahnhofstrasse), die RailCity und sämtliche Hallen (Sihlpost, Löwenstrasse, Sihlquai und Halle Bahnhofstrasse) ab.

Die Halle Sihlpost liegt in einer Zwischenebene zwischen Höhe Bahnhof Löwenstrasse und Passage Sihlquai (ca. 4. Treppenstufen oder über zwei kurze Rampen verbunden als Zugang von der Passage Sihlquai zwischen den Aufgängen zu Gleise 4/ 5 und 8/ 9). Zur Vereinfachung wird diese zur mittleren Ebene modelliert. Eine weitere Zwischenebene bildet das Zwischengeschoss, welche die RailCity mit dem Nordtrakt in der Halle verbindet. Diese Ebene wird einfachheitshalber nicht modelliert; die Verbindungen zwischen der RailCity und dem Nordtrakt werden direkt durchgängig modelliert. Die Ebene 2 wurde direkt in SimDraw gezeichnet, da diese nicht bei den Plänen dabei war. Die obere Ebene 3 (grün) beinhaltet die Hallengleise sowie die Haupthalle (Nordtrakt und Südtrakt).

4.3 Messgrößen

Die Messgrösse die für die Auswertung ist die Flächenbelastung nach den Qualitätskriterien der LoS (Vgl. Kap.2.2).

4.4 Vorgehen

Das grobe Vorgehen lässt sich wie folgt skizzieren:

Physikalischer Rahmen und
Zugsbildung

Die CAD Daten bilden den physikalischen Rahmen der Simulation, in dem sich die Personen bewegen. Die Gleise in der Simulation werden analog des Bahnhofplan in die Simulation übernommen. Die Gleisbelegung der Züge, erfolgt aus dem Zugsbildungsplan (2013). Die Simba - Daten stammen von 2011. Es gab kleinere Änderungen von 2011 auf 2013 einiger weniger Zugnummern und kleinen zeitlicher Anpassungen. Die Masterdatei ist der aktuelle Zugsbildungsplan, die Simba – Daten wurden angepasst anhand des aktuellen Gleisbelegungsplans.

Inputdaten für die Simulation
Simba

Aus den Simba – Daten, kann die Anzahl der Ein-, Aus- und Umsteiger ziemlich exakt entnommen werden, jedoch ist die Routenwahl der Personen am HB Zürich unbekannt. Der Simba - Datensatz bestimmt in der Simulation die Anzahl der Personen, welche Ein-, Aus- und Umsteiger sind.

Inputdaten für die Simulation
Simba und KFMS

Die KFMS – Daten sind Zählraten, welche mit Videokameras die Frequenzen in Minutentranchen festhalten, bei den Schnittstellen (Zu- und Abgänge) Bahnhof und Stadt. Da die Simba – Daten auf Stand 2011 sind, wurde ein KFMS – Datensatz eines DWV aus dem 2011 genommen. Es besteht eine Differenz zwischen den Modelldaten Simba gegenüber Messdaten KFMS bezüglich den Ein- und Ausgehenden in den Bahnhof. Jedoch kann daraus eine gute Schätzung abgeleitet werden, für den vierten Typus am Bahnhof, die Shopper und Querer.

Inputdaten für die Simulation
KFMS

Der KFMS – Datensatz dient als Grundlage für die prozentuale Ermittlung der Zu-, Abgangsbelastung innerhalb eines Zeitabschnitts. Anhand dieser Zu und Abgangsbelastung werden die Personen aus den Simba – Daten verteilt, aus dem abgeschätzten Delta, sollen die Personen ermittelt werden, welche den Bahnhof ohne Reiseabsicht benutzten ermittelt werden. Dadurch kann eine realitätsnahe Abbildung einer morgendlichen HVZ gewährleistet werden.

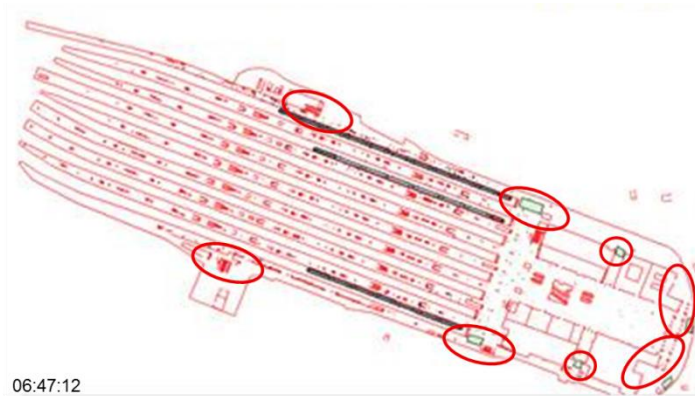


Abbildung 13: Rot umkreist Zugänge, welche auf KFMS Basis die Ein- und Aussteiger anhand der Simba Daten in das System speist oder abzieht (Quelle: Moser)

Synchronisieren der Daten

Der Fahrplan, der Gleisbelegungsplan und Zugsbildungsplan stammen aus der Fahrplanperiode 2013 (09.12.2012 - 14.12.2013). Die Simba - Daten sind vom Fahrplan 2011 (aus Vertraulichkeitsgründen keine aktuellere Version möglich). Daher mussten zuerst die kleineren Abweichungen zwischen Simba – Daten und dem Fahrplan (Zugnummern haben sich verändert, Gleisnummern gewechselt und Fahrplanzeiten verschoben) korrigiert werden. Dies konnte anhand von alten Gleisbelegungsplänen und Fahrplandaten (mit Stand Fahrplanperiode 2011) umgesetzt werden. Die Masterdatei war der Fahrplan 2013, auf dem die Züge im Simba - Datensatz angepasst wurde.

Einfluss der Zugnummern

Wenn ein Zug in Zürich einen Zwischenhalt macht (Bsp. Romanshorn – Zürich – Brig) dann behält der Zug die Zugnummer, wenn jedoch der Zug in Zürich endet und wieder an den Abfahrtsort zurückfährt (Konzept Wenden) oder eine andere Destination anfährt, dann wechselt die Zugnummer. Ausser es ist ein internationaler Zug, der in Zürich endet und wieder an den Ursprungsort zurückfährt, dann behält dieser Zug die Zugnummer.

Zusätzlich gibt es Züge, die in Zürich ankommen und dann remisiert werden, das heisst, diese werden leer weggestellt (Bsp. Nachtzüge), bis diese wieder zum Einsatz kommen (in Abbildung 14 grau hinterlegt) oder es gibt Züge, die leer im Gleisfeld abgestellt waren und in der Halle bereitgestellt werden, um einen Zuglauf zu fahren (in Abbildung 14 gelb hinterlegt). Die Informationen zu den Zugnummern wurden aus dem Gleisbelegungsplan entnommen, da dieser graphisch aufzeigt, mit welcher Zugnummer ein Zug ankommt und mit welcher Zugnummer dieser wieder abfährt. Zudem ist auch ersichtlich, wie lange ein Zug auf dem Peron steht, wenn er remisiert wird oder wann ein Zug in die Halle gestellt wird, denn diese Daten sind aus dem kommerziellen Fahrplan nicht ersichtlich.

Da in SimWalk nicht mit dynamischen Zugnummern gearbeitet werden kann, wurde immer die abgehende Zugnummer genommen, wenn es keine abgehende Zugnummer gab (Züge die Remisiert werden) wurde die ankommende Zugnummer verwendet.

Fahrplan für SimWalk

| ZNR | An | Ab | Gleis | Ein | Aus | RM TYP | ZNR | An | Ab | Gleis | Ein | Aus | RM TYP |
|-------|-------|-------|-------|-----|-----|--------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|--------|
| 13 | 06:26 | 07:09 | 5 | 188 | 0 | IRK | 19220 | 07:11 | 07:14 | 41 | 118 | 220 | 2 DTZ |
| 20119 | 06:38 | 06:50 | 31 | 2 | 0 | 1 DTZ | 19621 | 07:13 | 07:15 | 43 | 41 | 104 | 1 DTZ |
| 284 | 06:40 | 07:05 | 12 | 144 | 0 | IRK | 1012 | 07:13 | 07:49 | 18 | 233 | 199 | IC |
| 1008 | 06:40 | 06:49 | 18 | 179 | 0 | IC | 19620 | 07:15 | 07:17 | 42 | 66 | 86 | 2 DTZ |
| 10013 | 06:42 | 07:01 | 4 | 83 | 0 | 1 ICN | 19221 | 07:16 | 07:18 | 44 | 147 | 272 | 3 DTZ |
| 19618 | 06:45 | 06:47 | 41 | 37 | 0 | 1 DTZ | 18820 | 07:16 | 07:21 | 33 | 49 | 144 | 2 DPZ |
| 10759 | 06:45 | 07:07 | 8 | 37 | 0 | IRK | 9210 | 07:16 | 07:34 | 16 | 289 | 0 | 2 ICN |
| 2010 | 06:45 | 06:57 | 15 | 106 | 0 | IRK | 18720 | 07:18 | 07:20 | 41 | 13 | 306 | 2 DPZ |
| 19219 | 06:46 | 06:48 | 44 | 50 | 249 | 2 DPZ | 19025 | 07:18 | 07:20 | 43 | 9 | 133 | 2 DPZ |
| 18818 | 06:46 | 06:51 | 33 | 57 | 81 | 2 DTZ | 19425 | 07:18 | 07:20 | 34 | 73 | 157 | 2 DTZ |
| 18718 | 06:48 | 06:50 | 42 | 38 | 239 | 3 DPZ | 3508 | 07:19 | 07:27 | 6 | 0 | 191 | IRK |

Abbildung 14: Auszug aus dem zusammengestellten Fahrplan für die Simulation (Quelle: Moser)

Die Tabelle besteht aus der ZNR (Zugsnummer, welche aus dem Zugsbildungsplan stammt), den An und Abfahrtszeiten (aus dem kommerziellen Fahrplan), der Gleisnummer (aus dem kommerziellen Fahrplan), der Anzahl Ein und Aussteiger (aus Simba) und RM Typ (Rollmaterial Typ), welche im Zugsbildungsplan hinterlegt ist.

4.5 Datengrundlagen

Der zeitliche Raum bildet die morgendliche Hauptverkehrszeit von 06.45 bis 08.45 Uhr am HB Zürich ab. Die Daten, welche in dem Zeitraum die Simulation steuern, sind die Fahrplandaten (2013), der Gleisbelegungsplan HB Zürich (2013), Simba – Daten und Modelldaten der Reisenden (2011), KFMS – Daten der Frequenzen an den Ein- und Ausgängen des HB Zürich (2011) und den Zugsbildungsplan des HB Zürich (2013).

Es gibt verschiedene Systeme, um die Kundenströme am Bahnhof zu erfassen. Für diese Bachelorarbeit werden zwei Systeme benutzt, welche die Simulation beeinflussen. Erstens die FKMS – Daten, automatisierte Zählraten durch Videoerhebung an Schnittstellen Stadt/ Bahnhof: die Simba - Daten (Standardisierte integrierte Modellierung und Bewertung von Angebotskonzepten),

Die beiden Systeme sind nicht auf einander kalibriert und gelten als unabhängig. Eine Kombination der beiden Systeme kann nicht eins zu eins gemacht werden, da KFMS - Daten effektive Zählraten sind mit einer gewissen Ungenauigkeit bei der Erfassung und die Simba – Daten, welche modellierte Daten aus anderen Grundlagenquellen sind.

4.5.1 Bahnhofpläne

Die Pläne der bestehenden Bahnhofselemente zu den einzelnen Bahnhöfen Zürich HB und Museumstrasse inkl. Halle und RailCity kamen von der SBB Infrastruktur und SBB Immobilien. Die Bahnhofpläne aller neu gebauten Elemente für den Bahnhof Löwenstrasse, Gessnerallee, Halle Löwenstrasse und der Halle Sihlpost kamen von der Firma Dürig AG. Fehlende Elemente in den CAD Zeichnungen wurden durch den Autor aus den Bahnhofsplänen ausgelesen und im CAD nachgezeichnet.

Die CAD Pläne das HB Zürich bestehen aus drei Teilen. Der Grunddatensatz stammt von SBB Infrastruktur Projekte (I-PJ) und bildet die Bahnhofhalle, Hallengleise, Passage Sihlquai, Passage Löwenstrasse, Bahnhof Museumstrasse und Teile der RailCity ab. Der zweite Datensatz stammt von SBB Immobilien und bildet die RailCity ab, der dritte Datensatz stammt von der Firma Dürig AG und beinhaltet die neuen Elemente des HB Zürich. Zusammengefügt bilden diese Teilpläne den HB Zürich ab.

In den CAD - Zeichnungen fehlte noch die Halle Sihlpost und die Halle Löwenstrasse, welche in SimDraw, dem integrierten CAD – Programm von SimWalk Transport aus den mitgelieferten Bauplänen (in .pdf – Format) nachgezeichnet wurde.

Um im SimWalk eine brauchbares Layout zu erstellen, in dem sich Agenten (Personen) bewegen können, muss die Architektur auf ein Minimum reduziert werden. Das Endprodukt enthält nur noch die Flächen, die dimensionierungsrelevant sind resp. die Flächen, auf welchen sich Personen aufhalten/ bewegen können inkl. allen Hindernissen, welche sich auf den Flächen befinden sowie allen Auf- und Abgänge.

Dabei mussten:

- alle „unbenutzten“ Formen wie architektonische Details (bspw. Treppenstufen, Bahnhofsuhren, Gleisnummern, Wasser – und Stromleitungen etc.), welche sich nicht am Boden befinden (kein physisches Hindernis für die Fussgänger) entfernt werden. Beispiel: eine Säule mit T-Stützen ist mit einem Kreis oder Viereck am Boden als Hindernis zu zeichnen. Die Flächen sollten den nutzbaren Flächen entsprechen.
- alle Design- und Masslinien sowie Hilfstexte und Texte entfernt werden.
- alle Lücken zwischen den Linien geschlossen sein; bei Lücken laufen die Personen aus dem Perimeter. SimWalk ist empfindlich auf Linien, die nicht geschlossen sind und keinen Kontakt haben. Der Grund ist, dass die Potentialfelder - Fussgänger Führungswege- in geschlossenen Formen ablaufen.
- alle Türen, Tore, Drehkreuze und Orte, wo Personen durchgehen, offen sein. Es muss einen freien Fluss von Eingang bis Ausgang gewährleistet sein. Türen, Tore und Drehkreuze werden später in SimDraw eingefügt.
- alle Treppen, Aufzüge, Rolltreppen gelöscht werden und mit einem U-Shape umgeben werden. Die drei Wände modellieren die Grenzen und die Öffnung ist der Zugang zu dem Element. In SimDraw muss jede Treppe, Aufzug oder Rolltreppe später nachmodelliert werden.

- alle Gleise gelöscht werden. Die Gleise werden in SimDraw nachgezeichnet.
- Alle Fahrzeuge oder Hindernisse, wo später Fahrzeuge fahren werden, entfernt werden. Die Fahrzeuge werden später in SimDraw gezeichnet und mit den entsprechenden Parameter wie Anzahl Sitzplätze, Türbreite etc. modelliert.

Mit dem Programm QCAD wurden die vorhandenen CAD Datensätze der SBB AG und der Firma Dürig AG entsprechend vorbereitet. Viele Layer wie Leitungen, Diensträume etc. konnten ausgeblendet werden

Da der HB Zürich aus mehreren Ebenen besteht, ist es einfacher die einzelnen Ebenen in CAD einzeln abzuspeichern und dann als dxf.R12 Format in SimWalk Transport einzulesen. Der HB wurde deshalb in drei Ebenen eingeteilt und einzeln abgespeichert.

4.5.2 Zeitmatrixen

Um die Dauer der Ein-, Aus-, und Umsteigebeziehungen zu berechnen, wird mittels des Graphen Zürich die werden

Die Wegmatrix aus der PA ist die Grundlage, um die Zeitmatrix für die ausgewählten Knoten für die Perronmitte und die KFMS Messstellen aus dem Graphen und die abbilden, zu erstellen.

Graph mit KFMS Messstellen

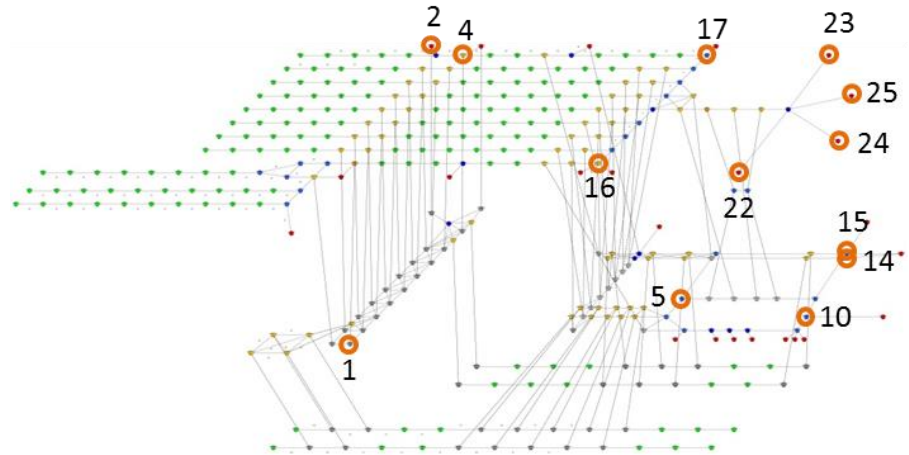


Abbildung 15: Graphenmodell des HB Zürich mit den KFMS - Messstellen (Quelle: Moser)

Auf dem Graphen des HB sind die KFMS – Messstellen den entsprechenden Knoten zugeordnet.

| KFMS Messstelle | | Knoten im Graph | |
|-----------------|----------------------------|-----------------|---------|
| 1 | Aufgang Sihlpost | 196 | 3A002H3 |
| 2 | Aufgang Radgasse | 188 | 1N001E2 |
| 4 | Aufgang Sihlquai | 178 | 1M007T4 |
| 5 | Passage Löwenstrasse Süd | 253 | 5F002V3 |
| 10 | Passage Bahnhofstrasse Süd | 243 | 5C008V3 |
| 14 | Aufgang Walche | 268 | 5J007V4 |
| 15 | Aufgang Landesmuseum | 276 | 5K008V4 |
| 16 | Querhalle Süd | 051 | 1E012T5 |
| 17 | Querhalle Nord | 187 | 1M016V3 |
| 22 | Durchgang Südtrakt | 039 | 1D016E1 |
| 23 | Durchgang Nordtrakt | 192 | 1N005E1 |
| 24 | Arkade Nord | 100 | 1H017E1 |
| 25 | Arkade Süd | 139 | 1J018E1 |

Tabelle 8: Die KFMS - Messstellen aus dem Graphen (Quelle: Moser)

Graph mit Perronbezugspunkte

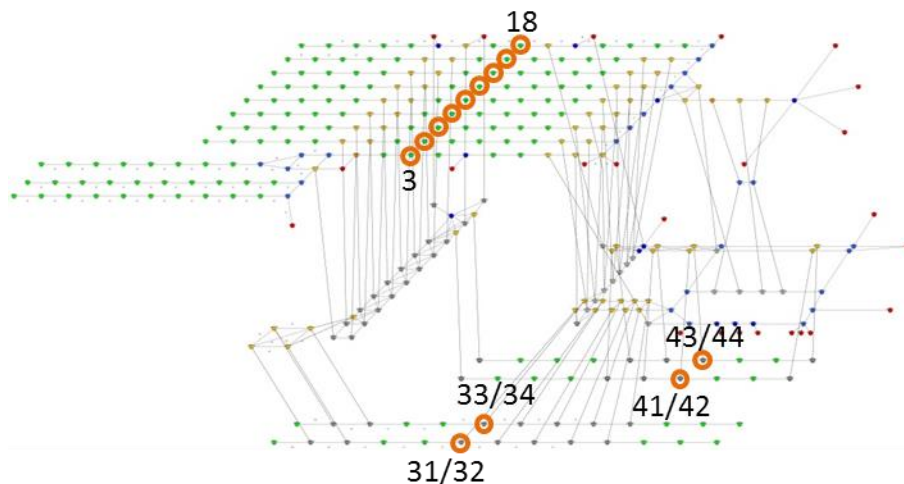


Abbildung 16: Graphenmodell des HB Zürich mit den Knoten für Perron (Quelle: Moser)

Für jeden Perron wurde ein gemittelter Punkt aus dem Graph genommen, um die Wegberechnung zu erstellen.

| Perron | Ort | Knoten Nr. | Knoten Name |
|--------|-----------------------|------------|-------------|
| 3 | Zürich HB (Halle) | 044 | 1E005D2 |
| 4/5 | Zürich HB (Halle) | 060 | 1F009D2 |
| 6/7 | Zürich HB (Halle) | 076 | 1G009D2 |
| 8/9 | Zürich HB (Halle) | 092 | 1H009D2 |
| 10/11 | Zürich HB (Halle) | 109 | 1I009D2 |
| 12/13 | Zürich HB (Halle) | 130 | 1J009D2 |
| 14/15 | Zürich HB (Halle) | 148 | 1K009D2 |
| 16/17 | Zürich HB (Halle) | 164 | 1L009D2 |
| 18 | Zürich HB (Halle) | 180 | 1M009D2 |
| 41/42 | Bahnhof Museumstrasse | 286 | 6A007H3 |
| 43/44 | Bahnhof Museumstrasse | 296 | 6B007H3 |
| 31/32 | Bahnhof Löwenstrasse | 305 | 7A006H3 |
| 33/34 | Bahnhof Löwenstrasse | 318 | 7B006H3 |

Tabelle 9: Perronknoten aus dem Graphen (Quelle: Moser)

| | | Zugänge nach KFMS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Perrons | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|-------------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | 196 (1) | 188 (2) | 178 (4) | 253 (5) | 243 (10) | 268 (14) | 276 (15) | 51 (16) | 187 (17) | 39 (22) | 192 (23) | 100 (24) | 139 (25) | 44 (3) | 60 (4/5) | 76 (6/7) | 92 (8/9) | 109 (10/11) | 130 (12/13) | 148 (14/15) | 164 (16/17) | 180 (18) | 286 (41/42) | 296 (43/44) | 305 (31/32) | 318 (33/34) | | | | | | | | | | | | |
| Zugänge nach KFMS | 196 (1) | 0 | 177 | 161 | 327 | 346 | 410 | 425 | 239 | 362 | 462 | 462 | 467 | 467 | 73 | 85 | 102 | 119 | 136 | 153 | 170 | 187 | 206 | 324 | 340 | 230 | 230 | | | | | | | | | | | | |
| | 188 (2) | 177 | 0 | 66 | 352 | 426 | 352 | 352 | 370 | 273 | 452 | 452 | 457 | 457 | 250 | 222 | 205 | 188 | 171 | 154 | 137 | 120 | 111 | 237 | 237 | 362 | 362 | | | | | | | | | | | | |
| | 178 (4) | 161 | 66 | 0 | 290 | 360 | 302 | 302 | 304 | 207 | 386 | 386 | 391 | 391 | 234 | 206 | 189 | 172 | 155 | 138 | 121 | 104 | 45 | 213 | 209 | 357 | 340 | | | | | | | | | | | | |
| | 253 (5) | 327 | 352 | 290 | 0 | 110 | 128 | 143 | 157 | 128 | 135 | 135 | 140 | 140 | 254 | 315 | 298 | 281 | 264 | 247 | 264 | 281 | 245 | 115 | 115 | 205 | 193 | | | | | | | | | | | | |
| | 243 (10) | 346 | 426 | 360 | 110 | 0 | 98 | 113 | 207 | 187 | 147 | 147 | 152 | 152 | 273 | 359 | 357 | 340 | 323 | 306 | 323 | 340 | 315 | 213 | 217 | 239 | 252 | | | | | | | | | | | | |
| | 268 (14) | 410 | 352 | 302 | 128 | 98 | 0 | 15 | 171 | 159 | 169 | 169 | 174 | 174 | 337 | 329 | 312 | 295 | 278 | 278 | 295 | 312 | 257 | 115 | 127 | 224 | 207 | | | | | | | | | | | | |
| | 276 (15) | 425 | 352 | 302 | 143 | 113 | 15 | 0 | 186 | 174 | 184 | 184 | 189 | 189 | 352 | 344 | 327 | 310 | 293 | 293 | 310 | 327 | 257 | 127 | 115 | 239 | 222 | | | | | | | | | | | | |
| | 51 (16) | 239 | 370 | 304 | 157 | 207 | 171 | 186 | 0 | 131 | 242 | 242 | 247 | 247 | 166 | 182 | 199 | 216 | 233 | 250 | 267 | 284 | 259 | 158 | 158 | 92 | 95 | | | | | | | | | | | | |
| | 187 (17) | 362 | 273 | 207 | 128 | 187 | 159 | 174 | 131 | 0 | 213 | 213 | 218 | 218 | 297 | 289 | 272 | 255 | 238 | 221 | 204 | 187 | 162 | 146 | 146 | 184 | 167 | | | | | | | | | | | | |
| | 39 (22) | 462 | 452 | 386 | 135 | 147 | 169 | 184 | 242 | 213 | 0 | 140 | 145 | 145 | 389 | 400 | 383 | 366 | 349 | 332 | 349 | 366 | 341 | 243 | 243 | 295 | 278 | | | | | | | | | | | | |
| 192 (23) | 462 | 452 | 386 | 135 | 147 | 169 | 184 | 242 | 213 | 140 | 0 | 145 | 145 | 389 | 400 | 383 | 366 | 349 | 332 | 349 | 366 | 341 | 243 | 243 | 295 | 278 | | | | | | | | | | | | | |
| 100 (24) | 467 | 457 | 391 | 140 | 152 | 174 | 189 | 247 | 218 | 145 | 145 | 0 | 150 | 394 | 405 | 389 | 371 | 354 | 337 | 354 | 371 | 346 | 248 | 248 | 300 | 283 | | | | | | | | | | | | | |
| 139 (25) | 467 | 457 | 391 | 140 | 152 | 174 | 189 | 247 | 218 | 145 | 145 | 150 | 0 | 394 | 405 | 389 | 371 | 354 | 337 | 354 | 371 | 346 | 248 | 248 | 300 | 283 | | | | | | | | | | | | | |
| Perrons | 44 (3) | 73 | 250 | 234 | 254 | 273 | 337 | 352 | 166 | 297 | 389 | 389 | 394 | 394 | 0 | 158 | 175 | 192 | 209 | 226 | 243 | 260 | 279 | 324 | 324 | 198 | 215 | | | | | | | | | | | | |
| | 60 (4/5) | 85 | 222 | 206 | 315 | 359 | 329 | 344 | 182 | 289 | 400 | 400 | 405 | 405 | 158 | 0 | 147 | 164 | 181 | 198 | 215 | 232 | 251 | 316 | 316 | 203 | 188 | | | | | | | | | | | | |
| | 76 (6/7) | 102 | 205 | 189 | 298 | 357 | 312 | 327 | 199 | 272 | 383 | 383 | 388 | 388 | 175 | 147 | 0 | 147 | 164 | 181 | 198 | 215 | 234 | 299 | 299 | 195 | 178 | | | | | | | | | | | | |
| | 92 (8/9) | 119 | 188 | 172 | 281 | 340 | 295 | 310 | 216 | 255 | 366 | 366 | 371 | 371 | 192 | 164 | 147 | 0 | 147 | 164 | 181 | 198 | 217 | 282 | 282 | 204 | 187 | | | | | | | | | | | | |
| | 109 (10/11) | 136 | 171 | 155 | 264 | 323 | 278 | 293 | 233 | 238 | 349 | 349 | 349 | 349 | 354 | 354 | 209 | 181 | 164 | 147 | 0 | 147 | 164 | 181 | 200 | 265 | 221 | 204 | | | | | | | | | | | |
| | 130 (12/13) | 153 | 154 | 138 | 247 | 306 | 278 | 293 | 250 | 221 | 332 | 332 | 337 | 337 | 226 | 198 | 181 | 164 | 147 | 0 | 147 | 164 | 183 | 265 | 265 | 303 | 286 | | | | | | | | | | | | |
| | 148 (14/15) | 170 | 137 | 121 | 264 | 323 | 295 | 310 | 267 | 204 | 349 | 349 | 349 | 349 | 354 | 354 | 243 | 215 | 198 | 183 | 164 | 147 | 0 | 147 | 166 | 265 | 320 | 303 | | | | | | | | | | | |
| | 164 (16/17) | 187 | 120 | 104 | 281 | 340 | 312 | 327 | 284 | 187 | 366 | 366 | 371 | 371 | 260 | 232 | 215 | 198 | 181 | 164 | 147 | 0 | 149 | 248 | 249 | 337 | 320 | | | | | | | | | | | | |
| | 180 (18) | 206 | 111 | 45 | 245 | 315 | 257 | 257 | 259 | 162 | 341 | 341 | 346 | 346 | 279 | 251 | 234 | 217 | 200 | 183 | 166 | 149 | 0 | 168 | 168 | 312 | 295 | | | | | | | | | | | | |
| | 286 (41/42) | 324 | 237 | 213 | 115 | 213 | 115 | 127 | 158 | 146 | 243 | 243 | 248 | 248 | 324 | 316 | 299 | 282 | 265 | 265 | 265 | 248 | 168 | 0 | 70 | 211 | 194 | | | | | | | | | | | | |
| 296 (43/44) | 340 | 237 | 209 | 115 | 217 | 127 | 115 | 158 | 146 | 243 | 243 | 248 | 248 | 324 | 316 | 299 | 282 | 265 | 265 | 266 | 249 | 168 | 70 | 0 | 211 | 194 | | | | | | | | | | | | | |
| 305 (31/32) | 230 | 362 | 357 | 205 | 239 | 224 | 239 | 85 | 184 | 295 | 295 | 300 | 300 | 198 | 178 | 195 | 204 | 221 | 303 | 320 | 337 | 312 | 211 | 211 | 0 | 63 | | | | | | | | | | | | | |
| 318 (33/34) | 230 | 362 | 340 | 193 | 252 | 207 | 222 | 95 | 167 | 278 | 278 | 283 | 283 | 215 | 188 | 178 | 187 | 204 | 286 | 303 | 320 | 295 | 194 | 194 | 63 | 0 | | | | | | | | | | | | | |

Tabelle 10: Matrix der Wegdistanzen KFMS- und Perronpunkte (Quelle: Moser)

| | |
|----------------------------------|--|
| Vertraulichkeitsklassifizierung | <p>4.5.3 Simba - Daten</p> <p>Simba - Daten (als vertraulich klassifiziert) sind Modelldaten, die von der SBB Personenverkehr Unternehmensentwicklung erstellt wurden, um Züge mit Anzahl Reisenden zu gewichten. Die Modelldaten zeigen auf, wann und wo die Kunden mit der SBB unterwegs sind; heute, aber auch wie es in 20 bis 30 Jahren aussehen könnte. Die Modelldaten Simba basieren auf den HOP - Zahlen (Hochrechnung Personenverkehr) und existieren für jeden Bahnhof und jeden Zug. Für diese Arbeit wurde von der SBB Personenverkehr ein Datensatz für den Bahnhof Zürich von 06.45 – 08.45 Uhr eines durchschnittlichen Werktags (Stand: Fahrplan 2011) abgegeben. Der Datensatz besteht aus 32 Zeilen und 3'381 Spalten.</p> |
| HOP - Zahlen | <p>Die HOP - Zahlen sind die Erfassung der Fahrkartennutzung, welche durch die Zugbegleiter erhoben werden. Die erhobene Fahrausweisstruktur und die gezählten Fahrgäste werden hochgerechnet zu Erlösen je Zug und Linie. Daraus können differenzierte Erkenntnisse über die Verkehrsströme und die Erlösstruktur der beteiligten Bahnen gewonnen werden. Dies dient wiederum als Basis für Erlöstransfers resp. der Anteilszuscheidung (Abgeltungen aus dem Ticketverkauf der SBB an andere TU's) in Verbunden sowie Offerten im Regionalverkehr.</p> |
| Runden der Simba - Daten | <p>Simba - Daten haben Reisendenzahlen mit Kommawerten, weil sie einen DWV abbilden welcher über die Woche gemittelt wurde, so entstehen Dezimalwerte. Die hinterlegten PAX – Zahlen in Simba wurden ganzzahlig, kaufmännisch auf- oder abgerundet.</p> |
| Filtern der Simba - Daten | <p>Der Datensatz musste dreimal gefiltert werden, um die Inputdaten zu erhalten. Für die Einsteiger muss als Quelle der Bahnhofszugang und als Ziel die Zugnummern (abgehende Zugnummer) genommen werden. Für die Aussteiger müssen die Zugnummern (ankommende Zugnummern) als Quelle genommen und als Ziel die Bahnhofszugänge selektiert werden. Für die Umsteiger müssen als Basis die Quellzugnummer und als Ziel die Zielzugnummer ausgewählt werden.</p> |
| Vorbereiten für Abgleich in KFMS | <p>Um einen ersten Abgleich mit den KFMS – Daten zu machen, wurden die Züge, die ankommen in die gleichen 5 – Minutentranchen gelegt und mit der Anzahl Aussteigern gewichtet. Für die Einsteiger das gleiche Vorgehen, jedoch wurden die abgehenden Zugnummern verwendet, gewichtet mit den Anzahl Einsteigern.</p> |

4.5.4 KFMS – Daten

KFMS (Kunden-Frequenz-Mess-System) Daten werden an allen grösseren SBB Bahnhöfen erhoben und sind als vertraulich klassifiziert. Die Daten werden über Video erhoben und zählen sekundengenau und richtungsbezogen, wie viele Personen eine bestimmte Linie passieren. Diese Daten werden zu Minutenpaketen zusammengefasst und in ein Excel Sheet übertragen.

KFMS – Messstellen am HB

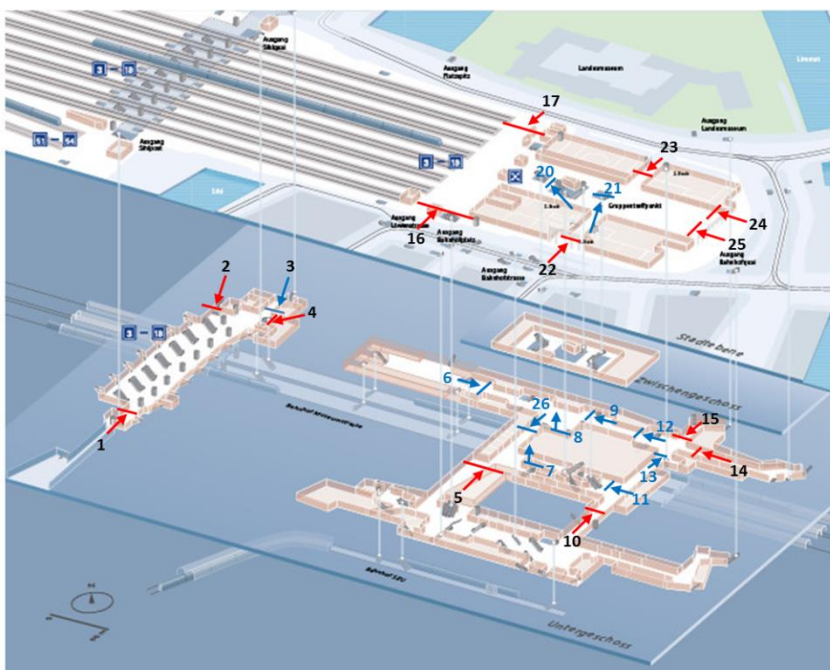


Abbildung 17: KFMS - Messstellen am HB Zürich (rote Pfeile; für diese Arbeit relevant) (Quelle: Moser)

Der Bahnhof Zürich hat 26 solche Messstellen, wobei für diese Arbeit nur 13 Messstellen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** rot hinterlegt) relevant sind. Diese 13 Messstellen bilden auch in SimWalk die Quell- und Zielverbindungen an der Systemgrenze.

| | | | |
|----|----------------------------|----|---------------------------|
| 1 | Aufgang Sihlpost | 13 | Passage Bahnhofstr. Nord |
| 2 | Aufgang Radgasse | 14 | Aufgang Walche |
| 3 | Abgang Halle Sihlquai | 15 | Aufgang Landesmuseum |
| 4 | Aufgang Sihlquai | 16 | Querhalle Süd |
| 5 | Passage Löwenstrasse Süd | 17 | Querhalle Nord |
| 6 | Halle Landesmuseum West | 20 | Aufgang Haupthalle West |
| 7 | Aufgang Gepäckgeschoss | 21 | Aufgang Haupthalle Ost |
| 8 | Aufgang Querhalle | 22 | Durchgang Südtrakt |
| 9 | Halle Landesmuseum Mitte | 23 | Durchgang Nordtrakt |
| 10 | Passage Bahnhofstrasse Süd | 24 | Arkade Nord |
| 11 | Plaza Ost | 25 | Arkade Süd |
| 12 | Halle Landesmuseum Ost | 26 | Passage Löwenstrasse Nord |

Tabelle 12: Auflistung der KFMS - Messstellen am HB Zürich

Für diese Arbeit werden nur die rot hinterlegten Stellen benötigt und als «alle» Messstationen gezählt. Die blau hinterlegten Messstellen sind im System Bahnhof

enthalten und werden für die Arbeit nicht benötigt, denn innerhalb des Systems werden die Simba - Daten benutzt.

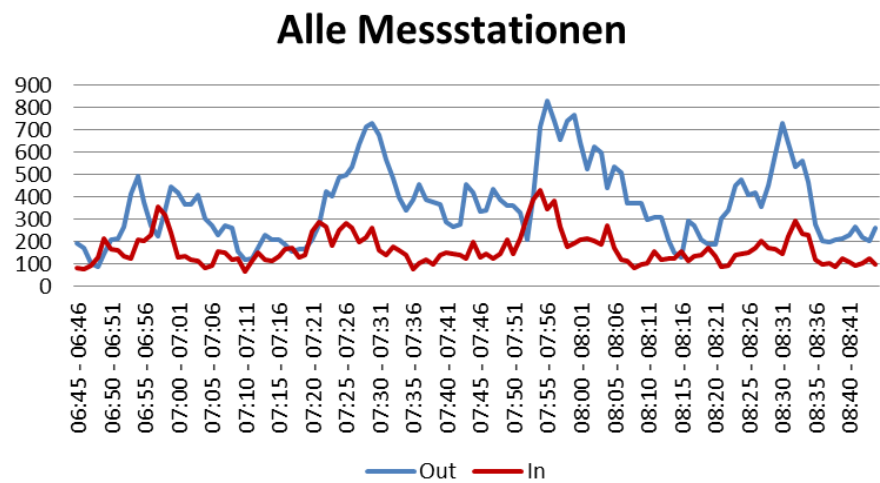


Abbildung 18: Ganglinien für die Ein und Ausgehenden an den 13 relevanten Messstationen (Quelle: Moser)

Die 13 Messpunkte

Die Abbildung 18 zeigt über alle Messstellen die ein- (rot) und ausgehenden (blau) Frequenzen. Daraus erkennt man, dass die Fernverkehrszüge einen grösseren Einfluss auf die Systemgrenzen des HB Zürich haben als die S-Bahnen. Die Peaks befinden sich jeweils zur vollen oder halben Stunde und entsprechen der Charakteristik des Vollknoten Zürich mit Halbstunden Takt im Fernverkehr.

Vereinfachung der KFMS

Es liegen zu den 13 Messpunkten je zwei Messungen (In und Out) à 120 Minuten vor. Um eine bessere Übersicht zu erhalten, wurden die Daten zu 5-Minuten-Blöcke je Messpunkte (In und Out separat) zusammengefasst. Diese 5 - Minuten - Blöcke bilden dann auch die Verteilrate der Ein - und Ausgehenden in der Simulation, da die Belastung nach Minuten ein zu grosser Aufwand wäre, um den Personenfluss daran auszurichten.

Übersicht Relativ – Verteilung
Eingehende

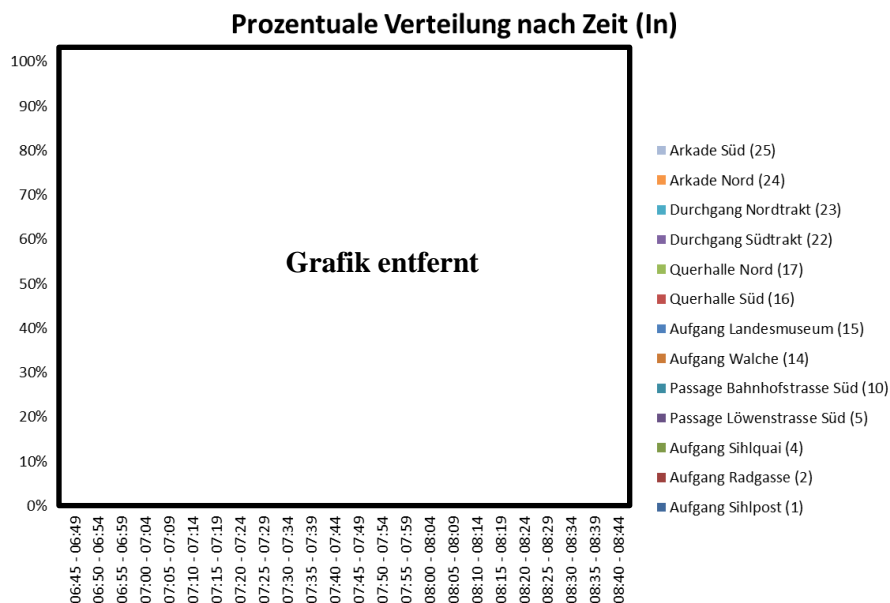


Abbildung 19: Prozentuale Verteilung der Eingehenden auf den Zugängen (Quelle: Moser)

Um eine erste Übersicht zu bekommen, wurden die absoluten Zahlen in Prozent umgerechnet. Es zeigt deutlich, dass bei den Personen, die in das System Bahnhof kommen, die verschiedenen Zugänge starken Schwankungen unterliegen. Die Hauptlast liegt überraschenderweise auf dem Ausgang Sihlpost (1) und der Querhalle Süd (16). Eine ebenfalls fast gleich konstante Auslastung hat die Passage Bahnhofstrasse Süd (10). Ein interessantes Verhalten zeigt die Querhalle Nord (17), bei den in das System Eintretenden. Die Querhalle Nord unterliegt den stärksten Schwankungen, welchem einem Muster gleichen.

Übersicht Absolut – Verteilung Eingehende

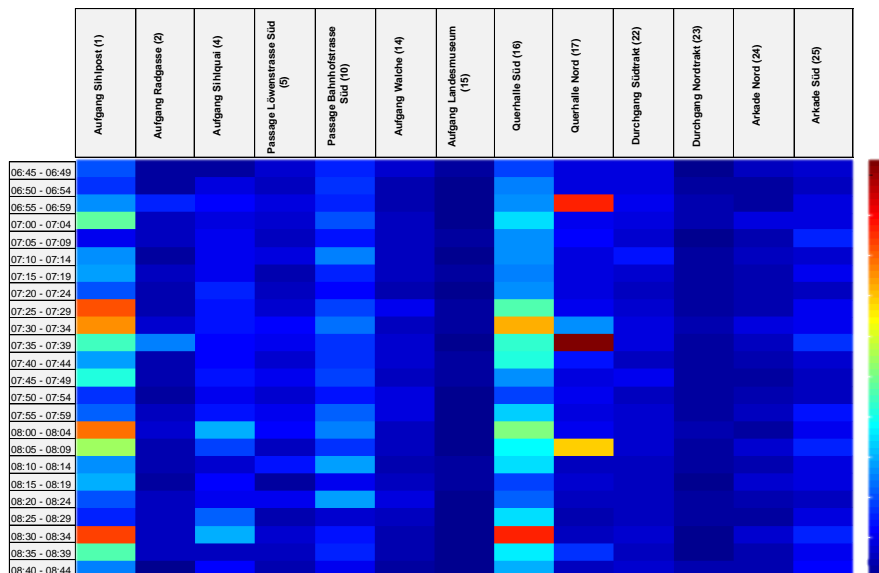


Abbildung 20: Farbmatrix mit absoluten Zahlen der Eingehenden auf die Zugänge (Quelle: Moser)

Die Farbmatrix der absoluten Zahlen zeigt auch hier, dass die Hauptlast auf dem Ausgang Sihlpost (1) und der Querhalle Süd (16) liegt sowie die starken Schwankungen auf der Querhalle Nord (17).

Übersicht Relativ – Verteilung Ausgehende

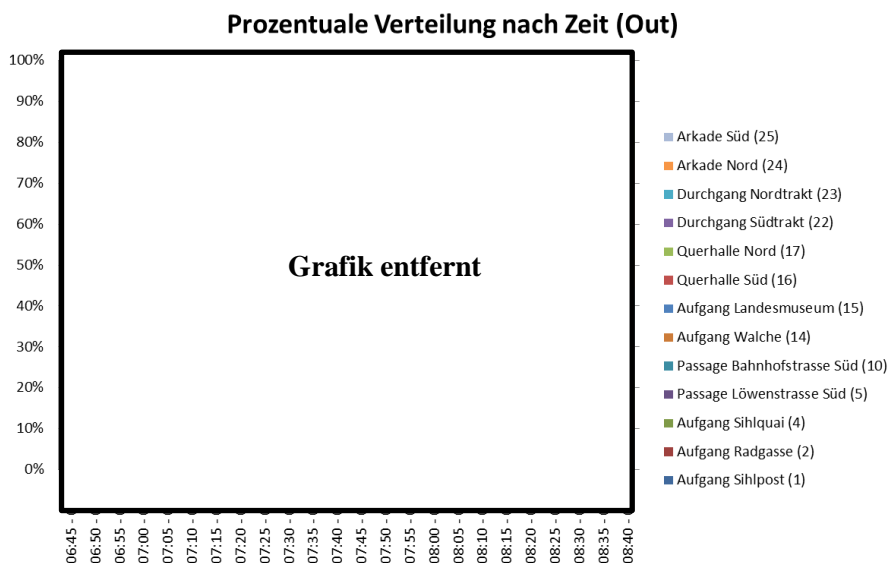


Abbildung 21: Prozentuale Verteilung der ausgehenden auf den Zugängen (Quelle: Moser)

Die Übersicht der prozentualen Auslastung der Personen, die eine Systemgrenze Bahnhof zu Stadt passieren, zeigt eine bessere Verteilung als die Eingehenden. Vor allem die Passage Sihlquai wird weniger benutzt. Einen möglichen Effekt stellen die 50er Gleise dar. Wer mit den Zubringerzügen auf den 50er Gleisen ankommt und Umsteiger ist (weiterreisen will), passiert mit einer hohen Wahrscheinlichkeit die Zählstelle (1), welche diese Reisenden durch die Passage Sihlquai in die Halle zu den Fernverkehrs- oder den Regionalverkehrszügen im Bahnhof Museumstrasse leitet. Da nur die Morgenspitze abgedeckt wird, kann der Effekt gerade umgekehrt sein. Die Querhalle Süd (16) zeigt auch hier eine starke Last. Es gibt weniger starke Schwankungen Die Schnittstellen zur Stadt sind über die Zeit gleichmässiger belastet als die Schnittstelle, die Personen misst, die von der Stadt in den Bahnhof kommen.

Übersicht Absolut – Verteilung Ausgehende

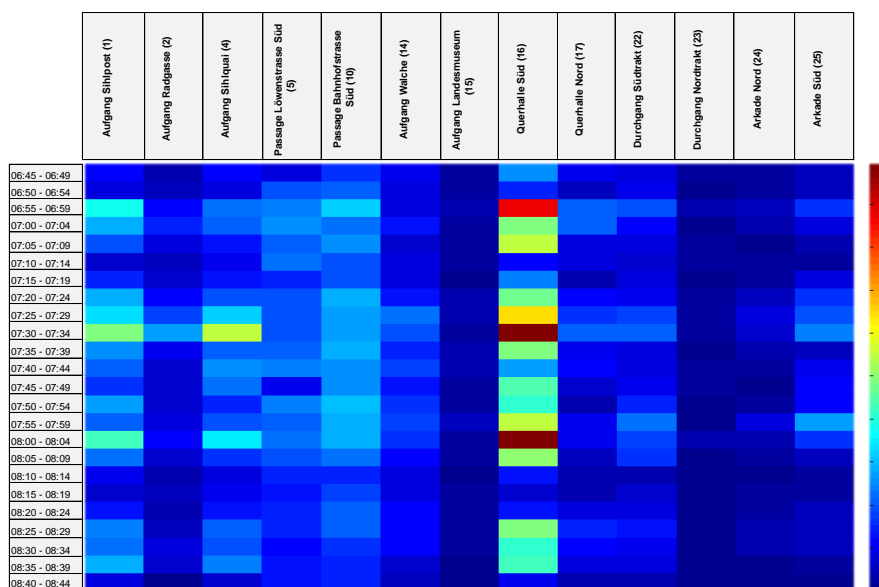


Abbildung 22: Farbmatrix mit absoluten Zahlen der Ausgehenden auf die Zugänge (Quelle: Moser)

Die Farbmatrix der Personen, welche eine Schnittstelle zur Stadt passieren zeigt, dass die Querhalle Süd (16) stark belastet ist und gesamthaft eine bessere Verteilung aufweist als die Personen, die in das System kommen.

Übersicht Absolut – Verteilung
Perron - Beziehungen

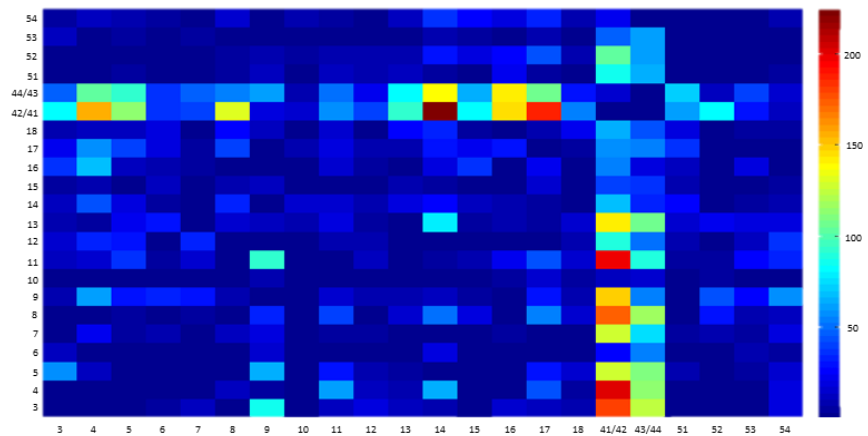


Abbildung 23: Farbmatrix mit absoluten Zahlen der Umsteiger mit Simba - Daten (Quelle: Moser)

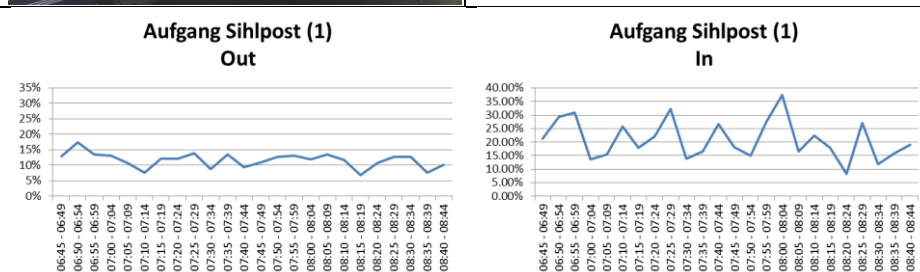
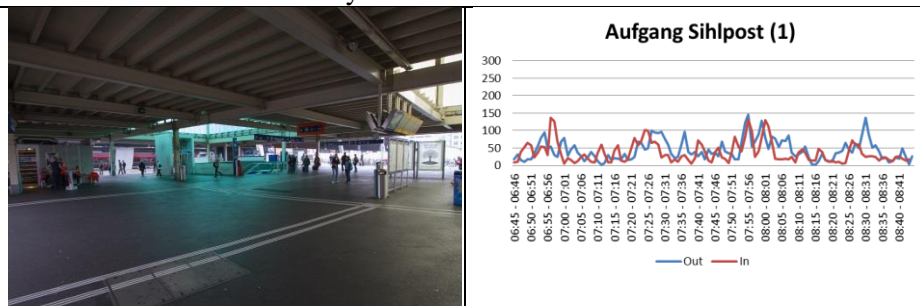
In der Projektarbeit von Daniel Bürgi und Martin Moser «Optimierung der Personenflüsse am Bahnhof Zürich» wurde die Umsteigebeziehung (06.45 – 08.45 Uhr) auf Basis der Simba - Daten zwischen den Perrons berechnet. Es zeigt sich, dass starke Umsteigebeziehungen vor allem zwischen dem Bahnhof Museumstrasse und der Halle bestehen. Ebenfalls weisen die 50er Gleise, welche mit der Eröffnung der DML und des Bahnhof Löwenstrasse zurückgebaut werden, eine sehr schwache Interaktion auf.

Nachfolgend wird als Beispiel die Auswertung der Messstation 1 (Aufgang Sihlpost) gezeigt, alle anderen Messstationen befinden sich im Anhang.

4.5.4.1 Aufgang Sihlpost (1)

Seite Sihlpost/ Europaallee, Südseite des Zürcher Hauptbahnhofs. Eingang zur Unterführung Passage Sihlquai und Schnittstelle zwischen Bahnhof und Stadt. Die Hauptströme kommen dabei aus Richtung (Kasernenstrasse, Europaallee) und der Passage Sihlquai. In der Nähe befindet sich die Haltestelle Sihlpost, welche von den Tramnummern 3 und 14 sowie den Bussen 31, 33, 34 und N2 bedient wird.

Über alle Messstation (während den 120 Minuten gemittelt) gehen an dieser Schnittstelle 10% aus dem System und 17% rein.



| Aufgang Sihlpost (1) | | | | |
|----------------------|-----|---------|-----|--------|
| | out | out (%) | in | in (%) |
| 06:45 - 06:49 | 92 | 13% | 127 | 21.34% |
| 06:50 - 06:54 | 280 | 18% | 235 | 29.30% |
| 06:55 - 06:59 | 223 | 13% | 415 | 30.81% |
| 07:00 - 07:04 | 246 | 13% | 80 | 13.70% |
| 07:05 - 07:09 | 128 | 11% | 100 | 15.38% |
| 07:10 - 07:14 | 65 | 8% | 147 | 25.74% |
| 07:15 - 07:19 | 107 | 12% | 134 | 17.96% |
| 07:20 - 07:24 | 220 | 12% | 274 | 22.24% |
| 07:25 - 07:29 | 432 | 14% | 395 | 32.17% |
| 07:30 - 07:34 | 216 | 9% | 108 | 13.79% |
| 07:35 - 07:39 | 266 | 13% | 89 | 16.45% |
| 07:40 - 07:44 | 162 | 9% | 205 | 26.66% |
| 07:45 - 07:49 | 205 | 11% | 138 | 18.09% |
| 07:50 - 07:54 | 257 | 13% | 223 | 14.94% |
| 07:55 - 07:59 | 487 | 13% | 377 | 27.56% |
| 08:00 - 08:04 | 338 | 12% | 408 | 37.40% |
| 08:05 - 08:09 | 290 | 13% | 98 | 16.50% |
| 08:10 - 08:14 | 150 | 12% | 141 | 22.35% |
| 08:15 - 08:19 | 76 | 7% | 130 | 18.01% |
| 08:20 - 08:24 | 189 | 11% | 50 | 8.29% |
| 08:25 - 08:29 | 283 | 13% | 237 | 27.18% |
| 08:30 - 08:34 | 374 | 13% | 134 | 11.89% |
| 08:35 - 08:39 | 85 | 8% | 86 | 15.96% |
| 08:40 - 08:44 | 120 | 10% | 102 | 18.99% |

Abbildung 24: KFMS – Messpunkt Aufgang Sihlpost (1) (Quelle: Moser)

4.5.5 Umgebung Bahnhof Zürich (Verifikation der KFMS-Werte)

Um die KFMS Daten und somit die Schnittstellenbelastung zu verifizieren, werden die Frequenzen bei den Schnittstellen zwischen Bahnhof und Stadt innerhalb eines Radius von 750 Meter um den Bahnhof betrachtet. Distanzen bis 750 m werden i.d.R. zu Fuss zurückgelegt (Bareiss). In dem Radius von 750 Meter um den Bahnhof wohnen 10'524 (Stand 2010) und arbeiten 59'300 (Stand 2008) Personen (GIS).

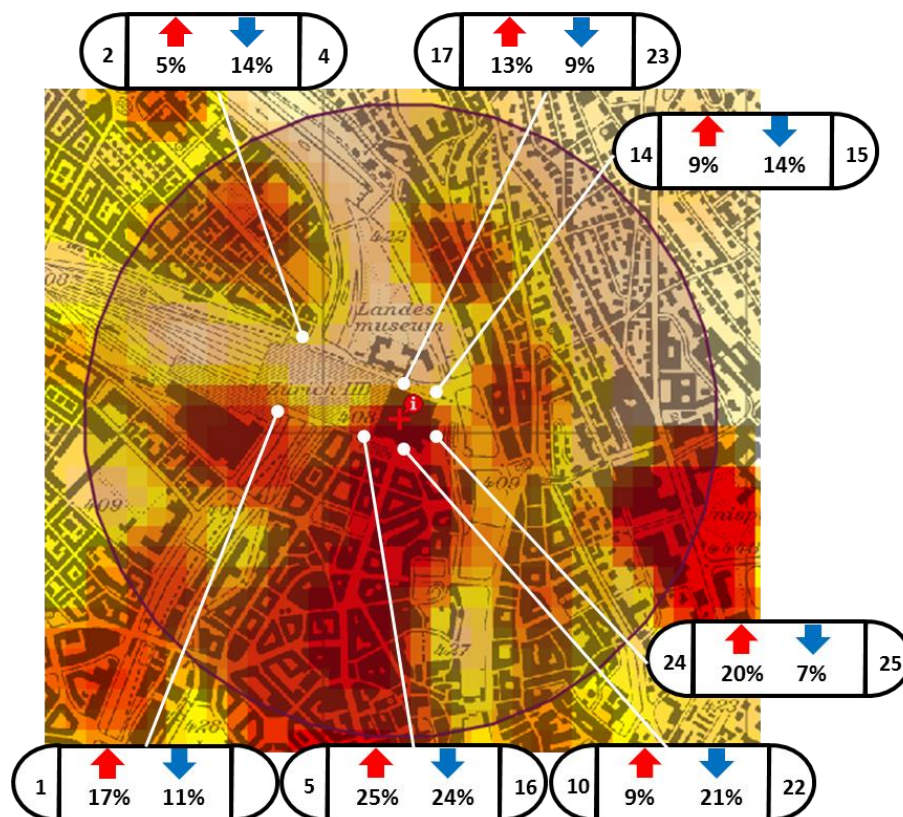


Abbildung 25: Umgebung HB (Radius 750m) mit relativer Belastung der Zugänge von 06:45 - 08:45 Uhr (Quelle: Moser)

Die Abbildung 25 zeigt die Situation der Arbeitsplätze nach Farbintensität. Je dunkler die Farbe im Gebiet, desto höher ist die Dichte an Arbeitsplätzen. Die roten Pfeile sind die Eingehenden und die blauen Pfeile die Ausgehenden nach KFMS prozentual verteilt über die entsprechenden Messpunkte im Zeitraum von 06.45 – 08.45 Uhr. Die öV - Dichte im Radius von 750 Meter ist mit 21 Haltestellen sehr hoch. Von den 21 öV - Stationen im Perimeter werden 17 durch Tram, 15 durch Bus, zwei durch Schiffe und zwei durch die Polybahn bedient.

Es zeigt sich ein plausibles Bild über die Verteilung der Ein- und Ausgänge bei den Schnittstellen zwischen Stadt und Bahnhof bezüglich der Umgebung im Radius von 750 Meter im Einzugsgebiet. Die Verteilung der Ein- und Ausgehenden über die verschiedenen Zugänge entspricht den Vorstellungen und weist keine spezielle Auffälligkeit aus. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Zugangsbelastung des HB einer realistischen Morgen – HVZ eines DWV entspricht

Angleichen der Simba – Daten
an KFMS

4.5.6 Kombination der KFMS - und Simba - Daten.

Die Einsteiger und Aussteiger der Simba - Daten wurden zu den gleichen 5 Minutenpaketen zusammengefasst wie die KFMS Daten. Das bedeutet, dass für die Einsteiger die hinterlegte Anzahl Pax, der Züge - die innerhalb der 5 - Minuten – Blöcke die Abfahrtszeit haben, zusammengezählt werden. Für die Aussteiger werden die hinterlegte Anzahl Pax, der Züge - die innerhalb der entsprechenden 5 - Minuten – Blöcke die Ankunftszeit haben, zusammen gezählt.

Vergleicht man nun die Datensätze Simba und KFMS bei den ein- und ausgehenden Personen für die Zeitspanne von 06.45 – 08.45, gibt es ein Delta bei den Totalen (vgl. Abbildung 26).

| Zeit | SIMBA | KFMS | SIMBA | KFMS |
|---------------|------------|------------|------------|------------|
| | Einsteiger | Eingehende | Aussteiger | Ausgehende |
| 06:45 - 06:49 | 264.0 | 595.0 | 1161.7 | 713.0 |
| 06:50 - 06:54 | 222.1 | 802.0 | 1610.6 | 1598.0 |
| 06:55 - 06:59 | 320.2 | 1347.0 | 1280.4 | 1659.0 |
| 07:00 - 07:04 | 1643.0 | 584.0 | 782.6 | 1871.0 |
| 07:05 - 07:09 | 911.4 | 650.0 | 1063.8 | 1191.0 |
| 07:10 - 07:14 | 551.0 | 571.0 | 722.0 | 862.0 |
| 07:15 - 07:19 | 371.5 | 746.0 | 1095.1 | 885.0 |
| 07:20 - 07:24 | 200.1 | 1232.0 | 3387.3 | 1805.0 |
| 07:25 - 07:29 | 465.7 | 1228.0 | 1847.1 | 3118.0 |
| 07:30 - 07:34 | 1496.7 | 783.0 | 1147.8 | 2470.0 |
| 07:35 - 07:39 | 1322.8 | 541.0 | 1672.1 | 1981.0 |
| 07:40 - 07:44 | 464.2 | 769.0 | 977.9 | 1716.0 |
| 07:45 - 07:49 | 485.6 | 763.0 | 2477.4 | 1865.0 |
| 07:50 - 07:54 | 269.2 | 1493.0 | 3100.7 | 2022.0 |
| 07:55 - 07:59 | 369.6 | 1368.0 | 2384.8 | 3739.0 |
| 08:00 - 08:04 | 1662.5 | 1091.0 | 1209.5 | 2841.0 |
| 08:05 - 08:09 | 978.5 | 594.0 | 1142.7 | 2160.0 |
| 08:10 - 08:14 | 627.4 | 631.0 | 805.8 | 1277.0 |
| 08:15 - 08:19 | 228.1 | 722.0 | 1201.0 | 1102.0 |
| 08:20 - 08:24 | 168.6 | 603.0 | 3091.1 | 1759.0 |
| 08:25 - 08:29 | 205.9 | 872.0 | 1884.6 | 2230.0 |
| 08:30 - 08:34 | 1094.6 | 1127.0 | 903.5 | 2938.0 |
| 08:35 - 08:39 | 1016.6 | 539.0 | 702.3 | 1107.0 |
| 08:40 - 08:44 | 350.0 | 537.0 | 704.7 | 1184.0 |
| Total | 15689.4 | 20188 | 36356.6 | 44093.0 |
| Delta | | 4498.6 | | 7736.4 |

Abbildung 26: Vergleich der 5 - Minuten - Blöcke Simba vs. KFMS (Quelle: Moser)

Delta bei Eingehenden

Bei den Eingehenden besteht ein Delta von ca. 4'500 Personen, welche mehr an den KFMS Schnittstellen gezählt werden, als Reisende die nach Simba - Daten unterwegs sind. Das kann erklärt werden durch Personen, welche als Passanten, Begleiter und Bahnhofnutzern unterwegs sind. Dies entspricht ca. 22.3% aller eingehenden Personen.

Die beiden Datensätze (KFMS und Simba) können nicht einfach über die 5 Minutenzeitstempel verglichen werden resp. Deltas gebildet werden. Für die Einsteiger aus den Simba – Daten wurde für das Bilden der 5 Minutenpakete jeweils die Abfahrtszeit genommen. Reisende, welche in einen Zug einsteigen, können beispielsweise vorher noch einkaufen gehen oder eine andere Dienstleistung am Bahnhof

beziehen. Zudem treffen die ersten Reisenden im Fernverkehr ca. schon 20 Minuten und im Regionalverkehr ca. 10 Min vor der Abfahrt auf dem Perron ein. Oft sind es Leute, die einen Anschlusszug nehmen und deshalb zu früh auf dem Perron sind oder sie kommen mit einem andern TU des ÖPNV, welches grössere Taktfolgezeiten hat.

Delta bei Ausgehenden

Vergleicht man die Aussteiger/ Ausgehende aus den SIMBA und den KFMS – Daten gibt es ein Delta von ca. 7700 Personen. Zieht man von den 7'700 mehr Ausgehenden die 4'500 mehr Eingehenden ab, gibt es immer noch 3'200 Personen zu viel, welche das System Bahnhof in Richtung Stadt verlassen.

Einfluss SZU

Ein möglicher Einfluss ist der Bahnhof SZU, welcher in den Simba Daten vorhanden wäre, jedoch für diese Arbeit nicht genutzt wird. Der Bahnhof SZU ist im Bahnhof Zürich HB mit den Gleisen 1 und 2 integriert. Die Personen, welche über den Bahnhof SZU kommen, werden somit an den Messstellen der KFMS „vorbeigeschmuggelt“ und somit bei Eintritt in das System Bahnhof nicht erfasst. Dadurch befinden sich mehr Personen im Bahnhof, als an den Schnittstellen von KFMS bei den Eingehenden gezählt werden. Diese Personen können innerhalb des Bahnhof umsteigen oder aber den Bahnhof verlassen, wobei diese beim Verlassen des System Bahnhof durch die KFMS erfasst werden.

Die SZU betreibt die S4 (Sihltal) und die S10 (Uetliberg). Aufgrund der unterschiedlichen Stromsysteme sind die beiden Bahnlinien der SZU betrieblich getrennt und verfügen über wenig gemeinsames Rollmaterial. Auf der Sihltalstrecke verkehren DPZ mit 387 Sitzplätze (ex SBB) und NPZ Pendel mit 244 Sitzplätzen. Auf der S10 Uetlibergstrecke verkehren BE 510 mit einer Kapazität von 123 Sitz und 183 Stehplätzen. Beide Strecken werden im 10 - Minutentakt betrieben. Das bedeutet, für die Zeitspanne von 06.45 – 08.45 kommen je 12 Kompositionen an und fahren auch wieder ab. Teilt man die 3'200 Personen durch die 24 ankommenden Züge, so erhält man pro Zug eine durchschnittliche Frequenz von ca. 134 Personen. Da in der Morgenspitze generell ein grösserer Zulauf auf die Zentren stattfindet, ist der Unterschied zu einem Teil dadurch erklärbar.

Weitere Effekte

Ein weiterer Effekt ist, dass bei den KFMS – Daten, Personen nicht immer zu 100% genau erfasst werden können, beispielsweise wenn diese stehen bleiben oder in einem schrägen Winkel zur Erfassungskamera gehen, so dass diese nicht korrekt zu scheiden kann, in welche Richtung die Person die Schnittstelle passiert. Die SIMBA - Daten sind modellierte Daten und bilden einen ungefähren, hochgerechneten Verlauf der Frequenzen ab.

Plausibilisierung

Obwohl beide Datensätze unabhängig von einander sind, zeigen sie ein sehr ähnliches Bild. Die Kombination der Daten über die ganzen zwei Stunden zeigt bei der Analyse ein logisches Bild. Dadurch kann gewährleistet werden, dass mit der Kombination der beiden Datensätze eine Simulation mit SimWalk durchgeführt werden kann, welche einem realistischen Szenario entsprechen.

4.5.7 KFMS – Datensatz mit Simba - Daten gewichtet

In der Simulation mit SimWalk Transport werden die 13 Messpunkte der KFMS - Messstellen, die Schnittstellen für die Ein- und Aussteiger resp. Quelle/ Ziel der Systemgrenzen gebildet. Anhand der Daten werden die Schnittstellen Stadt/ Bahnhof mit dem zugehörigen timegap als Belastung dargestellt.

| | Aufgang Sihlpost (1) | Aufgang Radgasse (2) | Aufgang Sihlquai (4) | Passage Löwenstrasse Süd (5) | Passage Bahnhofstrasse Süd (10) | Aufgang Walche (14) | Aufgang Landesmuseum (15) | Querhalle Süd (16) | Querhalle Nord (17) | Durchgang Südtrakt (22) | Durchgang Nordtrakt (23) | Arkade Nord (24) | Arkade Süd (25) | Total IN |
|---------------|------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|----------|
| 06:45 - 06:49 | 21% | 1% | 10% | 3% | 9% | 2% | 1% | 26% | 5% | 6% | 3% | 3% | 10% | 100.00% |
| 06:50 - 06:54 | Grafik entfernt | | | | | | | | | | | | | |
| 06:55 - 06:59 | | | | | | | | | | | | | | |
| 07:00 - 07:04 | | | | | | | | | | | | | | |
| 07:05 - 07:09 | | | | | | | | | | | | | | |
| 07:10 - 07:14 | | | | | | | | | | | | | | |
| 07:15 - 07:19 | | | | | | | | | | | | | | |
| 07:20 - 07:24 | | | | | | | | | | | | | | |
| 07:25 - 07:29 | | | | | | | | | | | | | | |
| 07:30 - 07:34 | | | | | | | | | | | | | | |
| 07:35 - 07:39 | | | | | | | | | | | | | | |
| 07:40 - 07:44 | | | | | | | | | | | | | | |
| 07:45 - 07:49 | | | | | | | | | | | | | | |
| 07:50 - 07:54 | | | | | | | | | | | | | | |
| 07:55 - 07:59 | | | | | | | | | | | | | | |
| 08:00 - 08:04 | | | | | | | | | | | | | | |
| 08:05 - 08:09 | | | | | | | | | | | | | | |
| 08:10 - 08:14 | | | | | | | | | | | | | | |
| 08:15 - 08:19 | | | | | | | | | | | | | | |
| 08:20 - 08:24 | | | | | | | | | | | | | | |
| 08:25 - 08:29 | | | | | | | | | | | | | | |
| 08:30 - 08:34 | | | | | | | | | | | | | | |
| 08:35 - 08:39 | | | | | | | | | | | | | | |

Abbildung 27: Matrix der KFMS - Schnittstellen mit relativer Verteilung in 5 - Min. - Blöcken für Eingehende (Quelle: Moser)

Folgende Matrizen, welche mit KFMS – Daten alle Messstationen in 5 - Minuten - Blöcke abbilden, wurden in einer zweiten Matrix mit den Simba Daten gewichtet

Einsteigerverteilung

Die KFMS – Daten (Eingehende) in den 5 – Minuten – Blöcke über die 13 Messstellen ergeben die Grundlage für die Zugangsbelastung der Einsteiger.

| Zug | AN | AB | AN [s] | AB [s] | 06:45 - 06:49 | 1_Aufgang_Sihlpost (Mitte) | 2_Aufgang_Radgasse (Mitte) | 4_Aufgang_Sihlquai (Mitte) | 5_Pass_Löw_Süd (Mitte) | 10_Pass_Bahhofstr_Süd (Mitte) | 14_Aufgang_Walche (Mitte) | 15_Aufgang_LM (Mitte) | 16_Querhalle_Süd (Oben) | 17_Querhalle_Nord (Oben) | 22_DG_Südtrakt (Oben) | 23_DG_Nordtrakt (Oben) | 24_Arkade_Nord (Oben) | 25_Arkade_Süd (Oben) | Total |
|------------------------|----------|----------|--------|--------|---------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|-------|
| 19618 (Gleis 41) | 06:45:00 | 06:47:00 | 24300 | 24420 | 36 | 8 | 0 | 4 | 1 | 3 | 1 | 0 | 9 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 36 |
| Grafik entfernt | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Abbildung 28: Ausschnitt der Verteilung der Einsteiger auf die Zugänge (Quelle: Moser)

Für die Einsteiger ist der Abfahrtszeitpunkt (AB) des jeweiligen Zugs der Ausgangspunkt. Auf diesem Zeitpunkt wird die Wegzeit abgezogen, somit würden jetzt alle Einsteiger, die vom gleichen Eingangspunkt zum Zug gehen zusammen vom gleichen Startpunkt aus loslaufen und alle Personen würden den Zug ziemlich knapp vor Abfahrt erreichen. Deshalb wird für Fernverkehrszüge nochmals eine

Zufallszahl zwischen 60 und 1'200 Sekunden abgezogen und beim Regionalverkehr eine Zufallszahl zwischen 60 und 600 Sekunden.

Aussteigeverteilung

Bei den Aussteigern ist die Modellierung einfacher, denn der Zug kommt an und die Leute begeben sich vom Perron zu einem der zugewiesenen Ausgänge. Für die Aussteiger ist ausserdem die Ankunftszeit massgebend für die Zuteilung der Ausgänge. Deshalb sind die Züge hier auch in einer anderen Reihenfolge in den 5 – Minuten – Blöcken.

4.5.8 . Zugsbildungsplan, Gleisbelegungsplan und Fahrplan

Anhand der Zugnummern wurde im Zugsbildungsplan die Formation der Züge (welcher Wagentyp steht wo in der Formation des entsprechenden Zug) angeschaut. Im Fernverkehr gibt es neben festen Kompositionen, wie beispielsweise ICN oder ETR das Konzept der Einzelwagen, wie beispielsweise IC2000 (Intercity 2000) abgekürzt als (2E = 2 Etage) oder EW IV (Einheitswagen IV). Die Wagen können innerhalb ihre Fahrzeugfamilie (EWIV; IC2000; EC etc.) mit unterschiedlichen Wagentypen (bspw. A Wagen = erste Klasse, B Wagen = zweite Klasse, AD Wagen = erste Klasse mit Gepäckabteil etc.) zusammengestellt werden und somit dem erwarteten Passagieraufkommen angepasst werden.

Zugsbildungsplan

Die Zugsformationen sind im ZBP (Zugsbildungsplan) hinterlegt Dies ist ein SBB internes Arbeitsdokument. An den Bahnhöfen werden Zugsformationspläne (blau) ausgehängen, an den neueren Zugsabfahrtsanzeiger der Wagenstand mit den Sektoren angezeigt oder die Formationen sind im Internet abrufbar.

Durch das Einzelwagenkonzept gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen Zugslängen für die gleiche Zugsgattung. Für die Simulation wurde daher sechs Grundkompositionen erstellt.







| Zugsgattung | Wagenfamilie | | Anzahl 1kl | Anzahl 2Kl. |
|-------------------------|--------------|--|---------------|----------------|
| IC | IC2000 (2E) |  | 4 | 6 |
| IR | EWIV |  | 3 | 6 |
| IR Kurz | EWIV |  | 2 | 5 |
| ICN 1 und 2teilig | ICN |  | 3 | 4 |
| DPZ 1,2 und 3 teilig | DPZ |  | ½ | 2 ½ |
| DTZ 1,2 und 3 teilig | DTZ |  | ½ | 3 ½ |

Tabelle 13: Rollmaterialübersicht für die Simulation (Quelle: Moser)

Rollmaterialübersicht für die Simulation

Das es bei den EuroCity grosse Unterschiede in der Anzahl der angehängten Wagen gibt, wurden zwei Typen EuroCity modelliert. Die EuroCity welche als Stammkomposition (Standard) fahren und kürzere Eurocity (IRK) für solche die mit weniger Wagen verkehren als in der Stammkomposition.

ETR 610 sowie TGV haben eine ähnliche Struktur wie die ICN und werden deshalb in der Simulation als ICN geführt werden.

Aus dem Gleisbelegungsplan ist ersichtlich, wann ein Zug auf ein Gleis einfährt und zu welcher Zeit dieser wieder losfahren sollte.

Anhand des Gleisbelegungsplans wurden die Zeiten auf die entsprechenden Zugnummern im Fahrplan übertragen. Durch ein Abgleich zwischen dem Fahrplan und

dem Gleisbelegungsplan, konnte für die Simulation sichergestellt werden, dass nicht zwei Züge auf dem gleichen Gleis einfahren.

Synchronisieren der Daten

Der Fahrplan, der Gleisbelegungsplan und Zugsbildungsplan stammen aus der Fahrplanperiode 2013 (09.12.2012 - 14.12.2013). Die Simba - Daten sind vom Fahrplan 2011 (aus Vertraulichkeitsgründen keine aktuellere Version möglich). Daher mussten zuerst die kleineren Abweichungen zwischen Simba – Daten und dem Fahrplan (Zugnummern haben sich verändert, Gleisnummern gewechselt und Fahrplanzeiten verschoben) korrigiert werden. Dies konnte anhand von alten Gleisbelegungsplänen und Fahrplandaten (mit Stand Fahrplanperiode 2011) umgesetzt werden. Die Masterdatei war der Fahrplan 2013, auf dem die Züge im Simba - Datensatz angepasst wurde.

Einfluss der Zugnummern

Wenn ein Zug in Zürich einen Zwischenhalt macht (Bsp. Romanshorn – Zürich – Brig), dann behält der Zug die Zugnummer, wenn jedoch der Zug in Zürich endet und wieder an den Abfahrtsort zurückfährt (Konzept Wenden) oder eine andere Destination anfährt, dann wechselt die Zugnummer. Ausser es ist ein internationaler Zug, der in Zürich endet und wieder an den Ursprungsort zurückfährt, dann behält dieser Zug die Zugnummer.

Zusätzlich gibt es Züge, die in Zürich ankommen und dann remisiert werden, das heisst, diese werden leer weggestellt (Bsp. Nachtzüge) bis diese wieder zum Einsatz kommen oder es gibt Züge, die leer im Gleisfeld abgestellt waren und in der Halle bereitgestellt werden, um einen Zuglauf zu fahren. Die Informationen zu den Zugnummern wurden aus dem Gleisbelegungsplan entnommen, da dieser graphisch aufzeigt, mit welcher Zugnummer ein Zug ankommt und mit welcher Zugnummer dieser wieder abfährt. Zudem ist auch ersichtlich, wie lange ein Zug auf dem Perron steht, wenn er remisiert wird oder wann ein Zug in die Halle gestellt wird, denn diese Daten sind aus dem kommerziellen Fahrplan nicht ersichtlich.

Da in SimWalk nicht mit dynamischen Zugnummern gearbeitet werden kann, wurde immer die abgehende Zugnummer genommen, wenn es keine abgehende Zugnummer gab (Züge, die remisiert werden), wurde die ankommende Zugnummer verwendet.

Fahrplan für SimWalk

Die Tabelle besteht aus der ZNR (Zugsnummer, welche aus dem Zugsbildungsplan stammt), den An und Abfahrtszeiten (aus dem kommerziellen Fahrplan), der Gleisnummer (aus dem kommerziellen Fahrplan), der Anzahl Ein und Aussteiger (aus Simba) und RM Typ (Rollmaterial Typ), welche im Zugsbildungsplan hinterlegt ist.

4.6 Modell und Simulation

4.6.1 Daten in SimWalk einlesen

Das Kapitel soll das Vorgehen in SimWalk aufzeigen, von der Modellierung der physikalischen Umgebung des HB Zürich, zum Erstellen der dynamischen Elemente wie beispielsweise Treppen und Rolltreppen oder Züge. Dann wird das Herzstück der Simulation erklärt - wie sich die 89'809 Personen (nachfolgend Agenten genannt) modelliert wurden – bis zum Drücken des Startknopfs. Die Erläuterungen erfolgen der Reihenfolge nach; in welcher die Logik des Programm SimWalk Transport aufgebaut ist.

4.6.2 Modellierungsmechanik vom SimDraw/ SimWalk

In dem Subprogramm SimDraw, dem integrierten CAD – Programm von SimWalk können Zeichnung eingelesen, ergänzt oder zeichnerische Elemente wieder gelöscht werden. Die Zeichnung können in SimDraw immer wieder angepasst werden ohne Beeinflussung bereits bestehender modellierten Elemente in SimWalk. Wenn von SimDraw nach SimWalk gewechselt wird, übernimmt SimWalk die aktuellsten Zeichnung, die in SimDraw hinterlegt ist.

SimDraw

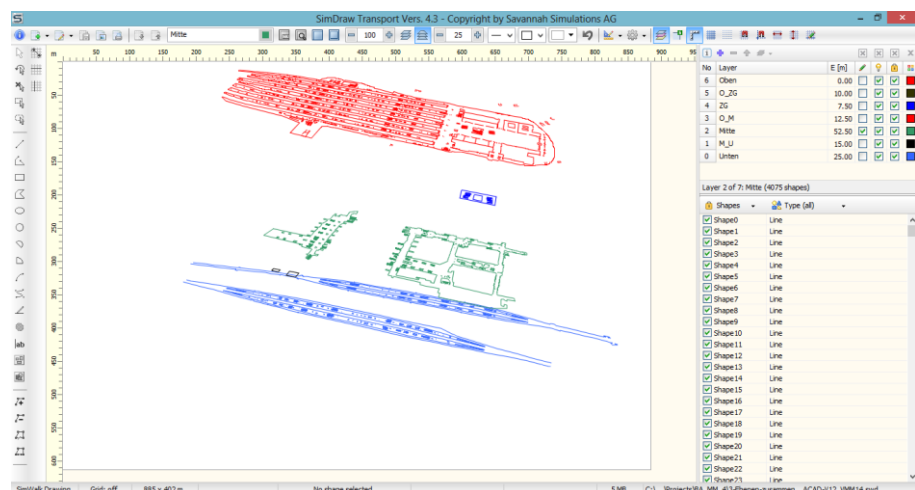


Abbildung 29: Der Bahnhof Zürich mit allen Elemente in Schrägansicht (Quelle: Moser)

Die Darstellung des Bahnhofs Zürich in SimDraw (Schrägansicht) zeigt wie sich der Bahnhof zusammensetzt.

SimWalk

SimWalk hat eine Toolbox, um nun die dynamischen Elemente zu modellieren und die Ebenen miteinander zu verbinden.

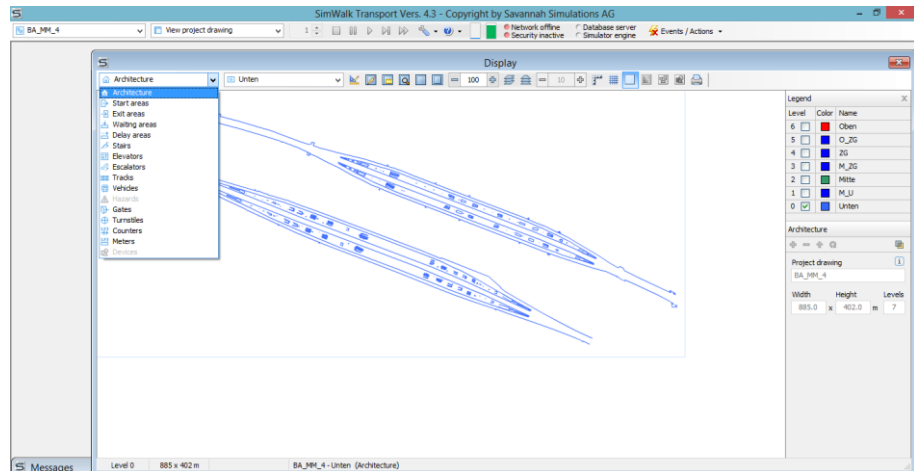


Abbildung 30: Toolbox, um in SimWalk die dynamischen Elemente zu modellieren (Quelle: Moser)

Für diese Bachelorarbeit wurden folgende Elemente aus der Toolbox benötigt und in den aufgeführten Kapiteln beispielhaft erklärt:

- Start/ Exitareas (Start-/ Zielzonen; vgl. Kapitel 4.6.5)
- Waiting Areas (Wartezonen Perron; vgl. Kapitel 4.6.6)
- Waiting Areas (Einkaufszonen; vgl. Kapitel 4.6.7)
- Stairs (Treppen, Rolltreppen und Lifte; vgl. Kapitel 4.6.8)
- Escalator (Treppen, Rolltreppen und Lifte; vgl. Kapitel 4.6.8)
- Elevators (Treppen, Rolltreppen und Lifte; vgl. Kapitel 4.6.8)
- Tracks (Modellieren der Gleise; vgl. Kapitel 4.6.9)
- Vehicles (Erstellen der Züge; vgl. Kapitel 4.6.10)

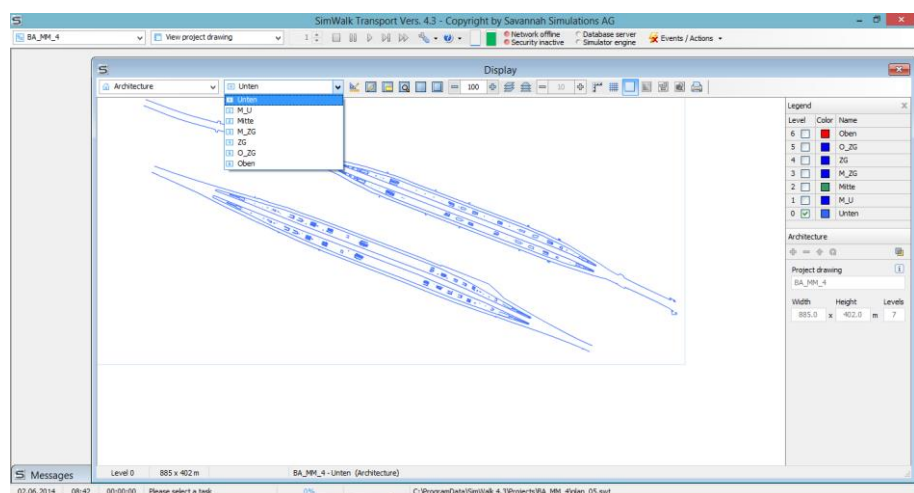


Abbildung 31: Auswahlbox, um die zu bearbeitende Fläche zu wählen (Quelle: Moser)

In der Auswahlbox kann die zu bearbeitende Ebene ausgewählt werden. Rechts bei der Legende können weitere Ebenen eingeblendet werden, jedoch nur zur Übersicht.

Analyse und Simulation der Personenflüsse am Bahnhof Zürich

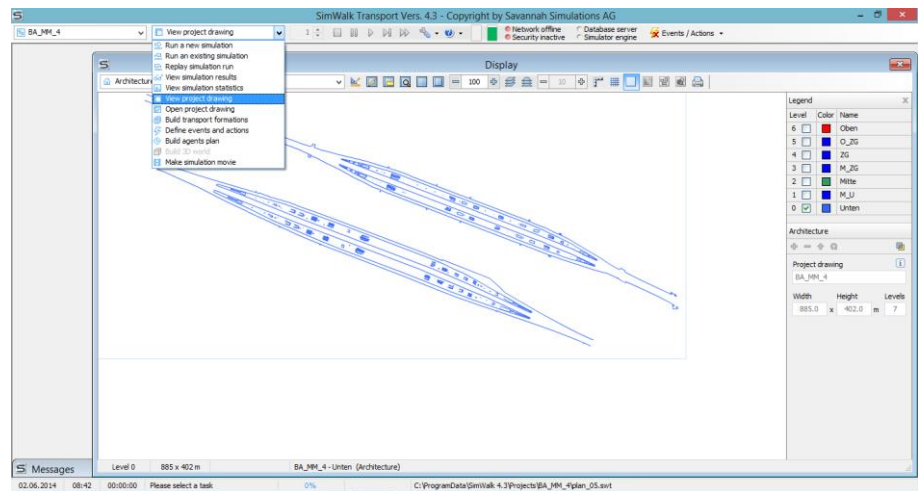


Abbildung 32: Toolbox, um Simulationsparameter für SimWalk zu setzen (Quelle: Moser)

In der Toolbox Simulationsparameter können folgende Anwendungen durchgeführt werden:

- Build Transport Formation (Bilden der Zugsformationen; vgl. Kap 4.6.11)
- Build Agentsplan (Erstellen des Agentenplan; vgl. Kap 4.6.12)
- Wechseln zu SimDraw
- Starten einer neuen Simulation
- Wiederholen einer bestehenden Simulation

4.6.3 Zusammentragen der Layer

Die CAD Daten können nicht direkt in SimWalk Transport geladen werden, sondern müssen zuerst in das Sub - Programm SimDraw eingelesen werden. SimDraw kann die CAD Daten einlesen und konvertiert die Daten in ein Format, welches von SimWalk Transport gelesen werden kann. In SimDraw kann wie in einem CAD - Programm gezeichnet oder bestehende Zeichnungen ergänzt werden. Wichtig für eine gute Datengrundlage, welche in CAD vorbereitet wurde, um nur noch kleinere Änderungen und Anpassungen in SimDraw vornehmen zu müssen.

| |
|----------------------------|
| BAHNHOF_MUSEUM-LOEWENSTRAH |
| BAHNHOF_MUSEUM-LOEWENSTRAG |
| PASSAGE-LOEWEN-BAHNHOFSTRA |
| BAHNHOF_MUSEUM-LOEWENSTRAC |
| BAHNHOF_MUSEUM-LOEWENSTRAB |
| OBERGRUND_LIFT |
| _PASSAGE-SIHLQUAI-GESSNERA |
| PASSAGE-LOEWEN-BAHNHOFSTR9 |
| PASSAGE-LOEWEN-BAHNHOFSTR8 |
| PASSAGE-LOEWEN-BAHNHOFSTR7 |
| BAHNHOF_MUSEUM-LOEWENSTRA8 |
| PASSAGE-LOEWEN-BAHNHOFSTR5 |
| BAHNHOF_MUSEUM-LOEWENSTRA6 |
| PASSAGE-LOEWEN-BAHNHOFSTR4 |
| BAHNHOF_MUSEUM-LOEWENSTRA5 |
| BAHNHOF_MUSEUM-LOEWENSTRA4 |
| PASSAGE-LOEWEN-BAHNHOFSTR2 |
| PASSAGE-LOEWEN-BAHNHOFSTR1 |
| BAHNHOF_MUSEUM-LOEWENSTRA2 |
| PASSAGE-LOEWEN-BAHNHOFSTR0 |
| BAHNHOF_MUSEUM-LOEWENSTRA1 |
| BAHNHOF_MUSEUM-LOEWENSTRA0 |
| OBERGRUND_STÜTZEN |
| _PASSAGE-SIHLQUAI-GESSNER2 |
| _PASSAGE-SIHLQUAI-GESSNER1 |
| OBERGRUND_GLEISACHSEN |
| OBERGRUND_AUFGANG-ABGANG_0 |
| BAHNHOF_MUSEUM-LOEWENSTRAS |
| OBERGRUND_FLÄCHE |
| OBERGRUND_GEBAEUDE-ALLG |
| OBERGRUND_ABGANG-TREPPE |
| OBERGRUND_MOEBEL |

Abbildung 33: CAD - Ebenen, welche in SimD. zu den vier Hauptebenen zusammengefasst werden müssen (Quelle: Moser)

Die vorhandenen CAD Pläne der SBB AG und der Firma Dürig AG bestehen aus 32 verschiedenen Dateien. Die 32 Dateien mussten erst mit der richtigen Ebene verbunden werden. Der Bahnhof Zürich besteht aus mehreren Ebenen und Zwischenebenen. Jedoch wurde zur Vereinfachung der Bahnhof Zürich in vier Ebenen eingeteilt.

Die erste Ebene ist „Unten“ (0) und besteht aus den Bahnhöfen Museumstrasse und Löwenstrasse.

Die zweite Ebene „Mitte“ (1) beinhaltet die Passagen Sihlquai, Gessnerallee, Bahnhofstrasse und Löwenstrasse, die Hallen Sihlpost, Gessnerallee und Löwenstrasse sowie die ganze RailCity.

Die dritte Ebene ist das „Zwischengeschoss“ (2), welche eine Verbindung zwischen der Bahnhofshalle und der RailCity darstellt.

Die vierte Ebene ist „Oben“ (4) und bildet die Hallengleise mit der ganzen Bahnhofshalle.

Im Kapitel 4.2 ist beschrieben, wie die CAD - Daten aufbereitet wurden, um dies in SimDraw einzulesen.

Lücken schliessen

4.6.4 Überarbeiten der Pläne

Für die Simulation in SimWalk Transport ist wichtig, dass die Formen, in denen sich der Personenfluss abspielt, sauber abgeschlossen sind. Bei offenen Stellen, gehen Personen an nicht vorgesehenen Orte, wie beispielsweise Gleise oder laufen aus dem Simulationsparameter heraus. Aus der Distanz sahen die Bahnhofspläne gut aus, jedoch bei hinein zoomen, traten viele Lücken und Löcher zwischen den Linien auf.

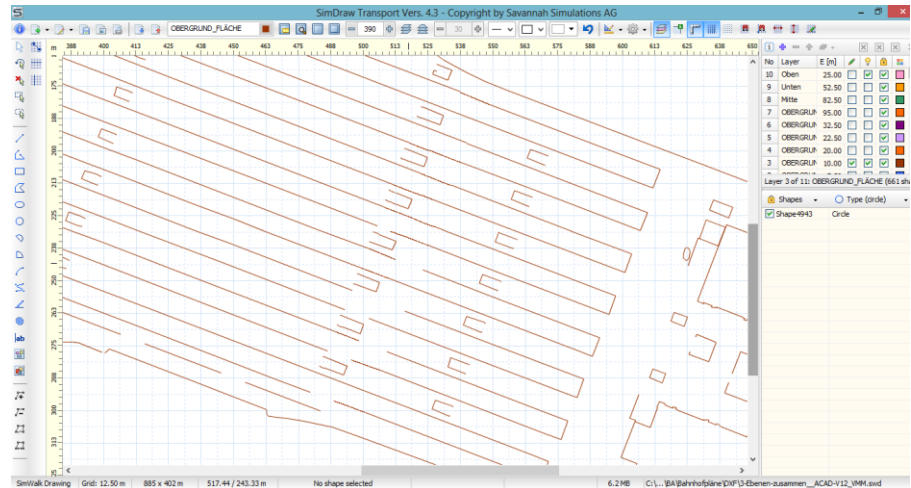


Abbildung 34: Fehler in den Zeichnung (offene Linien) mussten geschlossen werden (Quelle: Moser)

Mit einem Zoom von über 2'000 (in Abbildung 34 ist der Zoom auf 500) musste als erstes jede Linien geprüft und, wenn unvollständig, nachgezeichnet oder verschoben/ gestreckt werden.

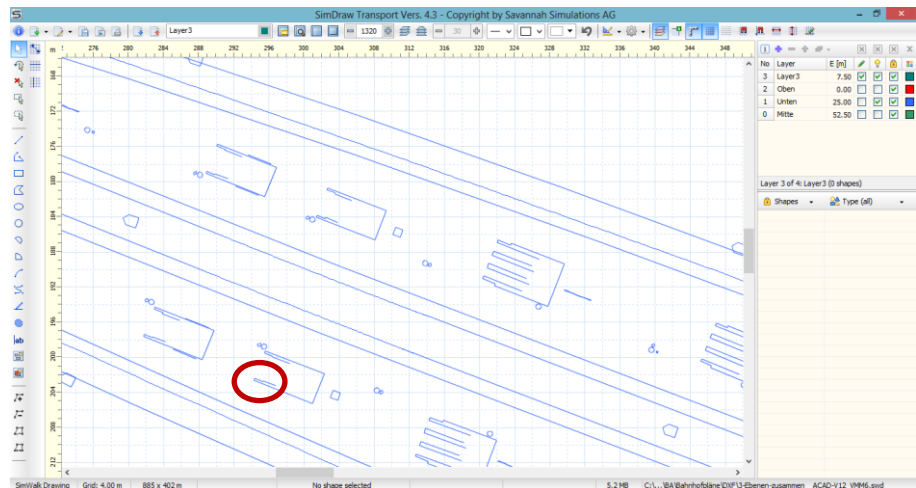


Abbildung 35: Die meisten Treppen/ Rolltreppenaufgänge mussten neu gezeichnet werden (Quelle: Moser)

Die Treppen/ Rolltreppenaufgänge mussten neu gezeichnet werden, da wie in Abbildung 35 die U – Shapes „Sackgassen“ (in Abbildung rot eingekreist) hatten, in den sich Agenten, welche durch die Simulation gesteuert werden, hängen bleiben konnten. Dabei mussten die Längen angeglichen werden und wieder komplett geschlossen werden.

Halle Löwenstrasse
nachzeichnen

Die CAD – Daten hatten noch drei fehlende Elemente: die Halle Löwenstrasse, die Halle Sihlpost und das Zwischengeschosse, welches die RailCity mit der Bahnhofshalle verbindet.

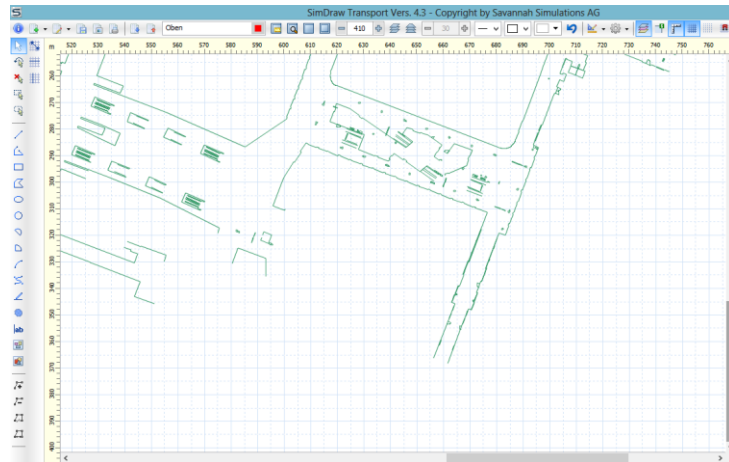


Abbildung 36: Halle Löwenstrasse musste gezeichnet werden (Quelle: Moser)

Die Halle Löwenstrasse fehlte als CAD – Datei und musste mit Bauplänen abgeglichen und in Sim Draw gezeichnet werden.

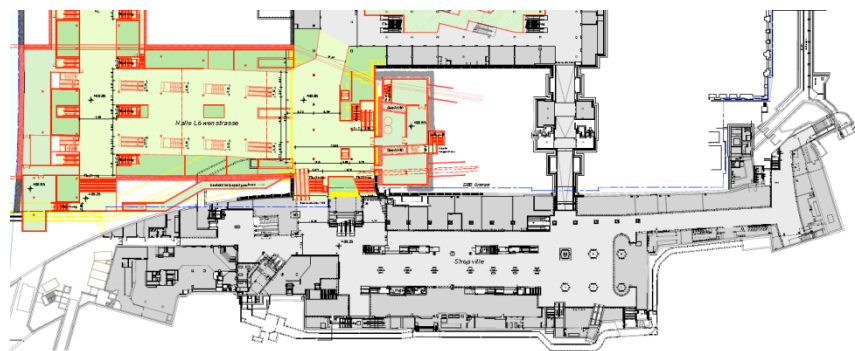


Abbildung 37: Bauplan der Halle Löwenstrasse Gesamtsicht (Quelle: Dürig)

Aus der Abbildung 37 konnten die Masse ausgelesen werden und dadurch die Halle Löwenstrasse nachgezeichnet werden (vgl. Abbildung 38).

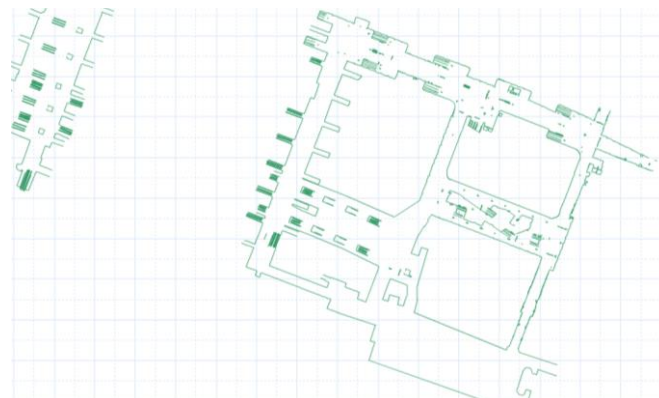


Abbildung 38: Die Halle Löwenstrasse als fertiges Element (Quelle: Moser)

Halle Sihlpost
nachzeichnen

Die Halle Sihlpost, welche an die Passage Sihlquai angrenzt, fehlte ebenfalls als CAD – Datei.

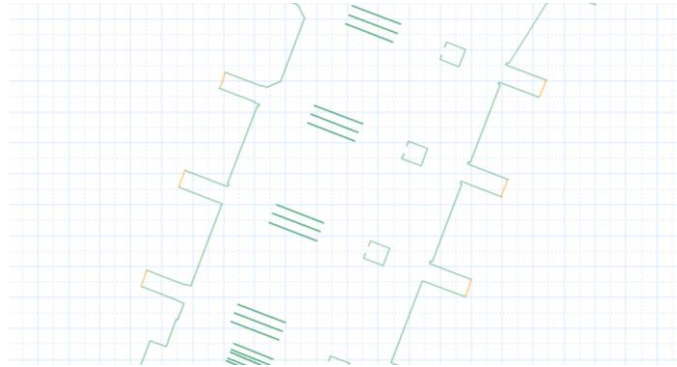


Abbildung 39: Ausschnitt Passage Sihlquai ohne Halle Sihlpost (Quelle: Moser)

Aus dem Bauplan der Firma Dürig (vgl. Abbildung 40) konnten diese rekonstruiert werden.

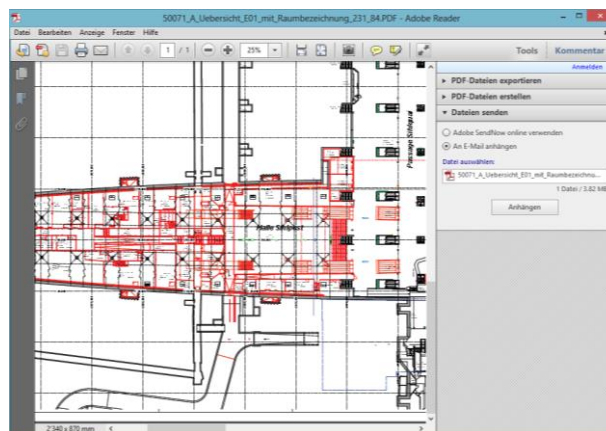


Abbildung 40: Baupläne der Firma Dürig zu der Halle Sihlpost (Quelle: Dürig)

Die Datenpunkte wurden aus dem Plan ausgelesen und in SimDraw übertragen

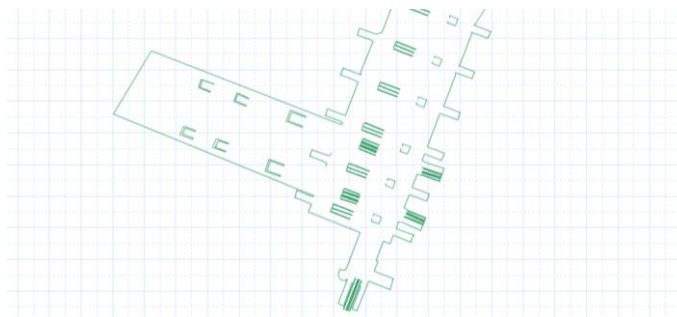


Abbildung 41: Die Halle Sihlpost mit Anbindung an die Passage Sihlquai (Quelle: Moser)

Bei der Halle Sihlpost gehen 6 Abgänge über den Bahnhof Löwenstrasse auf die Perrons 31/32 und 33/34. Es brauchte einen Abgleich zwischen dem Bahnhof Löwenstrasse und der Halle Sihlpost, um die Abgänge richtig zu platzieren.

Das Zwischengeschoss
nachzeichnen

Das Zwischengeschoss, welche die Halle "Oben" und die RailCity verbindet, musste ebenfalls in SimDraw gezeichnet werden.

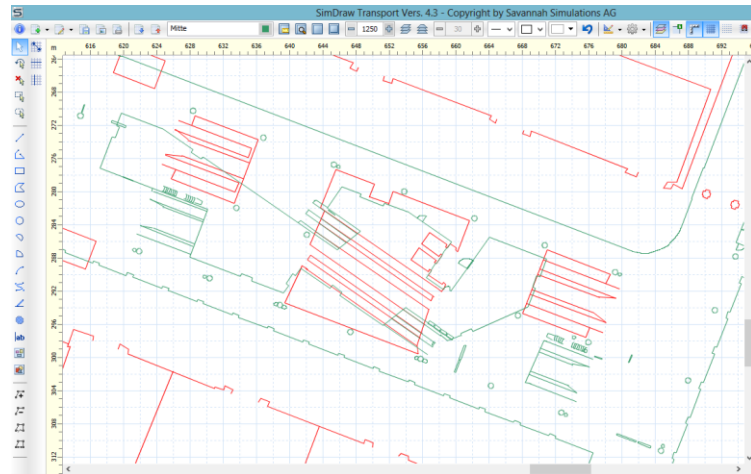


Abbildung 42: Die Layer "Oben" und "Mitte" übereinander gelegt, um das Zwischengeschoss zu zeichnen (Quelle: Moser)

Dazu wurden jedoch keine Baupläne verwendet, sondern die beiden Layer der Ebene (3) Oben und Ebene (1) Mitte eingeblendet.

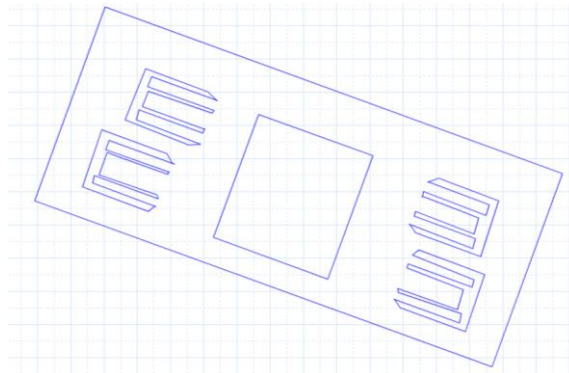


Abbildung 43: Das nachgezeichnete Zwischengeschoss (Quelle: Moser)

Anhand der Situation wurde das Zwischengeschoss modelliert.

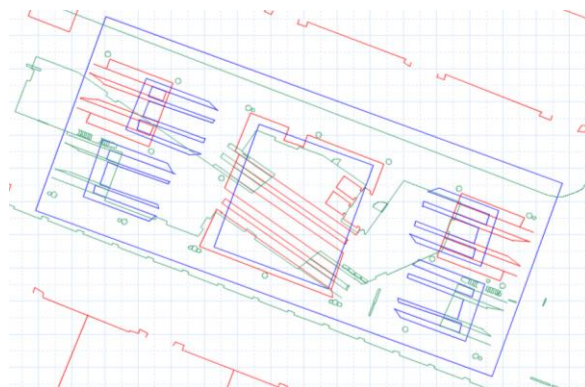


Abbildung 44: Die drei Layer "Oben", Zwischengeschoss und "Mitte" übereinander gelegt (Quelle: Moser)

Das nachgezeichnete Zwischengeschoss bildet in der Simulation die Ebene 2.

Nachfolgend werden die finalen Ebenen, auf denen sich die Personenflüsse in der Simulation abspielen werden, beschrieben. Das sind die vier Ebenen, welche von

SimDraw in das Programm SimWalk Transport übergeben werden, um als neues Projekt in SimWalk Transport die dynamischen Elemente zu modellieren.

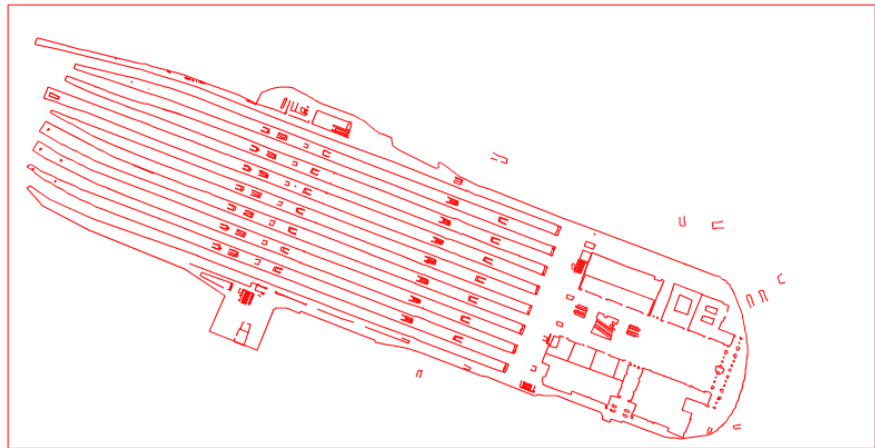


Abbildung 45: Ebene 3 „Oben“ in SimWalk (c)

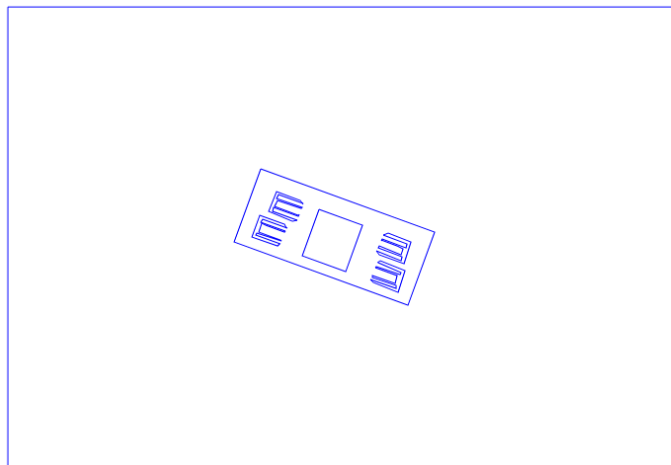


Abbildung 46: Die Ebene 2 „Zwischengeschoss“ in SimWalk (c)

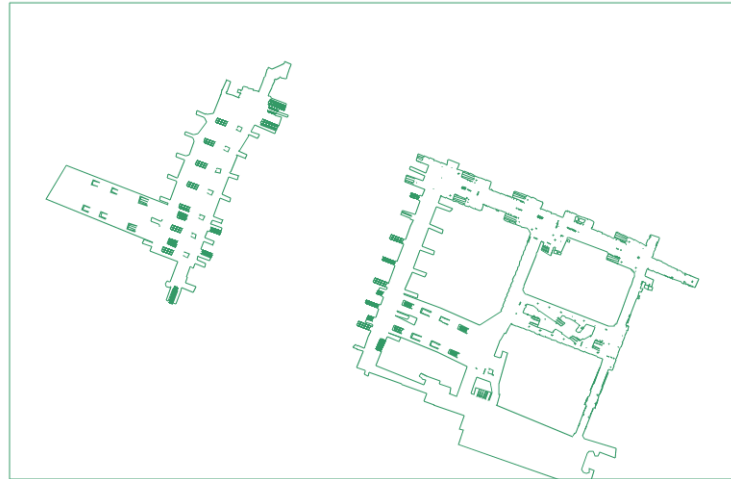


Abbildung 47: Die Ebene 1 „Mitte“ in SimWalk (c)

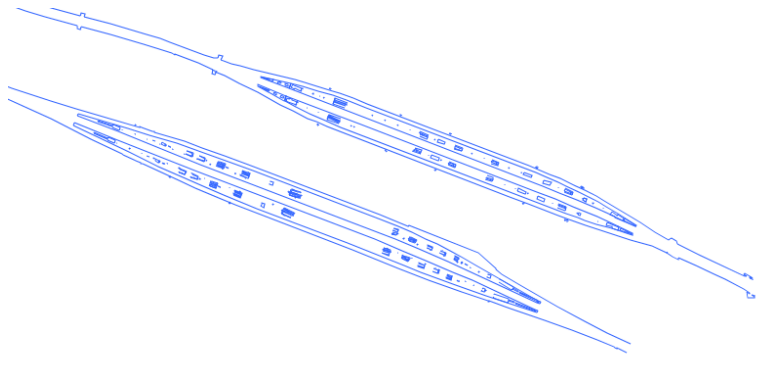


Abbildung 48: Die Ebene 0 "Unten" in SimWalk (c)

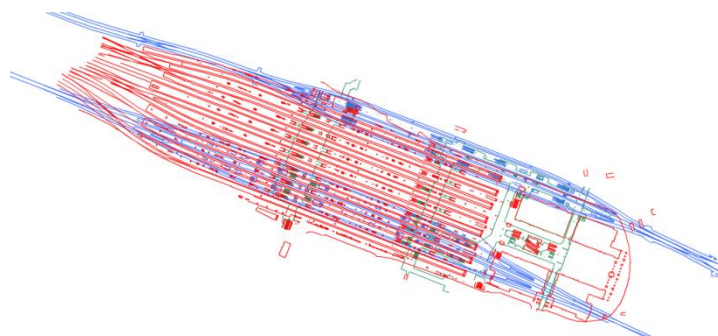


Abbildung 49: Die Ebene 0, 1 und 3 übereinandergelegt, ergeben die wichtigsten Flächen für den Personenfluss

Masstab: Der Bahnhof misst von den Arkaden bis zu dem hintersten Perron ca. 620 Meter und ist in der Breite von Sihlpost zu Sihlquai ca. 190 Meter.

4.6.5 Erstellen der Ein und Ausgänge (Start and Exitareas)

Wie in Kapitel 5.1 beschrieben, können die dynamischen Elemente über das Auswahl Menü angewählt werden.

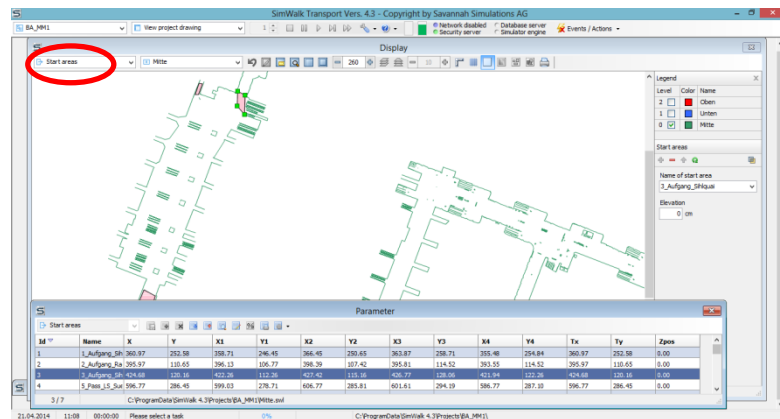


Abbildung 50: Bilden von Startareas in der Ebene Mitte (Quelle: Moser)

Das Modellieren der Ein- und Ausgänge in der Simulation erfolgt durch „Point and Click“. Jede Start- oder Endzone benötigt einen eindeutigen Namen. Die Namensgebung erfolgte analog der Namen der KFMS – Messstellen. Als Beispiel folgt die Modellierung der Startareas in der Halle.



Abbildung 51: KFMS - Messstellen in der Halle (Quelle: Moser)

Die Platzierung der Start- und Exitareas erfolgt analog der KFMS – Messstellen. Die Startareas werden in SimWalk als rote Fläche dargestellt, die Exitareas als grüne Fläche.

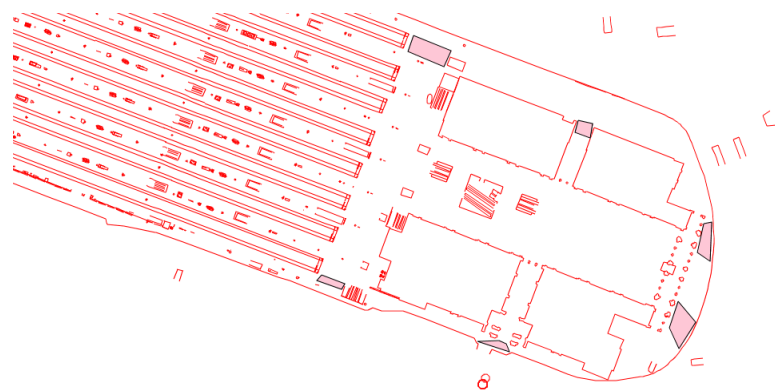


Abbildung 52: Die Startareas in SimWalk Transport anhand des Beispiels Halle

4.6.6 Wartezonen Perrons (Waiting Areas)

Das Modellieren der Flächentypen in der Simulation erfolgt durch „Point and Click“. SimWalk Transport unterscheidet drei verschiedene Flächentypen. Es gibt Meeting Areas, auf diesen Flächen können Personen Einkaufen, Essengehen oder Tickets kaufen (dies wird in Kapitel 5.6 beschrieben). Weiter gibt es die Fläche der Gepäckaufgabe. Diese wird jedoch in der Simulation nicht benötigt.

Die Transfer Areas sind die Flächen auf den Perrons, auf denen die Personen warten und auf der sich der Fahrgastwechsel abspielt. Bei den Zügen muss hinterlegt werden, auf welchem Gleis diese einfahren und auf welcher Fläche die Leute aussteigen resp. einsteigen müssen, so dass die richtigen Türen angesteuert werden.

Diese Transfer Areas brauchen auch einen eindeutigen Namen. Dieser wurde anhand der Perron - Nummern vergeben. Es ist wichtig, dass die exakten Abstände zu den Gleisen modelliert werden und die Transfer Areas parallel den Gleisen entlang verlaufen, ansonsten können die Agenten im System den Weg nicht finden.

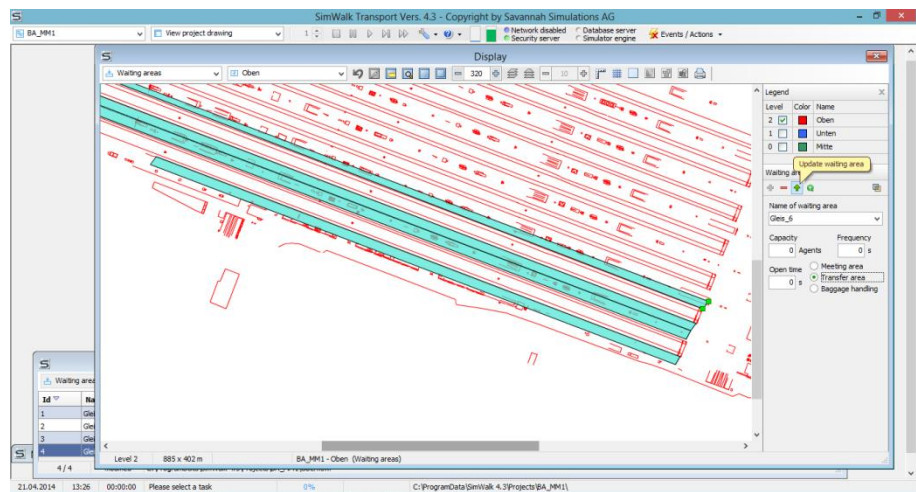


Abbildung 53: Modellieren der Transfer Areas für die Perrons (Quelle: Moser)

Die Flächen können auch über die Zeit angesteuert werden, z.B. wann diese gesperrt werden sollen. Dies wird aber für die Simulation nicht benötigt.

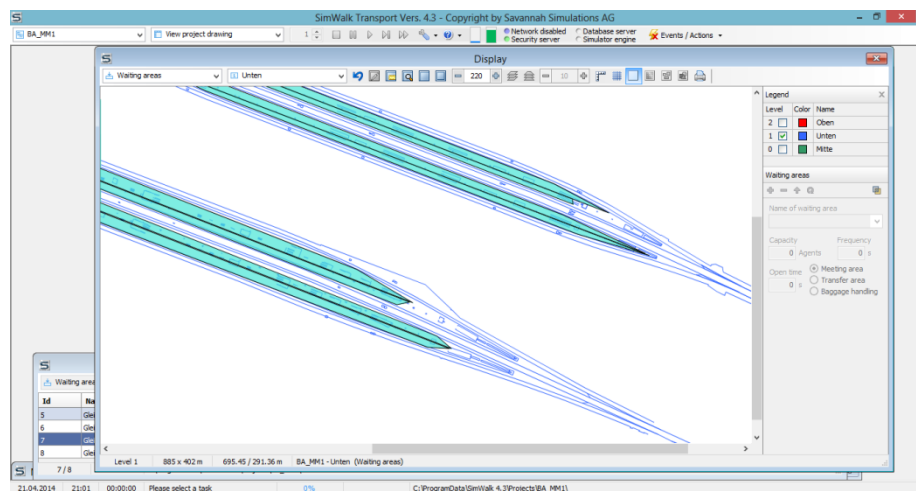


Abbildung 54: Transfer Areas für die Bahnhöfe Museumstrasse und Löwenstrasse (Quelle: Moser)

4.6.7 Einkaufszonen (Meeting Areas)

Das Modellieren des Flächentyps Meeting Area, welche in der Simulation als Verkaufsflächen agieren, brauchen einen eindeutigen Namen und wird durch „Point and Click“ generiert.

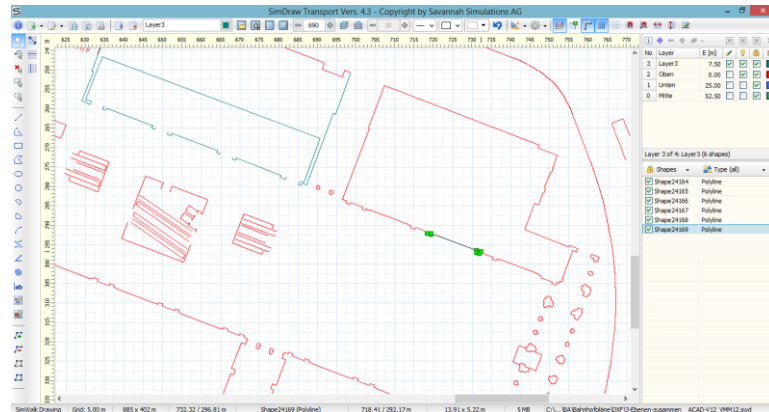


Abbildung 55: Nachzeichnen der Layer mit Geschäftseingänge (grüne Striche) (Quelle: Moser)

Da in den CAD – Zeichnung die Ebenen ohne offenen Türen hinterlegt waren, so mussten die Orte, die in der Simulation begangen werden sollen, nachgezeichnet werden mit offenen Türen und die alten geschlossenen Layer gelöscht werden.

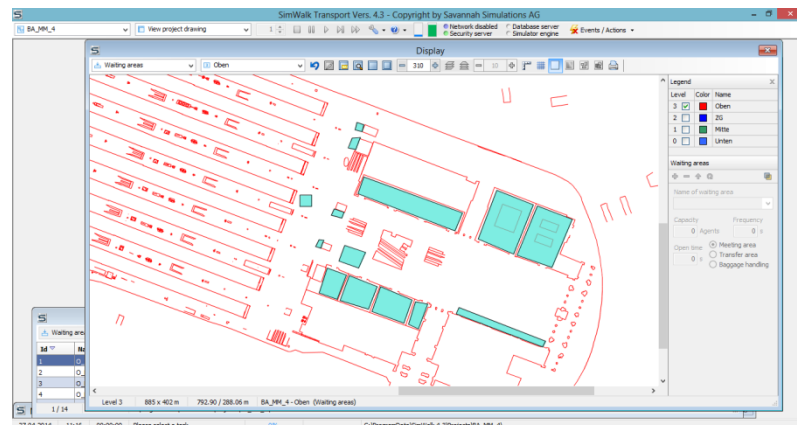


Abbildung 56: Als Beispiel die modellierten Verkaufsfläche in der Halle (Quelle: Moser)

Es wurden folgende Geschäfte erstellt, um Agenten einkaufen oder anderweitig verweilen zu lassen. Die RailCity mit all den Geschäften wurde aus Zeitgründen nicht modelliert. Dies könnte jedoch ein Thema für eine weiterführende Arbeit.

| | |
|------------------------|---------------------------|
| Bisto_Halle (Oben) | Migros (Oben) |
| Brasserie (Oben) | Rest1_Sudtrakt (Oben) |
| Cafestand_Halle (Oben) | Rest2_Sudtrakt (Oben) |
| Foodcorners (Oben) | Rest3_Sudtrakt (Oben) |
| Grill_Halle (Oben) | Schalterhalle (Oben) |
| Grill_Nordtrakt (Oben) | Sihlpost_Grill (Oben) |
| Kiosk_Sudtrakt (Oben) | Sihlpost_Kiosk (Oben) |
| Kisok_Halle (Oben) | Sihlpost_Spetacolo (Oben) |
| Meetingpoint (Oben) | |

Tabelle 14: Aufzählung der Geschäfte die in der Simulation hinterlegt sind (Quelle: Moser)

4.6.8 Treppen, Rolltreppen und Lifte

Die Elemente Treppen, Rolltreppen und Lifte wurden aus den CAD Dateien gelöscht und durch eine U – Form ersetzt. Die Öffnung ist der Zutritt zu dem Element. Unten wird ein Beispiel aufgeführt, das so auch für alle anderen Treppen, Rolltreppen und Lift gilt.

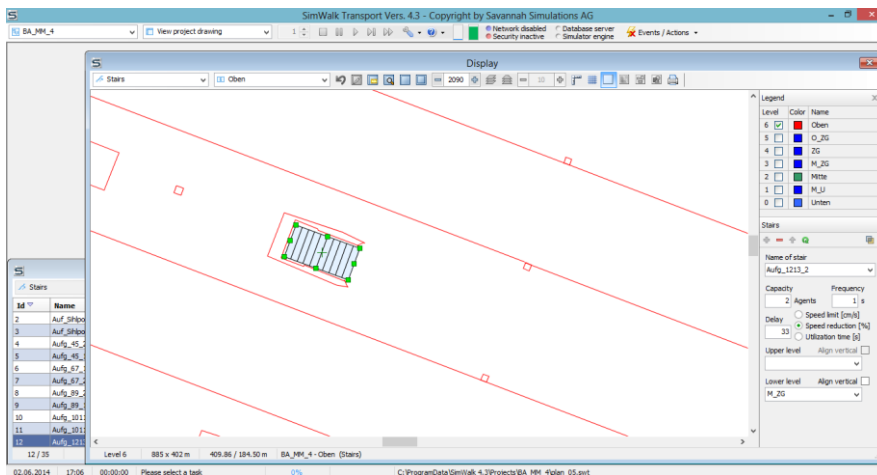


Abbildung 57: Beispiel einer Treppenmodellierung (Quelle: Moser)

Treppen im Idealfall

In SimWalk wurde in jedes dieser U – Shapes eine Treppe reinmodelliert und muss so nah wie möglich an die inneren U – Linien grenzen, ohne diese zu schneiden. Eine Treppe muss von beiden Ebenen her modelliert und miteinander verknüpft werden, so dass diese in SimWalk durch Agenten begehen werden kann. Jede Treppe benötigt einen eindeutig identifizierbaren Namen. Mit dem Befehl „Align vertical“ und der Angabe, auf welche Ebene diese Treppe führt, wurde die Treppe auf der ersten Ebene modelliert. Nun musste auf der Ebene, auf welche die Treppe führt das Gegenstück zur Treppe erstellt werden.

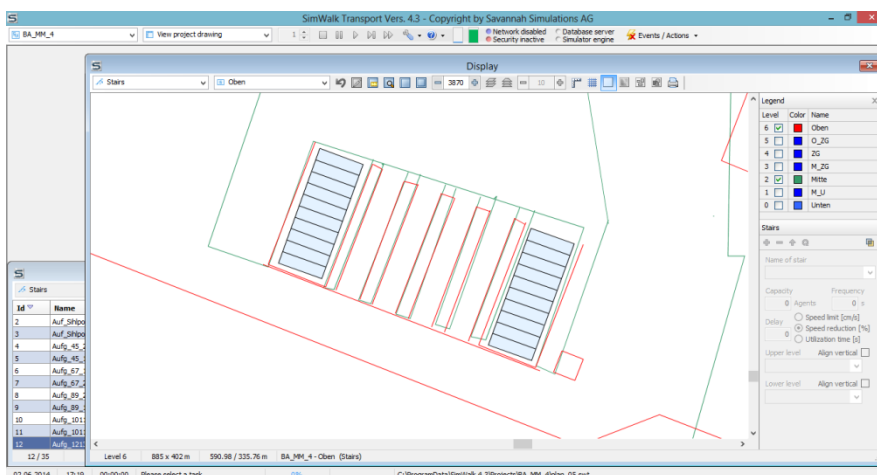


Abbildung 58: Optimaler Fall, um Treppen zu modellieren (mittlere Eben (grün) ist kongruent zu oberer Ebene (rot)) (Quelle: Moser)

Dazu musste eine neue Treppe modelliert werden, den gleichen Namen der anderen Hälfte der Treppe anwählen und wieder den Befehl „Align vertical“ und die andere Ebene anwählen, dadurch übernimmt es automatisch die Dimensionen der Treppe der ersten Ebene (Länge, Breite und Winkel der Treppe). Somit wäre eine Treppe modelliert.

Zwischengeschosse Treppen zu modellieren

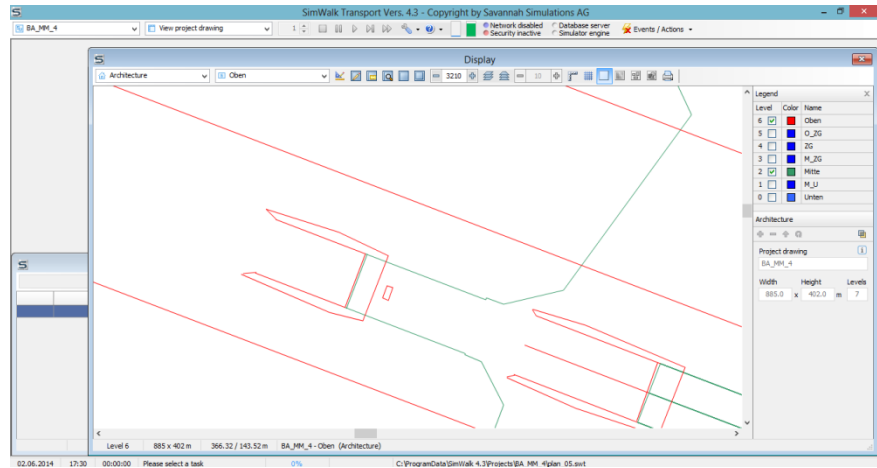


Abbildung 59: Die Aufgänge zwischen der mittleren Ebene (grün) und der oberen Ebene (rot) sind versetzt (Quelle: Moser)

Jedoch ist die Situation der Abbildung 90 die Ausnahme. Alle anderen Treppenaufgänge sind verschoben, wie in der Abbildung 91 gezeigt. Dadurch können die Treppen nicht eins zu eins verbunden werden. Daher wurde zwischen alle bereits bestehenden Ebenen Zwischenebenen modelliert, wobei die Treppen auf die Zwischenebenen führen.

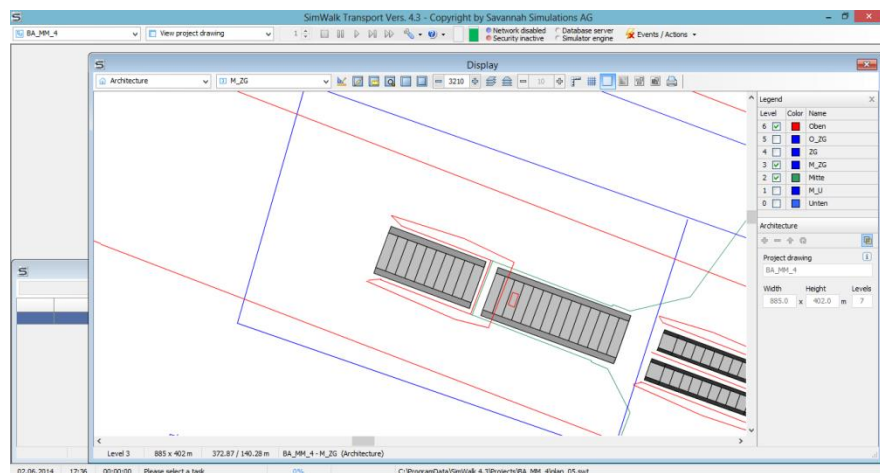


Abbildung 60: Treppen führen von der oberen und der mittleren Ebene auf die blaue Zwischenebene (Quelle: Moser)

Das blaue Rechteck bildet den Rahmen um das Treppenpaar, das nun die obere Ebene (rot) mit der unteren Ebene (grün) verbindet. Das bedeutet, dass die Agenten, wenn sie beispielsweise von der mittleren Ebene auf die obere Ebene wollen, einen minimalen Umweg auf die Zwischenebene machen, um dann unmittelbar von der Zwischenebenen auf die obere Ebene zu gelangen. Dieses Vorgehen musste für praktisch alle Treppen und Rolltreppen angewandt werden mit einer Ausnahmen (Abbildung 60). Es gibt am Bahnhof Zürich 64 Treppen und 87 Rolltreppen Diese werden in der Simulation mittels 600 Elementen abgebildet, um die Ebenen zu verbinden.

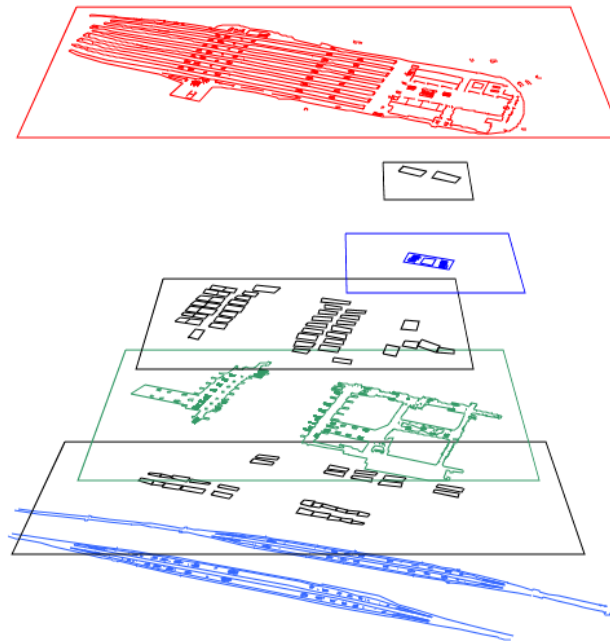


Abbildung 61: Ebenen in der Simulation mit den neuen Zwischenebenen (Quelle: Moser)

Dadurch das Setzen der drei zusätzlichen Zwischenebenen (schwarz) sieht der physikalische Rahmen der Simulation wie in Abbildung 61 aus. Die Ebenen erhielten dadurch neue Nummern:

- 6 Ebene Oben (Hallengleise und Halle)
- 5 Zwischenebene
- **4 Ebene Zwischengeschoss**
- 3 Zwischenebene
- **2 Ebene Mitte (RailCity und Passagen)**
- 1 Zwischenebene
- **0 Unten (Bahnhof Löwenstrasse und Museumstrasse)**

4.6.9 Modellieren der Gleise

Gleise in der Halle

Die Gleise bilden die Fahrbahn der Züge und können beliebig viele Wegpunkte haben, ausgehend vom ersten gesetzten Punkt mit der Referenz Wegpunkt 0 bis zu Wegpunkt n. Die gesetzten Wegpunkte auf den Gleisen dienen ebenfalls als Anzapfpunkt für Kurven oder können als Wegpunkt - oder Haltepunkt (Bsp. Einfahren von Punkt 2, Halt bei Punkt 1, Abfahrt in Richtung Punkt 0) für die Fahrzeuge dienen. Die Gleise 3 bis 18 in der Halle wurden so gelegt, dass in der Halle beim Prellbock immer der Wegpunkt 0 ist und somit alle Fernverkehrszüge den Halt beim Wegpunkt 0 haben.

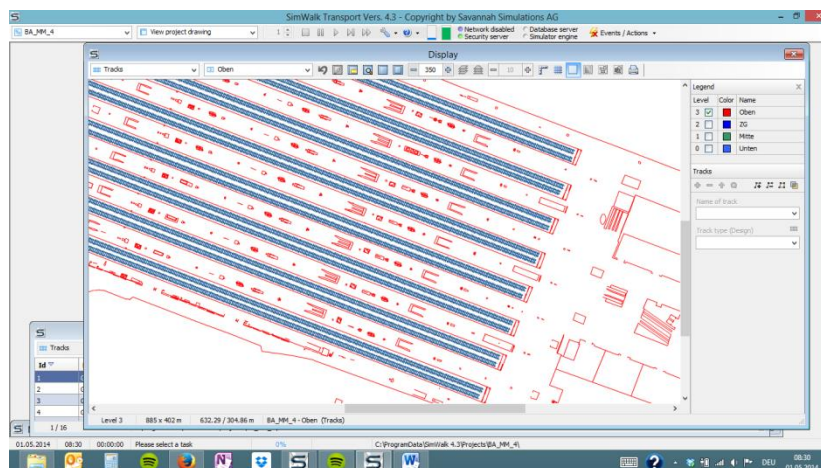


Abbildung 62: Gleise 3 - 18 in der Halle

Bei der Eingabe der Fernverkehrszüge bei Fahrzeugformation (vgl. Kapitel 4.6.10) wurden die Wegpunkte für die Ein – und Ausfahrt bei dem Wegpunkt 1 gesetzt und der Halteort bei 0. Wichtig für die Simulation ist, dass kein Gleis zu nahe am Perron ist oder das Perronprofil verletzt.

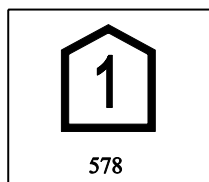
Halteorte nach FDV

Innerhalb der S-Bahn sind alle Bahnhöfe mit Halteorttafeln ausgerüstet nach den Fahrdienstvorschriften (FDV) des Bundesamts für Verkehr (BAV) 300.2 Abschnitt 5.5.7 Halteort-, Achszahl- und Zuglängentafel für haltende Züge.



Begriff: *Halteort*
Bedeutung: Halteort für alle Reisezüge

Abbildung 63: Halteort nach FDV



Begriff: *Halteort*
Bedeutung: Halteort für Reisezüge mit Länge von 100 m
Beziehung zu andern Signalen:
Zusätzlich zu der abgebildeten Tafel können auch Tafeln 2, 3, 4 für Zuglängen von 200, 300, 400 Metern usw. folgen.

Abbildung 64: Halteort für 100 Meter Züge nach FDV (Quelle: FDV)

Diese Halteorte sind für den Lokführer verbindlich. Es gibt im Bahnhof Museumstrasse und dem Bahnhof Löwenstrasse entsprechende Haltetafeln für die 100-, 200- und 300 – Meter - Kompositionen der S-Bahn.

Gleise der Bahnhöfe Museum-
und Löwenstrasse

Für den Bahnhof Löwenstrasse und Bahnhof Museumstrasse ist das Modellieren der Halteorte komplexer. Da DTZ und DPZ gleich lang sind (eine Komposition entspricht ca. 100 Meter) und als 100, 200 oder 300 Meter Kompositionen verkehren, gelten die folgenden Angaben für beide Zugstypen. Die Halteorte sind durch Halteorttafel in den CAD Plänen hinterlegt.

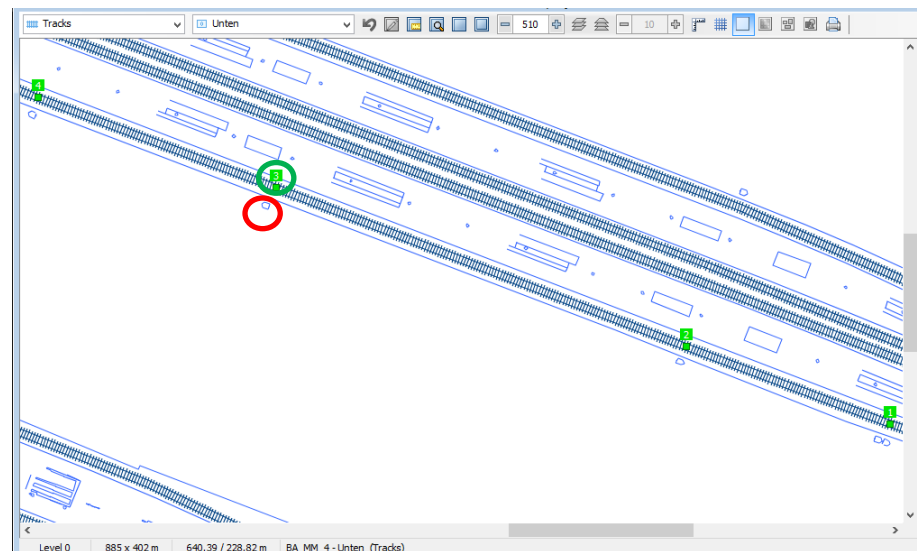


Abbildung 65: Wegpunkte wurden an den Halteorttafeln ausgerichtet (Quelle: Moser)

Auf der Abbildung 65 sieht man, dass die Halteorttafeln (eine ist rot eingekreist) mit den parallel gesetzten Wegpunkten (einer ist grün eingekreist) übereinstimmen. Beide Perrons sind Durchgangsgleise und die Züge fahren richtungsgetreunt. Auf Gleis 31, 32, 41 und 42 kommen die Züge aus Richtung Stadelhofen und fahren weiter in Richtung Hardbrücke. Auf Gleis 33, 34, 43 und 44 kommen die Züge aus der Richtung Hardbrücke und fahren weiter in Richtung Stadelhofen.

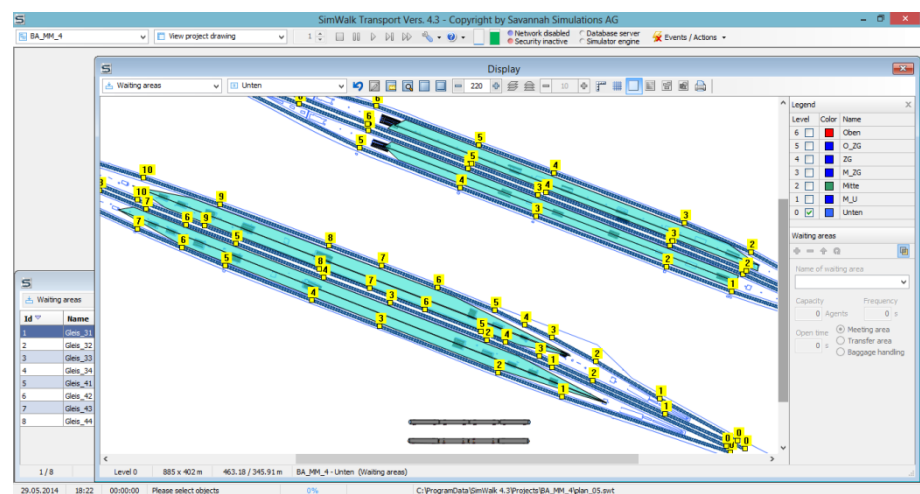


Abbildung 66: Wegpunkte für die Bahnhöfe Löwenstrass und Museumstrasse (Quelle: Moser)

Da jedes Gleis durch die Geometrie des Bahnhofs leicht anders verläuft, wurden mehr Wegpunkte gesetzt als eigentlich nötig waren. So wurde jedoch gewährleistet, dass nun die Wegpunkte für die Umsetzung in SimWalk die realistischen Haltesituationen der beiden Bahnhöfe abbilden.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen für die S-Bahnen (1, 2 und 3 teilig) den Wegpunkt, von dem diese einfahren, anhalten und wieder ausfahren.

Beim Erstellen der Zugsformationen (vgl. Kapitel 4.6.10) waren die Tabellen die Grundlage für die Parametrisierung bezüglich dem Fahr- und Halteverhalten.

| Gleis 31 und 32 (Bahnhof Löwenstrasse) | | | |
|--|----------|----------|----------|
| | Einfahrt | Halteort | Ausfahrt |
| 1 teilig | 2 | 3 | 4 |
| 2 teilig | 3 | 4 | 5 |
| 3 teilig | 4 | 5 | 6 |

Tabelle 15: Halteorte DPZ und DTZ Bahnhof Löwenstrasse Gleis 41/ 42 (Quelle: Moser)

| Gleis 33 und 34 (Bahnhof Löwenstrasse) | | | |
|--|----------|----------|----------|
| | Einfahrt | Halteort | Ausfahrt |
| 1 teilig | 4 | 3 | 2 |
| 2 teilig | 3 | 2 | 1 |
| 3 teilig | 3 | 2 | 1 |

Tabelle 16: Halteorte DPZ und DTZ Bahnhof Löwenstrasse Gleis 43/ 44 (Quelle: Moser)

| Gleis 41 und 42 (Bahnhof Museum) | | | |
|----------------------------------|----------|----------|----------|
| | Einfahrt | Halteort | Ausfahrt |
| 1 teilig | 3 | 4 | 5 |
| 2 teilig | 4 | 5 | 6 |
| 3 teilig | 6 | 7 | 8 |

Tabelle 17: Halteorte DPZ und DTZ Bahnhof Museumstrasse Gleis 31/ 32 (Quelle: Moser)

| Gleis 43 und 44 (Bahnhof Museum) | | | |
|----------------------------------|----------|----------|----------|
| | Einfahrt | Halteort | Ausfahrt |
| 1 teilig | 8 | 7 | 6 |
| 2 teilig | 7 | 6 | 5 |
| 3 teilig | 6 | 5 | 4 |

Tabelle 18: Halteorte DPZ und DTZ Bahnhof Museumstrasse Gleis 43/ 44 (Quelle: Moser)

4.6.10 Erstellen der Züge

SimWalk besitzt eine Standarddatenbank, die bereits Strassen und Schienenfahrzeuge enthält. Neben der Standarddatenbank können in einem Editor Züge gezeichnet werden. Für diese Bachelorarbeit wurden die Fahrzeuge der SimWalk Datenbank entnommen und mit Parameterwerten des entsprechenden SBB Rollmaterials versehen. Um eine Komposition zu erstellen, müssen die Lokomotive und die einzelnen Wagen in SimWalk zusammengefügt und alle Fahrzeuge mit dem gleichen Kompositionsnamen versehen werden. Wichtig ist, dass das Fahrzeug welches als erstes modelliert wurde, der Leader in der Komposition ist, auf welches der Halteort referenziert wird.

Die Fernverkehrszüge bestehen meist aus einer Stammkomposition (Grundeinheit an Anzahl Wagen innerhalb der Komposition). Diese kann jedoch mit Modulen oder „Päckchen“ erweitert werden, in dem nochmals eine gewisse Anzahl Wagen an die Stammkomposition gekoppelt werden, wobei das Fahrzeug an der Spitze und Ende immer ein Bt (Steuerwagen) oder eine Lokomotive sein muss.

Da die SBB nicht unendlich Fahrzeuge hat, variiert die Anzahl der Wagen innerhalb der Produkte (IC, IR, RE, etc.), welche nach dem Konzept der Einzelwagen gefahren werden. Es wäre mit einem sehr hohen Aufwand verbunden alle 64 Fernverkehrszüge einzeln zu modellieren. Deshalb wurden die Stammkompositionen eines IC (mit IC2000 Wagen) und IR (mit EWIV Wagen) genommen ohne Verstärkungsmodul. Das entspricht schon zu gut 85% den Fernverkehrszügen mit Einzelwagenkonzept. Für die kürzeren Züge wurde der Durchschnitt an Anzahl Wagen genommen und einen IR kurz (mit EWIV Wagen) modelliert. Weiter gibt es zwei Züge, welche als ETR610 in Richtung Milano Centrale fahren und einen TGV in Richtung Paris. Da die beiden Zugstypen eine ähnlich Typologie wie ein ICN aufweisen, wurden diese Züge als ICN modelliert. Die ICN wurden als Einfach – oder Doppeltraktion modelliert.

Einfacher ist die Regionalverkehrsflotte. Für die Simulation wurden DPZ und DTZ modelliert, jeweils in Einfach-, Doppel-, oder Dreifachtraktion. Da jedoch das erste Fahrzeug der Leader ist, muss also jede Komposition zweimal modelliert werden, einmal mit dem Leader links und einem mit dem Leader rechts.

Als Beispiel für die Modellierung der Züge wird der ICN aufgeführt; die anderen Fahrzeuge befinden sich im Anhang.



Abbildung 67: ICN Beispielbild und SimWalk - Modellabbildung (Quelle: Moser)

| Fahrzeug | Bt | B | AD | A | WRA | B | Bt |
|------------|----|----|----|----|-----|----|----|
| Sitzplätze | 70 | 93 | 41 | 60 | 44 | 93 | 66 |
| Türen | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 |

Tabelle 19: Parameterdaten des ICN, welche in SimWalk hinterlegt wurden (Quelle: Moser)

4.6.11 Erstellen der Fahrzeugformationen

Die Eigenschaft des Bahnhof Museumstrasse ist die, dass die Züge gemäss Fahrplan nicht ab einem fest definierten Gleis, sondern ab Gleis 41/42 (in Richtung Hardbrücke) oder Gleis 43/44 (in Richtung Stadelhofen) verkehren, dies ist auch so im publizierten Fahrplan hinterlegt. Der Zentralrechner im ZSW stellt ca. 5 Minuten vor der Ankunft des Zuges die Fahrstrasse in das hinterlegte Gleis nach Zugsbildungsplan. Wenn ein Zug beispielsweise auf das Gleis 42 sollte, wird berechnet ob dieses frei ist, wenn nicht wird der Zug auf das Gleis 41 gestellt. Nach dem Einstellen der Fahrstrasse werden die entsprechenden Kundeninformationsschirme mit der Information gespeist, auf welchem Gleis der Zug nun einfährt. Dies hilft vor allem bei Verspätungen und zur Erhöhung der Flexibilität, so dass die Züge auf die freien Gleise gestellt werden können. Diese Situation kann nicht modelliert werden. Für die Arbeiten werden deshalb die Daten aus dem statischen Gleisbelegungsplan der SBB AG entnommen.

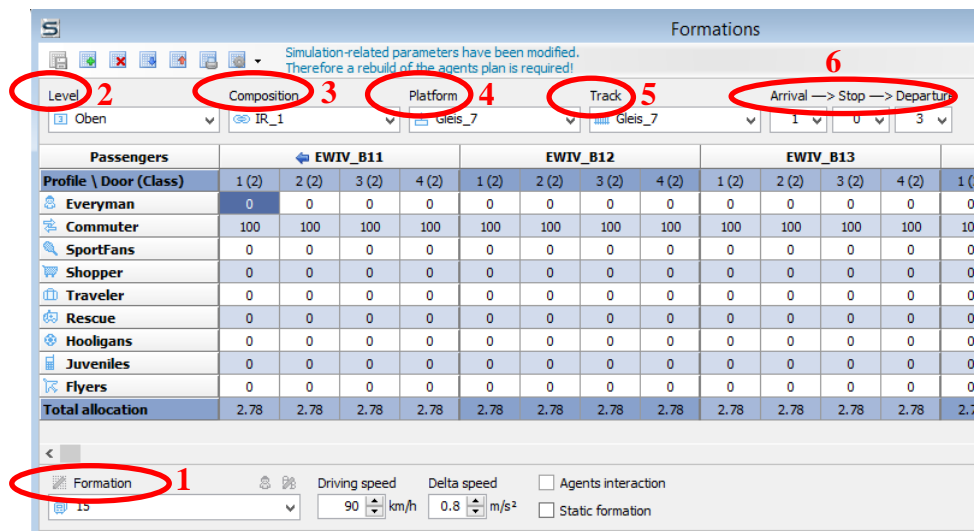


Abbildung 68: Erstellen der Züge in SimWalk (Quelle: Martin Moser):

Die 170 Züge der Simulation werden wie in der Abbildung 68 in SimWalk erstellt.

Unter Formation (1) wird die Zugnummer eingetragen. Unter Level (2) wird angegeben, auf welcher Ebene der Zug fährt (Oben: Halle, Unten: Bahnhof Löwenstrasse oder Museumsstrasse). Als nächstes wird gewählt, was für eine Komposition (3) dieser Zug ist (ICN, IR, etc.) hat. Dann wird unter Plattform (4) angegeben, auf welchem Perron der Fahrgastwechsel stattfindet. Bei der Eingabe Track (5) wird definiert, auf welchem Gleis der Zug fährt. Als letztes muss bei Arrival → Stop → Departure (6) die Wegpunkte Einfahrt, Halteort und Abfahrt hinterlegt werden.

Die Belastung der Türen ist nicht bekannt, somit wurden alle Türen auf 100% mit Commuter (Agenten - Profil des Pendlers mit entsprechenden Parametern) hinterlegt.

Dadurch sind die Züge im SimWalk erstellt und können dann im Agentsplan (Kapitel 4.6.12) verplant werden.

4.6.12 Bilden des Agentenplan (Personen in SimWalk)

Die Simulationszeit geht von 06.45 bis 08.45 Uhr. In SimWalk wird jedoch die Zeit in Sekunden benötigt. Der Referenzpunkt ist 00:00 mit Sekunde 0. In Sekunden gerechnet entspricht 06.45 Uhr 24'300 Sekunden und 08.45 Uhr 31'500 Sekunden. Die Simulation wird jedoch schon früher beginnen, da die ersten Einsteiger auf die Züge schon früher in das System kommen.

In dieser Simulation wurden keine Shopper modelliert sondern nur Querer. Der Grund war, dass es sehr Aufwändig ist, Shopper zu modellieren und gleichzeitig der Schnittstellenbelastung nach KFMS gerecht zu werden. Die Geschäfte sind jedoch in der Simulation hinterlegt und können in einer weiterführenden Arbeit verwendet werden.

| Beeinflussung: | Id | Agents | Level | Start | Waypoint | Tmin | Tmax | Tdel | Tdep | Group | Wtyp | Profile | Darr | Ddep | Tvar | Tret | Hcap | O | D |
|----------------|----|--------|-------|-------|----------|------|------|------|------|-------|------|---------|------|------|------|------|------|---|---|
| Simba | | x | x | x | x | x | x | x | x | | | | | | | | | | |
| KFMS | | x | x | x | x | x | | x | x | | | | | | | | | | |
| Zeitmatrix | | | | | | x | x | | | | | | | | | | | | |
| Fahrplan | | | | | | x | x | x | x | | | | | | | | | | |

Abbildung 69: Überblick, über die Datensätze und wie diese den Agentenplan beeinflussen (Quelle: Moser)

Die Abbildung 69 zeigt, wie die unterschiedlichen Datensätze welche Parameter des Agentenplan beeinflussen. Die einzelnen Parameter werden unten vorgestellt.

Es gibt zwei Möglichkeiten einen Agentenplan zu erstellen, entweder direkt in die Eingabemaske von SimWalk im Reiter Agentenplan oder durch einlesen einer Excel-Maske. Für diese Simulation wurde die Erstellung mit einer Excel-Maske gewählt für die bessere Übersicht.

Die Inputmaske ist wie folgt aufgebaut:

ID:

fortlaufende Nummerierung, beginnend bei 1 – n für jede Zeile, dies kann erst am Schluss gemacht werden, wenn alle anderen Daten schon eingegeben sind und nicht mehr sortiert wird.

Agents:

Unter Agents muss die Anzahl Personen eingegeben werden, welche die gleiche Route innerhalb der gleichen Startzeit haben. Die Einsteiger sind mit dem Wert 1 hinterlegt, weil diese einzeln in das System kommen und mit einer grossen Streuung der Ankunftsverteilung. Bei Aussteigern, welche eine ähnliche Ankunftsverteilung haben (Zug hält an und die Personen steigen aus) und den gleichen Ausgang benutzen, können diese mit einer Anzahl hinterlegt werden, für die Umsteiger gilt die gleiche Mechanik, die Agenten, welche die gleiche Umsteigebeziehung haben, werden mit der Anzahl gewichtet. SimWalk verteilt die Aus- und Umsteiger automatisch über den Zug.

Level:

Für jeden Agenten muss das Level angegeben werden, auf dem dieser startet.

Start:

Unter Start wird je nach Typ (Einsteiger und Querler der Eintrittsort an einer KFMS – Messstelle; für Aussteiger und Umsteiger die Zug- und Gleisnummer) der Startpunkt definiert.

Waypoint:

Unter Waypoint (Ziel) wird je nach Typ (Einsteiger und Umsteiger die Zug- und Gleisnummer, für Aussteiger und Querler der Austrittsort an einer KFMS – Messstelle) der Zielpunkt definiert

Tmin: Tmax: Tdel: Tdept:

Wird bei den Agententypen erklärt

| | Tmin | Tmax | Tdel | Tdep |
|------------|-------|------|----------|------------|
| Einsteiger | Simba | KFMS | Fahrplan | Zeitmatrix |
| Aussteiger | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Umsteiger | Simba | KFMS | Fahrplan | Zeitmatrix |
| Querler | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | |
|---------------------|-------|------|----------|------------|
| Legende: | | | | |
| Beeinflusst: | Simba | KFMS | Fahrplan | Zeitmatrix |

Abbildung 70: Übersicht über die 4 Fussgängertypen bezüglich den Zeiteingaben in einem Ausschnitt des Agentenplan (Quelle: Moser)

Es ist aus der Abbildung 70 klar ersichtlich, wie die einzelnen Datensätze die Unterschiedlichen Agenten bezüglich zeitlichen Verhaltens beeinflussen.

Group:

Group ist eine Einstellung für Agenten, wie Shopper, die mehrere Ziele im Bahnhof anlaufen. Hier muss wie bei der ID die Nummer fortlaufend sein, jedoch für Agenten die mehrere Punkte anlaufen braucht es auch ebenso viele Zeileneinträge. Die Zeileneinträge, welche zum gleichen Agenten gehören, brauchen dann die gleiche Nummer. Spätestens ab dem Agent, der mehr als ein Zeileneintrag hat, weicht diese Nummerierung von der Nummerierung der ID ab.

Wtyp:

Kann Standardmässig auf 1 gesetzt werden.

Profile:

Es gibt verschiedene Agentenprofile welche einen Einfluss auf das Gehverhalten haben. Das 0 steht für Commuter, resp. Pendler. Alle Agenten wurden standardmässig auf 0 gesetzt. Profile muss dann auf -1 gestellt werden, wenn es ein Umsteiger ist.

Tvar:

Das ist die zeitliche Standardabweichung zum Beispiel wie pünktlich kommen die Züge im Bahnhof an. Wurde Standardmässig überall auf 0 gesetzt.

Tdel:

Tdel ist die Türschliesszeit der Züge, welche hier mit Sekundenangaben hinterlegt ist. In der Simulation wurde Standardmässig 2 gewählt.

Hcap:

und ordnet jeder einzelnen Person noch Attribute zu wie Alter, Gepäckstücke etc., welche ebenfalls einen Einfluss auf die Gehgeschwindigkeit haben.

O: & D:

O steht für Origin (Quelle) und D für Destination (Ziel). Jede Zugnummer und jeder Ein-sowie Ausgang, hat zusätzlich neben seinem eindeutigen Namen nochmals eine eindeutige ID. Das gleiche Objekt hat für O& D die gleiche ID.

Für diese Simulation, über zwei Stunden HVZ, wurden auf diese Weise 25'525 Zeilen konstruiert.

4.6.12.1 Einsteiger

Einsteiger sind Personen (20'188 an der Zahl), die von einer Schnittstelle Stadt/Bahnhof in das System kommen, um einen Zug zu besteigen. Aus den Simba – Daten ist bekannt, wie viele Personen in welchen Zug einsteigen. Anhand der Zugangsbelastung wurde diese Anzahl auf die 13 Zugänge verteilt. Jeder wird in eine Zeile geschrieben.

Tmin:

Dann wird in der Matrix die Wegzeit [s] vom entsprechenden Eingang zu dem entsprechenden Perron geholt - diese Zeit wird von der Abfahrtszeit abgezogen. Dann wird geschaut, ob es sich um einen Fernverkehrs- oder Regionalverkehrszug handelt. Ist es eine Fernverkehrsverbindung, wird auf die bereits gerechnete Zeit eine Zufallszahl [s] zwischen 1 – 20 Minuten und für den Regionalverkehr zwischen 1 – 10 Minuten, nochmals darauf abgezogen. Somit wird gewährleistet, dass die Einsteiger unabhängig von einander Eintreffen und die Zugangsbelastung trotzdem berücksichtigt ist.

Tmax

Für Tmax musste die Wegzeit von Eingang zu Perron hinterlegt werden.

Tdel:

Dort muss die Ankunftszeit des Zuges eingetragen werden

Tdept:

Bei Tdel musste die Abfahrtszeit des entsprechenden Zuges eingetragen werden

Für die Einsteiger wurde ein Makro geschrieben; befindet sich im Anhang mit Beschreibung.

Die anderen Werte wurden per Sverweis oder manuell eingepflegt.

4.6.12.2 Umsteiger

Umsteiger sind Personen welche von einem Zug in den andern wechseln und kommen über eine Zugnummer in das System und verlassen das System wieder durch eine Zugnummer. Wenn mehrere Agenten die gleiche Umsteigebeziehung nutzen, dann können diese Agenten in eine Zeile mit der Anzahl geschrieben werden, SimWalk verteilt diese dann zufällig über den Zug.

Tmin:

Ist die Ankunftszeit des Zuges in dem der Umsteiger in den Bahnhof kommt.

Tmax

Ist die Abfahrtszeit des Zuges mit dem der Umsteiger in den Bahnhof kam.

Tdel:

Ist die Ankunftszeit des Zuges mit dem der Umsteiger weiterreisen will.

Tdept:

Ist die die Abfahrtszeit des Zuges mit dem der Umsteiger das System verlässt.

Die Umsteiger wurden durch Filtern und Sverweise manuell erstellt.

4.6.12.3 Aussteiger (44903)

Aussteiger sind Personen, welche am Zielort angekommen sind und von einem Zug als Startpunkt das System Bahnhof an einer Schnittstelle Bahnhof/ Stadt verlassen.

Aus den Simba Daten ist bekannt, wie viele Personen aus welchem Zug aussteigen. Anhand der KFMS - Daten ist die Belastung der Ausgänge in fünf – Minutentranchen bekannt. Die Aussteiger sind in einer Matrix hinterlegt, welche die Zuteilung der Anzahl totalen Aussteiger, jeweils zur Zeit der Zugankunft, Prozentual über die Zugänge verteilt. Somit wurden für jeden der 170 Züge, jeweils die 13 Ausgänge in Spalte „Waypoint“ geschrieben und dann mit den Zahlen aus der Matrix abgefüllt in die Spalte „Agents“ abgefüllt.

Tmin:

Ist die Ankunftszeit des Zuges in dem der Aussteiger in den Bahnhof kommt.

Tmax

Ist die Abfahrtszeit des Zuges mit dem der Aussteiger in den Bahnhof kam.

Tdel:

Wert kann auf 0 gesetzt werden.

Tdept:

Wert kann auf 0 gesetzt werden.

Die Aussteiger wurden durch Filtern und Sverweise manuell erstellt.

4.6.12.4 Querer / Shopper (6500)

Es wurde ein Makro erstellt, welches die Menge der Eintretenden und Austretenden Querer kopiert und verteilt diese über einen jeweiligen Prozentschlüssel von den entsprechenden Eingängen auf die entsprechenden Ausgänge. die Daten Anzahl, Zeit und Ein- respektive Ausgang wird in die entsprechenden dimensionierten Variablen gespeichert und in eine separates Blatt geschrieben nach ca. 500 Datensätzen werden diese gefiltert, um die Relation Ein- und Ausgang zu nullen.

Das Makro mit Beschreibung befindet sich im Anhang.

Tmin:

Ist die Eintrittszeit durch eine Schnittstelle im Bahnhof.

Tmax

Ist die Austrittszeit durch eine Schnittstelle im Bahnhof

Tdel:

Wert kann auf 0 gesetzt werden.

Tdept:

Wert kann auf 0 gesetzt werden.

4.6.12.5 Zusammenfügen der vier Personentypen

Die vier Fussgängertypen der Simulation wurden jeweils separat erstellt und am Schluss in ein Excelsheet eingetragen, nach Ankunftszeit der Züge aufsteigend sortiert und dann noch die ID eingetragen sowie die restlichen Parameter wie oben beschrieben gesetzt.

4.7 Verifizierungen der Simulation

Da die Simulation im „Display mode“ deutlich langsamer läuft als im Batchmode (Screenupdate = false), wurden die Simulation von 06.23 - 06.50 Uhr im Display mode laufen gelassen, um zu verifizieren, ob die Parameter in SimWalk richtig eingestellt wurden. Die folgenden Punkte wurden verifiziert:

- Kommen die richtigen Züge, zur richtigen Zeit, auf das richtige Gleis?
- Halten die Züge am richtigen Ort an?
- Fahren die Züge im Bahnhof Löwenstrasse und Museumsbahnhof von der richtigen Seite ein?
- Findet der Fahrgastwechsel statt?
- Verhalten sich die Agenten logisch im System?
- Können die Agenten zwischen den Ebenen wechseln?
- Erreichen die Agenten ihr Ziel?

Diese sieben Punkte wurden auf der Ebene "Oben" (6) und auf der Ebene "Unten" (0) überprüft sowie die Ebene "Mitte" (2) bezüglich den Agentenwegen.

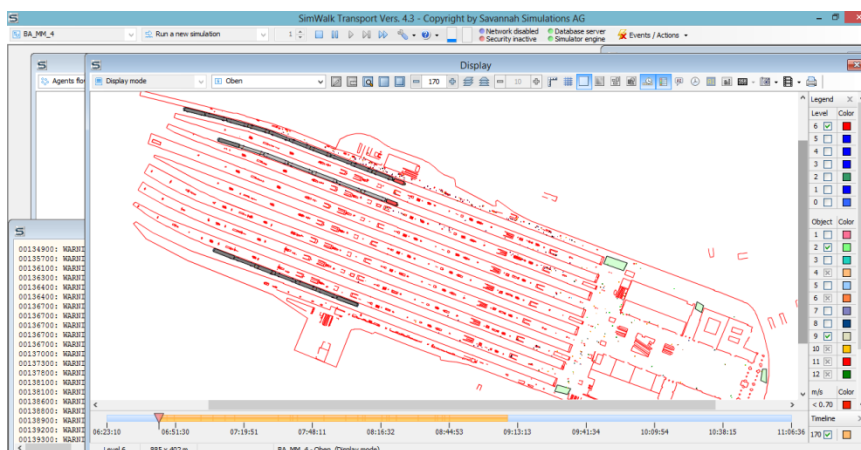


Abbildung 71: Simulationszeit um ca. 06.45 in der Halle (Quelle: Moser)

Die Abbildung 72 zeigt die drei Züge: ICN (10013) fährt auf Gleis 4 ein, der IC (1008) fährt auf Gleis 18 ein und der IR (2010) auf Gleis 15. Sie halten am rechten Ort.

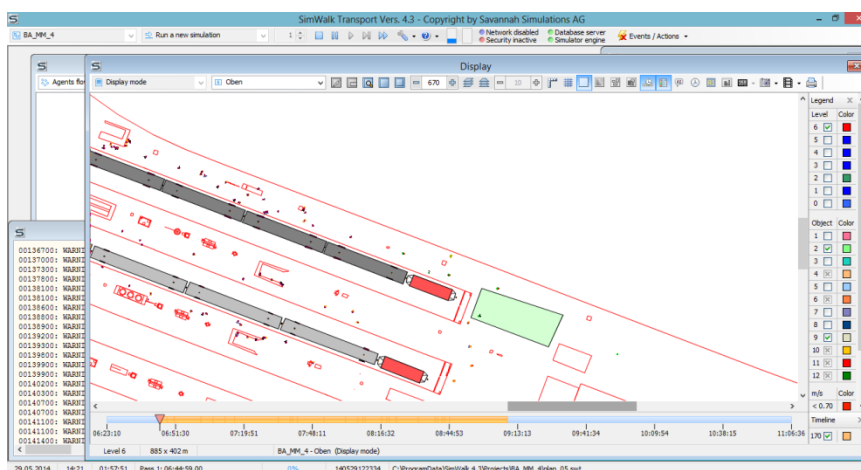


Abbildung 72: Die Züge halten in der Halle beim Puffer (Quelle: Moser)

Der Fahrgastwechsel zwischen Perron 4 und dem ICN verläuft korrekt. Die Agenten beginnen sich auf den verschiedenen Perron zu verteilen, um auf die Züge zu warten oder verlassen den Bahnhof an der entsprechenden Stelle (Abbildung 73). Die Agenten verteilen sich in der Anlage und verhalten sich logisch bei der Routenwahl. Die Ebenen werden wie vorgesehen gewechselt (Abbildung 74).

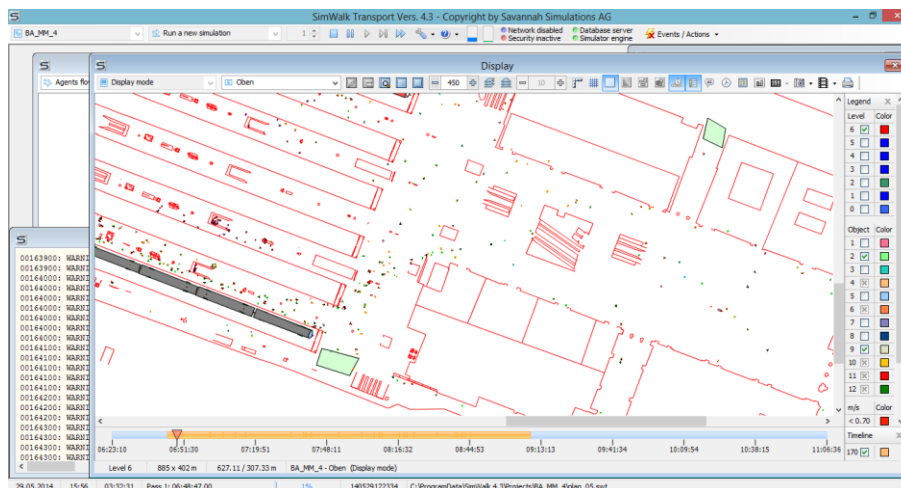


Abbildung 73: Fahrgastwechsel zwischen Perron 4 und dem ICN (10013) funktioniert (Quelle: Moser)

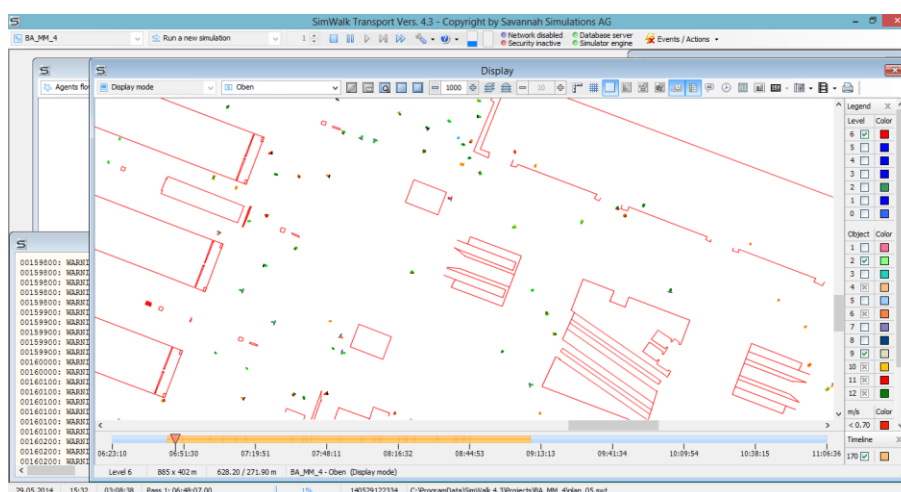


Abbildung 74: Die Agenten wechseln die Ebenen wie geplant (Quelle: Moser)

Im Bahnhof Museumstrasse funktioniert der Fahrgastwechsel. Ebenfalls fahren die Züge von der korrekten Seite ein und verlassen den Bahnhof in die korrekte Richtung (Abbildung 75). Die Agenten warten in der entsprechenden Wartezone auf den nächsten Zug (Abbildung 76). Die Halteorte stimmen mit den Haltorttafel und den hinterlegten Halteorten überein (Abbildung 77).

Analyse und Simulation der Personenflüsse am Bahnhof Zürich

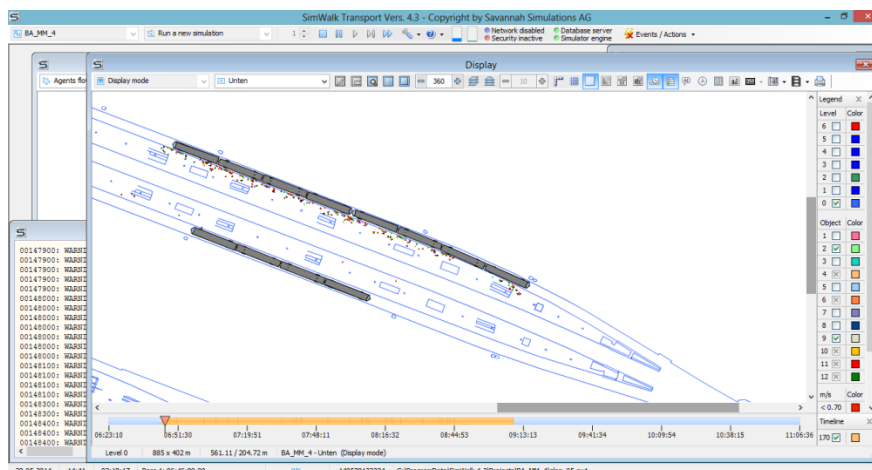


Abbildung 75: Fahrgastwechsel am Bahnhof Museumstrasse (Quelle: Moser)

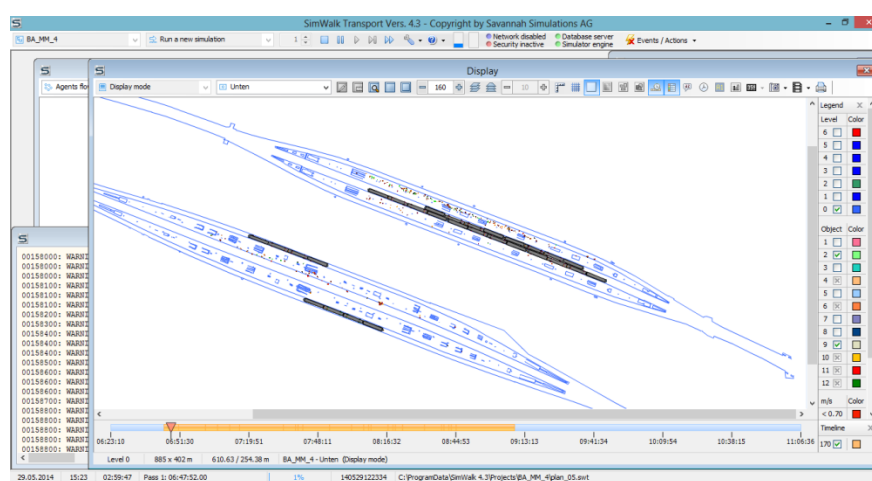


Abbildung 76: Die Züge fahren von der korrekten Seite ein und die Agenten warten in der richtigen Zone auf den nächsten Zug (Quelle: Moser)

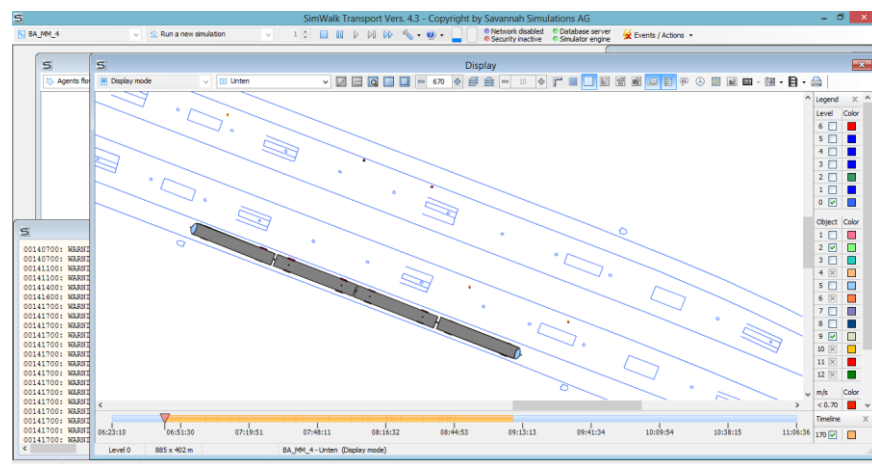


Abbildung 77: Die Züge kommen an den richtigen Halteorten zum stehen (Quelle: Moser)

Die Simulation verhält sich korrekt in dem betrachteten Zeitraum und die definierten Parameter werden eingehalten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Simulation über die ganze Zeit in der gleich guten Qualität ablaufen wird. Dies wird in den Resultaten sichtbar gemacht.

5 Resultate

Output aus SimWalk

Die Resultate zeigen deutlich die Orte mit hoher Flächenbelastung, das heisst kritische Punkte wo es zu Stau oder Konflikten kommen kann, die den Personenfluss einschränken. Dort befinden sich Ansatzpunkte, welche durch architekturbedingte Massnahmen oder durch Kundenlenkungsmassnahmen angegangen werden können.

Die Simulation deckt den Zeitraum von 06.23 bis 08.45 Uhr ab und beinhaltet 89'809 Agenten die Ein-, Aus-, Umsteigen oder den Bahnhof ohne Reisezweck queren. Davon sind 20'188 Einsteiger, 44'903 Aussteiger, 18'218 Umsteiger und 6'500 Querere (ohne Shopper). Es gibt 170 Züge, davon 64 Fernverkehrszüge in der Halle und 106 Regionalverkehrszüge in den Bahnhöfen Löwenstrasse und Museumstrasse. Die 24 modellierten Gleise sind mit 24 Perronkanten hinterlegt, an denen der Fahrgastwechsel stattfindet. In dem in der Arbeit definierten Perimeter, gibt es 64 Treppen und 87 Rolltreppen, diese werden in der Simulation mittels 600 Elementen abgebildet, um die Ebenen miteinander zu verbinden. Es gibt vier Hauptebenen, Unten (1): die Bahnhöfe Löwenstrasse und Museumstrasse, Mitte (2): mit allen Passagen, Hallen und RailCity, Zwischengeschoss (3): verbindet die Bahnhofshalle mit der RailCity und Oben (4): mit den Hallen-Gleisen und der Bahnhofshalle. Für die Simulation mussten Zwischenebenen modelliert werden, so dass die Agenten (Personen) zwischen den Ebenen wechseln können. Somit besteht die Simulation aus sieben Ebenen. Es gibt 13 Zu- und Abgänge (Schnittstellen Stadt/Bahnhof) und 170 Züge, welche die Start- oder Endpunkte von Agenten sind. Ein Simulationslauf dauerte 37.5 Stunden für den genannten Zeitraum von rund 2 Stunden Simulationszeit und generiert 69.5 Millionen Trajektorienpunkte (in der vorliegenden Arbeit definiert durch Zeitpunkt sowie x-, y- und z – Koordinate; weiteres dazu siehe im nächsten Abschnitt). Mit sehr engagierter Unterstützung des Dozenten Herr A. Steiner des IDP, war es möglich, diesen grossen Datensatz (rund 12 GB) auszuwerten.

Trajektorien

Der Begriff Trajektorie wird in verschiedensten Gebieten der Wissenschaft verwendet (z.B. Mathematik, Physik). Im Kontext der Fussgängersimulation wird mit dem Begriff Trajektorie die zeitlich-räumliche Abfolge von Positionen eines Fussgängers (mit eindeutiger Identifikationsnummer, ID) beschrieben. Konkret bedeutet dies, dass für jeden Fussgänger für den Zeitraum, in dem er sich im System befindet, die Zeit und die zugehörige Position im dreidimensionalen Raum (x-, y- und z-Position) gespeichert wird. Mittels der Trajektorien eines Fussgängers kann der zurückgelegte Weg analysiert werden.

5.1 Gesamtsicht auf den Bahnhof Zürich

Abbildung 78 zeigt alle Trajektorien der Agenten übereinander gelegt, welche sich von 06.45 – 08.45 Uhr im gesamten System bewegten.

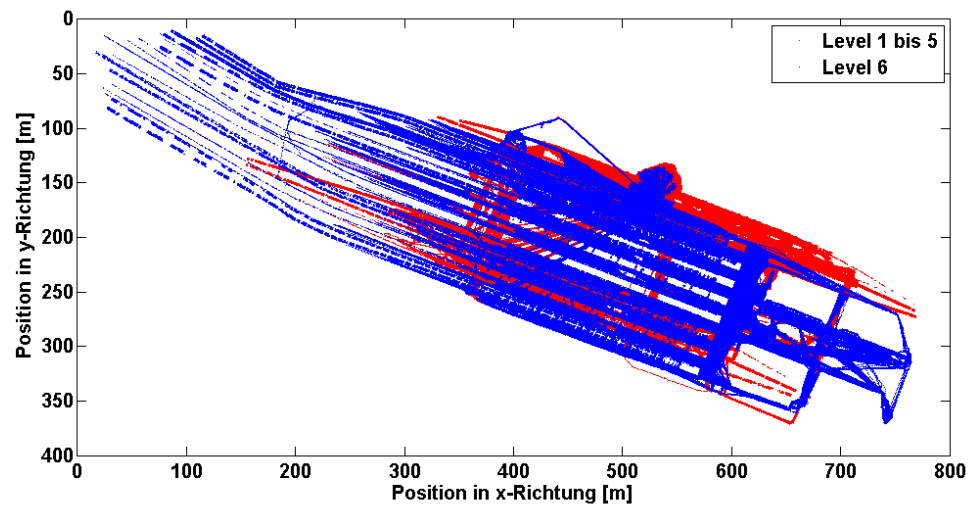


Abbildung 78: Alle Agenten mittels Trajektorien auf gesamter Anlage abgebildet (Quelle: Moser)

Ausschnitt Hallengleise Seite
Puffer und vordere Bhf.- Halle

Die blauen Trajektorien wiedergeben die Bewegungen der Agenten auf der oberen Ebene (Halle), die roten Trajektorien zeigen die Bewegungen der Agenten auf der mittleren und unteren Ebene, resp. RailCity, Hallen und Passagen sowie die Bahnhöfe Löwenstrasse und Museumstrasse. Das Bild der Trajektorien, zeigen den physischen Rahmen des Bahnhofs Zürich exakt auf.

Beim Hineinzoomen in dem Teilbereich des Perronanfangs der Halle, in Abbildung 79 dargestellt, sind beispielsweise bei (1.) vereinzelte Fusswege auszumachen.

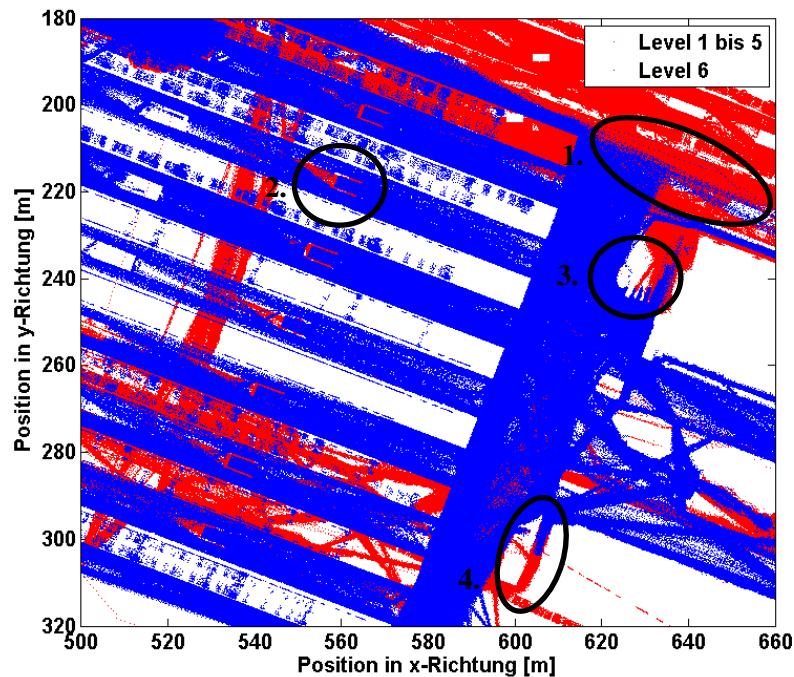


Abbildung 79: Alle Agents im Teilbereich Perronanfang der Halle (Quelle: Moser)

Je dichter die Farbe, desto mehr Agenten haben diese Fläche passiert. Bei (2.) ist deutlich die Begrenzung des Treppenabgangs (U – Shape) in die Gessnerallee erkennbar, denn in diesem Bereich können sich keine Agenten aufhalten, ebenso wie auch beispielsweise am ovalen Infopoint (3.) in der Halle. Erkennbar ist auch der Treppenübergang im Bereich (4.), denn der blaue Strom führt in die Mitte auf eine Zwischenebene und übergibt dann die Agenten von der Zwischenebene auf die mittlere Ebene, dort wechselt die Farbe des Stroms auf rot.

5.2 Bewertung LoS für Teilbereich Perronanfang Halle

LoS statisch

Die LoS (Level of Service) sind ursprünglich diskrete Werte, welche in einer kurzen Zeitspanne erhoben werden und die Momentaufnahme einer definierten Fläche zeigen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden aus zeitlichen und rechentechnischen Gründen gemittelte und approximierete LoS-Werte berechnet. Trotz dieser Vereinfachungen kann die räumliche Belastung der Anlage sehr gut beschrieben werden.

LoS dynamisch

Für die Auswertung der LoS wurde der Ausschnitt der Hallengleise auf Seite Puffer sowie dem vorderen Teil der Bahnhofhalle gewählt, da eine Auswertung über den ganzen Bahnhof für die LoS – Qualität einen zu grossen Rechenaufwand dargestellt hätte. Die Ergebnisse sind aber repräsentativ für die gesamte Anlage. In nachfolgenden Arbeiten wird dann das exakte Berechnungsverfahren (siehe z.B. Steiner und Philip (2007) und Referenzen darin) angewendet.

Abbildung 80 zeigt die physikalische Situation des ausgewählten Abschnitts für die LoS - Berechnungen.

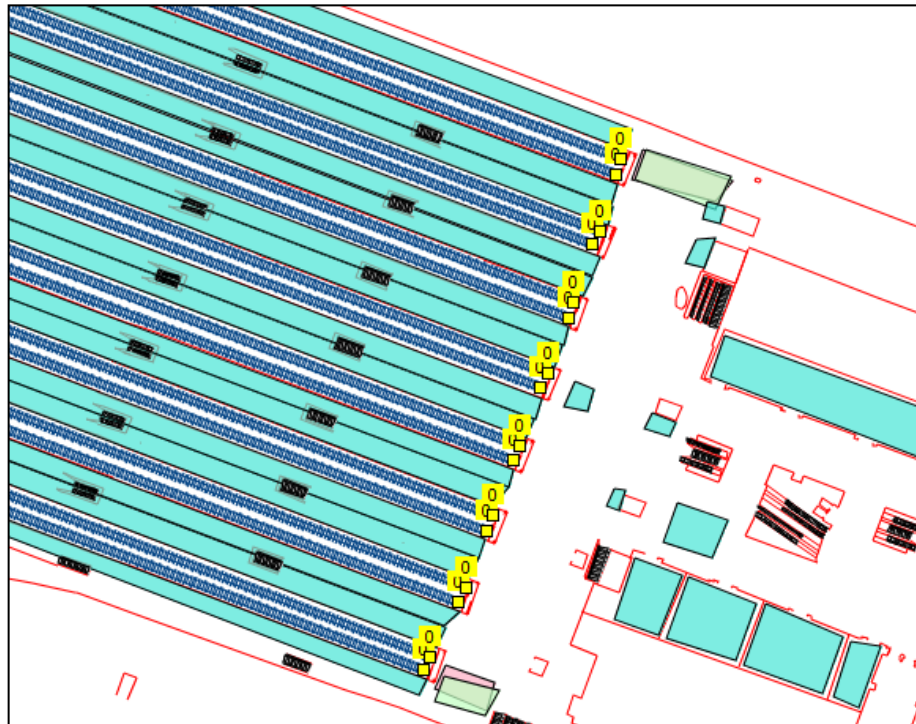


Abbildung 80: Betrachteter Perimeter, wie dieser in SimWalk modelliert wurde (Quelle: Moser)

Auf Abbildung 80 sind die modellierten Treppen/ Rolltreppen, sowie die Gleise erkennbar. Die türkisarbenen Flächen auf den Perrons entsprechen den modellierten Zonen, auf welchen die Agenten den Fahrgastwechsel machen oder Agenten auf den Zug warten. Die türkisarbenen Flächen in der Halle, entsprechen den Verkaufsflächen, diese wurden jedoch in dieser Simulation nicht benutzt resp. im Agentenplan nicht als aktive Orte für Agenten geplant. Abbildung 81 soll als Leihilfe für die nachfolgende Abbildung 82 dienen.

Ermittlung der LoS

Um die Auswertung der Trajektorien nach LoS durchzuführen, wurde für den Ausschnitt (x: 500 - 660 Meter und y: 180 – 320 Meter) der oberen Ebene Zellen von der Grösse einem Quadratmeter (1 Meter mal 1 Meter) gebildet (entspricht 22'400 Zellen). Je Zelle wurde die Anzahl Agenten aufsummiert, welche sich in den zwei Stunden innerhalb dieser Zellen befanden. Danach wurde die Zelle mit dem höchsten Wert bestimmt und die Werte aller anderen Potentialzellen durch diesen Maximalwerte dividiert. Damit wurde eine Normierung der Werte auf den Bereich 0 bis 1 erreicht. Aus dieser normierten, angenäherten Dichte d wurde anschliessend das LoS mittels der einfachen Transformation $d^{0.4}$ approximiert und schliesslich mit dem Wert 6 (für die sechs LoS (A – F)) multipliziert. Damit können die Werte zwischen 0 – 1 dem LoS A, 1 – 2 dem LoS B, 2 – 3 dem LoS C, 3 – 4 dem LoS D, 4 – 5 dem LoS E und 5 – 6 dem LoS F zugewiesen werden. Somit sind die LoS der Simulation gemittelte und approximierte Werte. Für eine korrekte Berechnung sind die exakten Dichtewerte je Zeitintervall (z.B. 30 Sekunden) zu bestimmen und anschliessend gemäss Weidmann (1992) in die LoS zu transformieren.

Die approximierten LoS-Werte für den in Abbildung 80 beschriebenen Perimeter, werden in Abbildung 81 dargestellt.

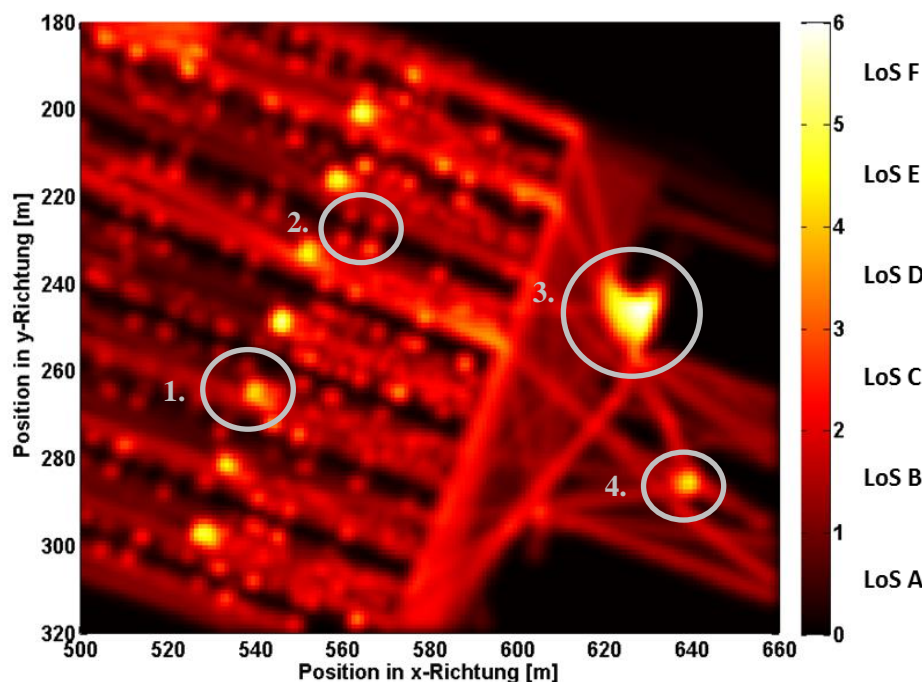


Abbildung 81: Level of Service bei Perronanfang Halle (x: 550 – 660 Meter und y: 180 – 320 Meter) (Quelle: Moser)

Aus Abbildung 81 sind deutlich die Wegrouten der Agenten zu erkennen. Eben falls sind auch die starken Belastungen bei den Treppenabgängen (1.) auf den Perrons gut sichtbar. Ebenfalls deutlich zu erkennen sind die Einstiegstüren. Bei (2.) sind vier Punkte erkennbar, die zwischen den Perronkanten und den Gleisen liegen. Dort befinden sich die Einstiegstüren und zeigen die Wartesituation der Agenten beim Ein- oder Umsteigen auf. Der Abgang (3.) in der Halle, über die RailCity zu dem Bahnhof Museumstrasse, weist eine sehr hohe Dichte auf. Dieser Ausschnitt wird weiter unten genauer betrachtet. Bei (4.) befindet sich die Rolltreppe die von der Halle in die Railcity führt. Von dort kommen bzw. gehen Agenten auf entsprechenden Pfaden zu andern Punkten im System.

Übersicht LoS

| Level of Service | Personendichte [P/m ²] | Anzahl Personen auf 100m ² | Farbeintensität |
|------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| LoS A: | 0 - 0.15 | 0 - 15 | |
| LoS B | 0.15 – 0.25 | 15 - 25 | |
| LoS C | 0.25 – 0.40 | 25 - 40 | |
| LoS D | 0.40 – 0.70 | 40 - 70 | |
| LoS E | 0.70 – 1.50 | 70 - 150 | |
| LoS F | > 1.50 | > 150 | |

Tabelle 20: Übersicht über die Level of Service (LoS) mit Farbstufen

Die Tabelle 20 dient als Lesehilfe für die Abbildung 81 und Abbildung 82.

Die Situation aus der Abbildung 82 bei **3.** wird nochmals vergrössert betrachtet, da dieser eine sehr grosse Personendichte aufweist.

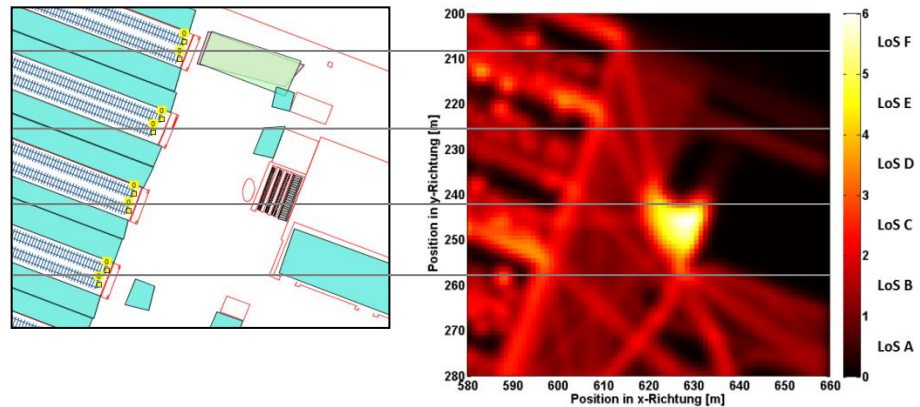


Abbildung 82: Perimeter Abgang Halle zu RailCity modelliert und nach LoS (x: 580 - 660 Meter und y: 200 - 280 Meter) (Quelle: Moser)

Abbildung 82 zeigt, dass beim Treppenabgang und dem ovalen Infopoint, eine sehr hohe Personendichte entsteht. Das ist kann ein möglicher Hotspot sein, der heute schon während den Spitzenzeiten an die Kapazitätsgrenze stösst.

5.3 Aufenthaltsdauer aller Agenten im System

Die Aufenthaltsdauer (y-Achse) der Agenten (x-Achse) wird in Abbildung 83 mit der Farbe blau für Eintrittszeitpunkt und der Farbe rot für den Austrittszeitpunkt festgehalten.

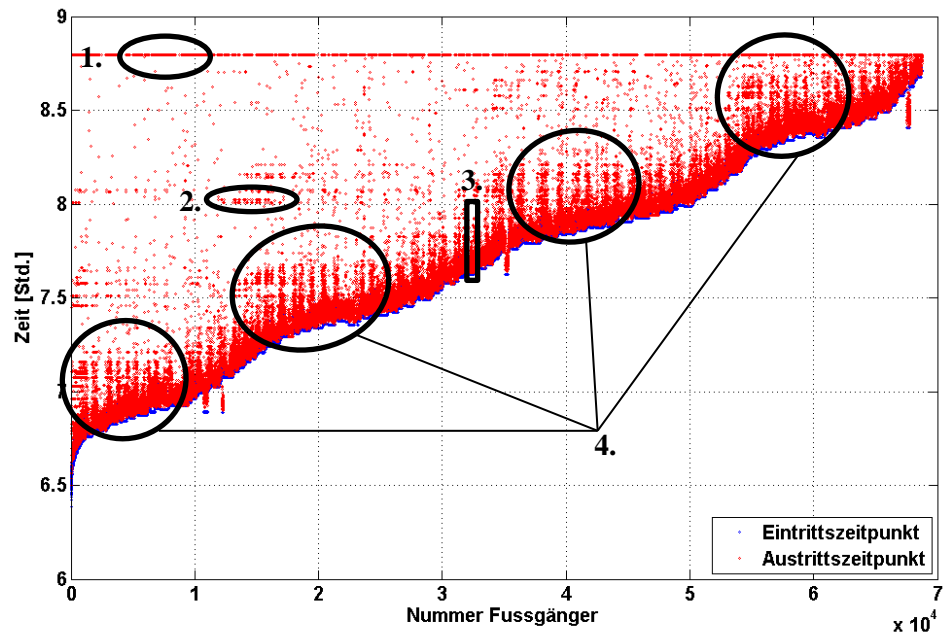


Abbildung 83: Eintritts- und Austrittszeitpunkt aller Agenten in das System (Quelle: Moser)

Die blauen Linien, welche waagrecht verlaufen, bedeuten, dass ein Zug angekommen ist und Aus- und Umsteiger (die einen gleichen oder sehr ähnlichen Eintrittszeitpunkt haben) im Bahnhof angekommen sind und sich dann auf den Weg zu ihrem definierten Ziel machen. Je länger ein blauer Strich waagrecht verläuft, desto mehr Aus- und Umsteiger waren im Zug, desto dicker die blaue Linie ist, desto wahrscheinlicher, dass zur gleichen oder ähnlichen Zeit mehr als ein Zug im Bahnhof angekommen ist.

Bei **(1)** ist ersichtlich, dass Agenten im System „hängen“ bleiben, dieser Fehler kann hervorgerufen werden, durch Hindernisse, welche die Agenten nicht umgehen können. Aus der Grafik ist jedoch anzunehmen, dass dies am Anfang der Simulation geschieht und dann über die Zeit nicht mehr zunimmt. In der Punktwolke bilden sich viele kürzere, waagrecht verlaufende, rote Linien, wie beispielsweise in **(2)**. Dies sind Ein- oder Umsteiger, die ihren Zielzug erreicht haben. Als Beispiel für die Aussteigerverteilung dient der Ausschnitt **(3)**, die waagrechte blaue Linie zeigt, dass ein Zug ankommt und Agenten die aussteigen. Aufgrund der unterschiedlichen Weglängen zu dem hinterlegten Ausgang, benötigen die Agenten unterschiedliche Weglänge zu einem der 13 hinterlegten Ausgänge. Bei **(4)** lässt sich beobachten, dass die roten (senkrechten) Linien deutlicher und länger sind. Dies ist der Einfluss der S-Bahnen, die ca. 70% der 170 Züge ausmachen, welche Zu- und Abbringer für den Fernverkehrstakt (volle und halbe Stunde) sind.

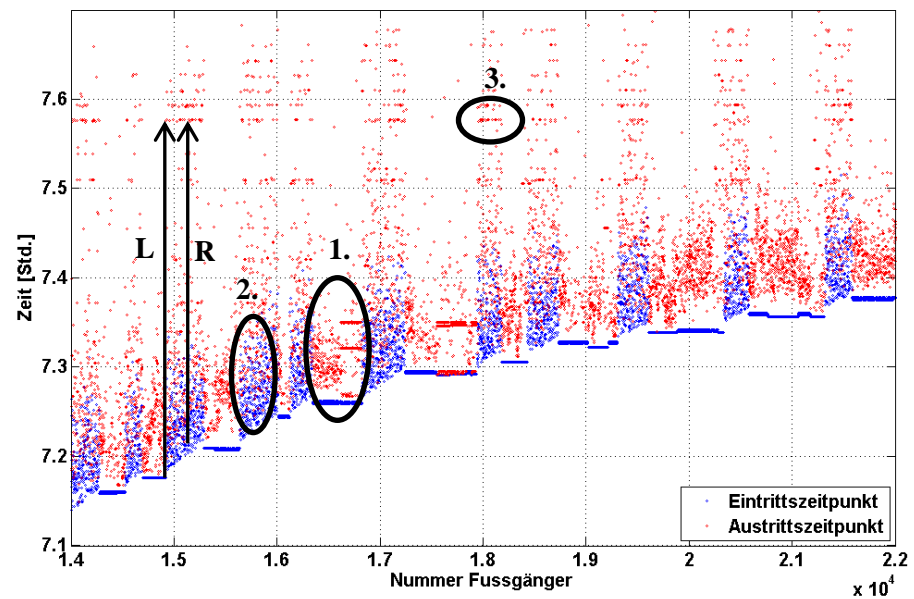


Abbildung 84: Ausschnitt über 8'000 Agenten im Zeitraum von 07.06 - 07.48 (Quelle: Moser)

Der Ausschnitt der Abbildung 84 gibt ein noch deutlicheres Bild über das Verhalten der Agenten. Betrachtet man die beiden Pfeile ist der Linke (**L**) ein potentieller Umsteiger und der Rechte (**R**) ein Einsteiger. Die Punktwolke bei (**1.**) zeigt Aussteiger und Umsteiger, während die Punktwolke bei (**2.**) Einsteiger und Querer markiert. Bereich (**3.**) bildet Umsteiger und Einsteiger ab, die ihren Zug erreicht haben.

5.4 Agentenpfad

Die Trajektorien der Agenten (nur Agenten mit Nummer 13'000 bis 14'500) zeichnen im dreidimensionalen Raum ein ziemlich gutes Bild des Bahnhofs Zürich nach. Dies bedeutet, dass sich die Agenten auf den vorgesehenen, modellierten Flächen korrekt bewegen.

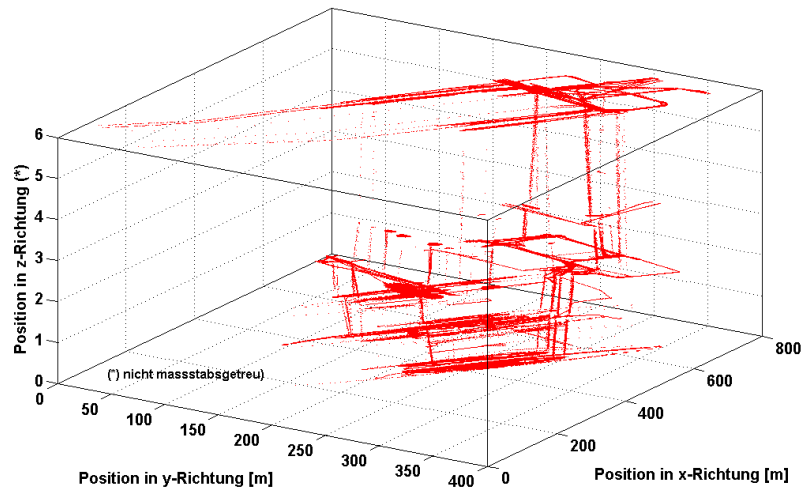


Abbildung 85: Die Trajektorien im dreidimensionalen Raum (Quelle: Moser)

Eine Auswertung mit mehr Daten im dreidimensionalen Raum würde ein sehr gutes Bild über die Routenwahl über mehrere Ebenen geben, vor allem über die Verteilung der Agenten über Treppen und Rolltreppen. Ist aber in diesem Rahmen bezüglich der langen Rechendauer zu Aufwändig. Dies könnte eine Ausgangslage für weiterführende Arbeiten sein.

6 Diskussion und Ausblick

Resultate

6.1 Diskussion

Da ein Simulationsrun 37.5 Stunden dauert, war aufgrund der knappen Zeit nur ein Simulationslauf möglich. Doch die erzielten Resultate aus Kapitel 5 erschienen mir, als regelmässiger Pendler am Bahnhof Zürich, sehr plausibel. Die aufgezeichneten und übereinandergelegten Trajektorien der Agenten, zeigen sehr deutlich die Strukturen des Bahnhofs Zürich mit den Geh- und Sperrflächen. Anhand der Farbtintensität der Flächen, kann eine Abschätzung über die Dichte und die Häufigkeit der Routenwahlen gemacht werden. Die LoS in den Abbildungen widerspiegeln für mich das, was ich regelmässig am Bahnhof Zürich aber auch an anderen Grossbahnhöfen erlebe. Es ist klar, dass eine Publikumsanlage bei der Dimensionierung nicht auf die Spitzenlast ausgelegt werden kann, jedoch braucht es kurz- bis mittelfristig gute Konzepte, um die Qualität der Personenflüsse auf öffentlichen Flächen zu gewährleisten.

Es kann aber gesagt werden, dass die erzielten Ergebnisse bereits von guter Qualität sind und eine solide Basis für die diversen geplanten, weiterführenden Arbeiten bilden.

Fehler in der Simulation

Eine komplexe Simulation in dieser Grössenordnung und in der kurzen Zeit zu erstellen, war eine sehr grosse Herausforderung und es können sich entsprechend kleine Fehler einschleichen. Auf dem Plot der Gesamtsicht (Abbildungen 78) ist erkennbar, dass vermutlich auf einer Zwischenebene an fünf Stellen kleine Lücken bei den Treppenumrandungen vorhanden sein müssen, denn dort gibt es abkürzende Querverbindungen, die von einem kleinen Teil der Agenten genutzt wird. Es gibt zudem den Fehler, dass es ein paar Stellen gibt (vermutlich bei Treppenabgängen), bei denen Agenten hängen bleiben und nicht weiter kommen.

6.2 Ausblick

Die zentralen Ziele dieser Bachelorarbeit konnten erreicht werden. Die funktionsfähige Simulation über zwei Stunden HVZ am HB Zürich mit 170 Zügen und ca. 90'000 Agenten zeigt sehr plausible Resultate.

Die offenen Punkte dieser Arbeit, sind:

- das Beheben der noch vorhandenen Fehler, welche auf dem Layout – dem physikalischen Rahmen in der sich die Simulation abspielt –, vorhanden sind. Ebenfalls müssen einige Treppenaufgänge komplett neu gezeichnet werden, denn die aktuelle Version von SimWalk kann Treppen und Rolltreppen nur in vordefinierten Winkeln in die Simulation legen, welche nicht immer mit den Winkeln der Zeichnungen übereinstimmen. Wenn die modellierten Treppen/ Rolltreppen nicht ganz sauber den Rand abschliessen, besteht die Gefahr, dass Agenten in den U-Shapes hängen bleiben.
- das Kalibrieren und Validieren des Modells mit realistischen, realen Daten um den Nachweis zu erbringen, dass die Simulation zuverlässige Ergebnisse liefert (Im Moment gibt es keine Daten).
- weitere Untersuchungen und Analysen, welche mit dem Modell durchgeführt werden können.

Der Kontakt mit Herr A. Steiner und Herr Dr. M. Dettling wird auch nach dieser Bachelorarbeit bestehen bleiben um gemeinsam am Thema weiter zu arbeiten.

Weiterbearbeitung des Themas:

- 1) über den Sommer 2014 werde ich die Fehlerquellen ausmerzen, so dass die Agenten keine falschen Wege einschlagen können. Damit sollte ab September ein gute Basis vorhanden ist um das Thema weitere Arbeiten durchzuführen zu können. Weiter stelle ich mich gerne zur Verfügung als Industriepartner um Projekt-, Bachelor- und Masterarbeiten zum Thema Personenflüsse zu betreuen. Gerne stelle ich meine Erfahrungen, die ich mit SimWalk sammeln konnte zu Verfügung.
- 2) Weitere PA und BA für Studierende der SoE (ab September 14). Aktuell gibt es mehrere VS-Studenten, die diese Arbeit weiter führen wollen. Themen für weiterführende Arbeiten können sein:
 - Wechselwirkung zwischen den drei Bahnhöfen im Gesamtsystem HB mit Fernverkehrszügen im Bahnhof Löwenstrasse
 - Sättigungsgrenze der Flächen in Anbetracht der steigenden Anzahl der Querer des Bahnhofs (gehen durch den Bahnhof nur zum Einkaufen oder nutzen den Bahnhof als verbindendes Element zwischen Stadtquartieren)
 - Optimale Gleisbelegung unter dem Aspekt der Personenflüsse
 - Haltortoptimierungen im Bahnhof Löwenstrasse und Bahnhof Museumstrasse mittels dynamischer Prüfung
 - Kalibrieren, Validieren und Optimieren des Modells
- 3) Bearbeitung im Rahmen des laufenden KTI-Projektes mit SimWalk (Projektbezeichnung: „Ausbau der Marktposition von SimWalk durch Entwicklung neuer Verhaltensmodelle zur Simulation von Personenströmen, eines Cloud-Computing-Frameworks und eines optimierten Ertragskonzeptes“, KTI-Projektnummer: 14649.1 PFES-ES). Diese Bachelorarbeit wird einen Testcase für das neue SimWalk Transport bilden. SimWalk Transport wird in Zusammenarbeit mit dem IDP der ZHAW weiterentwickelt und ein neuer Release, mit komplett neuen Verhaltensmodellen, einem neuen GUI und neuen Funktionen sowie Optimierungen in Bezug auf Performance, soll etwa in Q1/2015 auf den Markt kommen.
- 4) Ein Masterstudent plant die Auswertung von Videodaten, welche am HB Zürich erfasst werden sollen. Mit den gewonnenen Ergebnissen kann das Modell validiert werden.
- 5) Mit dem validierten Modell, kann die ZHAW, die Stadt Zürich wie auch die SBB verschiedene realistische Szenarien modellieren, welche Aufschluss über mögliche zukünftige Entwicklung im und um den Bahnhof geben und wie sich Optimierungen auswirken können.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Thema der Personenflüsse immer stärker in den Fokus der Anlagebetreiber und Bahnbetrieb rücken wird. Knappe finanzielle Mittel und eine immer stärkere Nutzung/ Belastung des öffentlichen Raums braucht neue Konzepte und Ansätze. Realistische Modelle und Simulatio-

nen helfen, diese Ansätze frühzeitig hinsichtlich Wirkung zu prüfen und zu optimieren.

6.3 Lessons Learned

Vorgehen bei Simulationen

Ich konnte in kurzer Zeit ein sehr interessantes Produkt der Firma Savannah Simulations AG kennenlernen. Ich erhielt am 17.04 die SimWalk Transport Lizenz, wie auch die Bahnhofspläne im dxf.R12 Format. Somit hatte ich knapp sieben Wochen Zeit, vom Aufbau der ganzen Simulation bis zur Abgabe der Bachelorarbeit. Da ich immer die knappe Zeit vor meinen Augen hatte, versuchte ich oft auf Anhieb in einem grossen Wurf, die Elemente zu modellieren. Ich hätte mir viel Zeit sparen können, wenn ich die Simulation klein aufgebaut und regelmässig mit kurzen Tests überprüft hätte, ob meine Modellierung in SimWalk korrekt läuft.

Zeitmanagement

Bei Modellieren und Simulieren vergeht die Zeit im Flug und man verliert sie entsprechend schnell aus den Augen. Dadurch wurde es gegen Ende der Bachelorarbeit ziemlich stressig mit dem Generieren von Resultaten und dem Schreiben der Arbeit. Das nächste Mal würde ich in einer Situation, in der die Abschätzung des zeitlichen Aufwandes sehr schwierig ist, klare Meilensteine definieren mit vorbehaltenen Entschlüssen, wenn ein Meilenstein nicht termingerecht erreicht werden kann.

Datengrundlage

Schwierig war die Datengrundlage auf ein brauchbares Niveau zu bringen. Gerade bei den unvollständigen Bauplänen (Aktuell 05.06.14, befinden sich die neuen Elemente am Bahnhof noch im Bau) benötigte viel Zeit. Aber auch die unterschiedlichen Datenstände der einzelnen Datensätze, war ein Problem. So mussten die Simba - Daten von 2011 mit Fahrplandaten von 2013 abgeglichen werden. Das ging zwar, war jedoch wiederum mit viel Aufwand verbunden. Es wäre schneller gegangen, wenn ich mir mehr Zeit genommen hätte um die korrekten Daten aufzubereiten.

Persönliche Situation

Ein ebenfalls schwieriger Faktor war die private Situation mit dem Stellenwechsel und der zweimonatigen Übergangszeit, mit jeweils 50% der zur Verfügung stehenden Arbeitszeit an der alten Stelle und bei der neuen Stelle (mit Führungsverantwortung). Das nächste Mal würde ich in einer solchen Situation klare Prioritäten setzen.

7 Verzeichnisse

7.1 Quellenverzeichnis/ Literaturverzeichnis

BAV Admin (2013): FDV (Fahrdienstvorschriften) R 300.2 Signale A2012
<http://www.bav.admin.ch/grundlagen/03514/03533/03649/> [Stand: 04.12.2013]

Buchmüller Stefan und Weidmann Ulrich (2008): Handbuch zur Anordnung und Dimensionierung von Fussgängeranlagen in Bahnhöfen. Zürich: Im Auftrag der SBB

Bürgi Daniel, Moser Martin (2013): Optimierung der Personenflüsse am Bahnhof Zürich. Winterthur, ZHAW, IDP: Institut für Datenanalyse und Prozessdesign.

Dürig AG (2011): *Baustelle Bahnhof Löwenstrasse Zürich*. URL: <http://duerig.blogspot.ch/2011/02/baustelle-bahnhof-lowenstrasse-zurich.html> [Stand: 03.12.2013]

Fruin, John J. (1971): Pedestrian Planning and Design. New York: Elevator World.

GIS-ZH (2014) Geographisches Informationssystem des Kanton Zürich
http://www.are.zh.ch/internet/audirektion/are/de/geoinformationen/gis-zh_gis-zentrum.html [Stand 16.03.2014]]

Hosser Dietmar (2013): Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes. Altenberge: Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB) der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb)

Martin Walker, Nathalie Guinand (2011): *Zürich HB–Porträt eines faszinierenden Kosmos*. Faro: Zürich

Mathworks (2013): *Matlab. Die Sprache für technische Berechnungen*. URL: <http://www.mathworks.ch/products/matlab/> [Stand: 10.11.2013]

Mehdi Moussaid et al. (2010) The Walking Behaviour of Pedestrian Social Groups and its Impact on Crowd Dynamics. Universite de Toulouse Paul Sabatier. URL: <http://www.plosone.org/article/fetchObject.action?uri=info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0010047&representation=PDF> [Stand: 10.02.2014]

Nelson, H. und F. Mowrer (2002): Emergency Movement, In: The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. National Fire Protection Association, 3. Aufl.

Predtetschenski, W. M. und A. I. Milinski (1971): Personenströme in Gebäuden - Berechnungsmethoden für die Projektierung. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld.

SBB (2012): *SBB Netzzustandsbericht 2012. Nachholbedarf*. URL: <http://www.sbb.ch/sbb-konzern/medien/publikationen/nzb.html> [Stand: 13.10.2013]

SBB Konzern (2014): Kaderupdate. Faktenblatt zur DML. Bern: SBB, Konzern, interne Kommunikation. Quelle: (SBB, 2014)

SBB Personenverkehr (2013): *Fahrplanimprimat ZBP Fernverkehr*. Bern: SBB, Personenverkehr, Operating, Ressourcenmanagement, Planung Fahrzeugeinsatz. Quelle: (SBB, 2013).

Weidmann Ulrich (1993): *Transporttechnik der Fussgänger. Leistungsfähigkeit von Treppen*. (Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, 57-58). Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule.

Weidmann, Ulrich. (1995): Transporttechnik der Fussgänger, Transporttechnische Eigenschaften des Fußgängerverkehrs (Literaturauswertung). In: Schriftenreihe des IVT Nr. 90, Institut für Verkehrsplanung.

ZVV (2013): *Geschäftsbericht 2012. Kennzahlen Fahrplanjahr 2012*. URL: <http://www.zvv.ch/de/unternehmen-zvv/geschaeftsbericht.html> [Stand: 13.10.2013]

KuZuBa, (SBB 2011): Kundenzufriedenheit Bahnhöfe, Transportplus AG im Auftrag der SBB

7.2 Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Zürich HB Halle während der Abend HVZ (Quelle: SBB) | 1 |
| Abbildung 2: Wachstumsprognose 1985 bis 2007 und wirkliches Wachstum | 2 |
| Abbildung 3: Querschnitt HB Zürich mit den drei Bahnhöfen (Quelle SBB) | 3 |
| Abbildung 4: Übersicht Grobkonzept zum Vorgehen (Quelle: Moser) | 4 |
| Abbildung 5: Fundamentaldiagramm [Weidmann 1995]..... | 7 |
| Abbildung 6: Mittlere Geschwindigkeit für verschiedene Reisezwecke (Quelle: Weidmann)..... | 12 |
| Abbildung 7: Personenflüsse abgeleitet aus der Geschwindigkeit - Dichte Beziehung (Quelle: Buchmüller) | 12 |
| Abbildung 8: Überblick und Zusammenhang der Bahnhofnutzer (Quelle: SBB) | 14 |
| Abbildung 9: Vereinfachter Graph aus der Vorstudie der PA ohne Bahnhof Löwenstrasse (Quelle: Bürgi, Moser) | 16 |
| Abbildung 10: Kritische Gleise bezüglich Anschlussbrüche (Quelle Martin Moser) | 22 |
| Abbildung 11: Umsteigebeziehung und Anschlussbrüche Januar 2014 (Quelle: Moser) | 23 |
| Abbildung 12: Ebenenkonzept des HB für SimDraw (c) (Quelle: Moser) .. | 24 |
| Abbildung 13: Rot umkreist Zugänge, welche auf KFMS Basis die Ein- und Aussteiger anhand der Simba Daten in das System speist oder abzieht (Quelle: Moser) | 26 |
| Abbildung 14: Auszug aus dem zusammengestellten Fahrplan für die Simulation (Quelle: Moser) | 27 |
| Abbildung 15: Graphenmodell des HB Zürich mit den KFMS - Messstellen (Quelle: Moser) | 30 |
| Abbildung 16: Graphenmodell des HB Zürich mit den Knoten für Perron (Quelle: Moser) | 31 |
| Abbildung 17: KFMS - Messstellen am HB Zürich (rote Pfeile; für diese Arbeit relevant) (Quelle: Moser) | 34 |
| Abbildung 18: Ganglinien für die Ein und Ausgehenden an den 13 relevanten Messstationen (Quelle: Moser) | 35 |
| Abbildung 19: Prozentuale Verteilung der Eingehenden auf den Zugängen (Quelle: Moser) | 36 |
| Abbildung 20: Farbmatrix mit absoluten Zahlen der Eingehenden auf die Zugänge (Quelle: Moser) | 36 |
| Abbildung 21: Prozentuale Verteilung der ausgehenden auf den Zugängen (Quelle: Moser) | 37 |
| Abbildung 22: Farbmatrix mit absoluten Zahlen der Ausgehenden auf die Zugänge (Quelle: Moser) | 37 |
| Abbildung 23: Farbmatrix mit absoluten Zahlen der Umsteiger mit Simba - Daten (Quelle: Moser) | 38 |
| Abbildung 24: KFMS – Messpunkt Aufgang Sihlpost (1) (Quelle: Moser) | 39 |
| Abbildung 25: Umgebung HB (Radius 750m) mit relativer Belastung der Zugänge von 06:45 - 08:45 Uhr (Quelle: Moser)..... | 40 |
| Abbildung 26: Vergleich der 5 - Minuten - Blöcke Simba vs. KFMS (Quelle: Moser) | 41 |
| Abbildung 27: Matrix der KFMS - Schnittstellen mit relativer Verteilung in 5 - Min. - Blöcken für Eingehende (Quelle: Moser) | 43 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 28: Ausschnitt der Verteilung der Einsteiger auf die Zugänge (Quelle: Moser) | 43 |
| Abbildung 29: Der Bahnhof Zürich mit allen Elemente in Schrägansicht (Quelle: Moser) | 47 |
| Abbildung 30: Toolbox, um in SimWalk die dynamischen Elemente zu modellieren (Quelle: Moser) | 48 |
| Abbildung 31: Auswahlbox, um die zu bearbeitende Fläche zu wählen (Quelle: Moser) | 48 |
| Abbildung 32: Toolbox, um Simulationsparameter für SimWalk zu setzen (Quelle: Moser) | 49 |
| Abbildung 33: CAD - Ebenen, welche in SimDraw (c) zu den vier Hauptebenen zusammengefasst werden müssen (Quelle: Moser) | 50 |
| Abbildung 34: Fehler in den Zeichnung (offene Linien) mussten geschlossen werden (Quelle: Moser) | 51 |
| Abbildung 35: Die meisten Treppen/ Rolltreppenaufgänge mussten neu gezeichnet werden (Quelle: Moser) | 51 |
| Abbildung 36: Halle Löwenstrasse musste gezeichnet werden (Quelle: Moser) | 52 |
| Abbildung 37: Bauplan der Halle Löwenstrasse Gesamtsicht (Quelle: Dürig) | 52 |
| Abbildung 38: Die Halle Löwenstrasse als fertiges Element (Quelle: Moser) | 52 |
| Abbildung 39: Ausschnitt Passage Sihlquai ohne Halle Sihlpost (Quelle: Moser) | 53 |
| Abbildung 40: Baupläne der Firma Dürig zu der Halle Sihlpost (Quelle: Dürig) | 53 |
| Abbildung 41: Die Halle Sihlpost mit Anbindung an die Passage Sihlquai (Quelle: Moser) | 53 |
| Abbildung 42: Die Layer "Oben" und "Mitte" übereinander gelegt, um das Zwischengeschoss zu zeichnen (Quelle: Moser) | 54 |
| Abbildung 43: Das nachgezeichnete Zwischengeschoss (Quelle: Moser) | 54 |
| Abbildung 44: Die drei Layer "Oben", Zwischengeschoss und "Mitte" übereinander gelegt (Quelle: Moser) | 54 |
| Abbildung 45: Ebene 3 „Oben“ in SimWalk (c) | 55 |
| Abbildung 46: Die Ebene 2 „Zwischengeschoss“ in SimWalk (c) | 55 |
| Abbildung 47: Die Ebene 1 „Mitte“ in SimWalk (c) | 56 |
| Abbildung 48: Die Ebene 0 "Unten" in SimWalk (c) | 56 |
| Abbildung 49: Die Ebene 0, 1 und 3 übereinandergelegt, ergeben die wichtigsten Flächen für den Personenfluss | 56 |
| Abbildung 50: Bilden von Startareas in der Ebene Mitte (Quelle: Moser) .. | 57 |
| Abbildung 51: KFMS - Messstellen in der Halle (Quelle: Moser) | 57 |
| Abbildung 52: Die Startareas in SimWalk Transport anhand des Beispiels Halle .. | 57 |
| Abbildung 53: Modellieren der Transfer Areas für die Perrons (Quelle: Moser) .. | 58 |
| Abbildung 54: Transfer Areas für die Bahnhöfe Museumstrasse und Löwenstrasse (Quelle: Moser) | 58 |
| Abbildung 55: Nachzeichnen der Layer mit Geschäftseingänge (grüne Striche) (Quelle: Moser) | 59 |
| Abbildung 56: Als Beispiel die modellierten Verkaufsfläche in der Halle (Quelle: Moser) | 59 |
| Abbildung 57: Beispiel einer Treppenmodellierung (Quelle: Moser) | 60 |
| Abbildung 58: Optimaler Fall, um Treppen zu modellieren (mittlere Eben (grün) ist kongruent zu oberer Ebne (rot)) (Quelle: Moser) | 60 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 59: Die Aufgänge zwischen der mittleren Ebene (grün) und der oberen Ebene (rot) sind versetzt (Quelle: Moser) | 61 |
| Abbildung 60: Treppen führen von der oberen und der mittleren Ebene auf die blaue Zwischenebene (Quelle: Moser)..... | 61 |
| Abbildung 61: Ebenen in der Simulation mit den neuen Zwischenebenen (Quelle: Moser) | 62 |
| Abbildung 62: Gleise 3 - 18 in der Halle | 63 |
| Abbildung 63: Halteort nach FDV | 63 |
| Abbildung 64: Halteort für 100 Meter Züge nach FDV (Quelle: FDV) | 63 |
| Abbildung 65: Wegpunkte wurden an den Halteorttafeln ausgerichtet (Quelle: Moser) | 64 |
| Abbildung 66: Wegpunkte für die Bahnhöfe Löwenstrass und Museumstrasse (Quelle: Moser) | 64 |
| Abbildung 67: ICN Beispielbild und SimWalk - Modellabbildung (Quelle: Moser) | 66 |
| Abbildung 68: Erstellen der Züge in SimWalk (Quelle: Martin Moser): | 67 |
| Abbildung 69: Überblick, über die Datensätze und wie diese den Agentsplan beeinflussen (Quelle: Moser) | 68 |
| Abbildung 70: Übersicht über die 4 Fussgängertypen bezüglich den Zeiteingaben in einem Ausschnitt des Agentenplan (Quelle: Moser)..... | 69 |
| Abbildung 71: Simulationszeit um ca. 06.45 in der Halle (Quelle: Moser). 74 | |
| Abbildung 72: Die Züge halten in der Halle beim Puffer (Quelle: Moser).. 74 | |
| Abbildung 73: Fahrgastwechsel zwischen Perron 4 und dem ICN (10013) funktioniert (Quelle: Moser) | 75 |
| Abbildung 74: Die Agenten wechseln die Ebenen wie geplant (Quelle: Moser) 75 | |
| Abbildung 75: Fahrgastwechsel am Bahnhof Museumstrasse (Quelle: Moser) 76 | |
| Abbildung 76: Die Züge fahren von der korrekten Seite ein und die Agenten warten in der richtigen Zone auf den nächsten Zug (Quelle: Moser)..... | 76 |
| Abbildung 77: Die Züge kommen an den richtigen Halteorten zum stehen (Quelle: Moser) | 76 |
| Abbildung 78: Alle Agenten mittels Trajektorien auf gesamter Anlage abgebildet (Quelle: Moser) | 78 |
| Abbildung 79: Alle Agents im Teilbereich Perronanfang der Halle (Quelle: Moser) | 79 |
| Abbildung 80: Betrachteter Perimeter, wie dieser in SimWalk modelliert wurde (Quelle: Moser) | 80 |
| Abbildung 81: Level of Service bei Perronanfang Halle (x: 550 – 660 Meter und y: 180 – 320 Meter) (Quelle: Moser) | 81 |
| Abbildung 82: Perimeter Abgang Halle zu RailCity modelliert und nach LoS (x: 580 - 660 Meter und y: 200 - 280 Meter) (Quelle: Moser) | 82 |
| Abbildung 83: Eintritts- und Austrittszeitpunkt aller Agenten in das System (Quelle: Moser) | 83 |
| Abbildung 84: Ausschnitt über 8'000 Agenten im Zeitraum von 07.06 - 07.48 (Quelle: Moser) | 84 |
| Abbildung 85: Die Trajektorien im dreidimensionalen Raum (Quelle: Moser) 85 | |
| Abbildung 86: KFMS – Messpunkt Aufgang Radgasse (2) (Quelle: Moser)101 | |
| Abbildung 87: KFMS – Messpunkt Aufgang Sihlquai (4) (Quelle: Moser)101 | |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 88: KFMS – Messpunkt Passage Löwenstrasse (5) (Quelle: Moser) | 101 |
| Abbildung 89: KFMS – Messpunkt Passage Bahnhofstrasse (10) (Quelle: Moser) | 101 |
| Abbildung 90: KFMS – Messpunkt Aufgang Walche (14) (Quelle: Moser) | 101 |
| Abbildung 91: KFMS – Messpunkt Aufgang Landesmuseum (15) (Quelle: Moser) | 101 |
| Abbildung 92: KFMS – Messpunkt Querhalle Süd (16) (Quelle: Moser) | 101 |
| Abbildung 93: KFMS – Messpunkt Querhalle Nord (17) (Quelle: Moser) | 101 |
| Abbildung 94: KFMS – Messpunkt Durchgang Südtrakt (22) (Quelle: Moser) | 101 |
| Abbildung 95: KFMS – Messpunkt Durchgang Nordtrakt (23) (Quelle: Moser) | 101 |
| Abbildung 96: : KFMS – Messpunkt Arkade Nord (24) (Quelle: Moser) | 101 |
| Abbildung 97: KFMS – Messpunkt Arkade Süd (25) (Quelle: Moser) | 101 |

7.3 Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Eigene Darstellung der Übersicht der LoS (Quelle: Buchmüller et al 2008) | 9 |
| Tabelle 2: Wegbeziehung in [m] zwischen den Gleisen am HB (Quelle: Moser) | 19 |
| Tabelle 3: Wegbeziehung in [min] zwischen den Perron mit $v = 1.20$ [m/s] am HB (Quelle: Moser) | 19 |
| Tabelle 4: Wegbeziehung in [min] zwischen den Perron mit $v = 1.13$ [m/s] am HB (Quelle: Moser) | 20 |
| Tabelle 5: Wegbeziehung in [min] zwischen den Perron mit $v = 0.8$ [m/s] am HB (Quelle: Moser) | 20 |
| Tabelle 6: Übersicht der Anschlussbrüche im Januar 2014 (Quelle: Moser) | 21 |
| Tabelle 7: Anschlussbrüche im Januar 2014 nach Zugsgattung (Quelle: Moser) | 22 |
| Tabelle 8: Die KFMS - Messstellen aus dem Graphen (Quelle: Moser) | 30 |
| Tabelle 9: Perronknoten aus dem Graphen (Quelle: Moser) | 31 |
| Tabelle 10: Matrix der Wegdistanzen KFMS- und Perronpunkte (Quelle: Moser) | 31 |
| Tabelle 11: Matrix der Zeitdistanzen [s] zwischen KFMS- und Perronpunkte (Quelle: Moser) | 32 |
| Tabelle 12: Auflistung der KFMS - Messstellen am HB Zürich | 34 |
| Tabelle 13: Rollmaterialübersicht für die Simulation (Quelle: Moser) | 45 |
| Tabelle 14: Aufzählung der Geschäfte die in der Simulation hinterlegt sind (Quelle: Moser) | 59 |
| Tabelle 15: Halteorte DPZ und DTZ Bahnhof Löwenstrasse Gleis 41/ 42 (Quelle: Moser) | 65 |
| Tabelle 16: Halteorte DPZ und DTZ Bahnhof Löwenstrasse Gleis 43/ 44 (Quelle: Moser) | 65 |
| Tabelle 17: Halteorte DPZ und DTZ Bahnhof Museumstrasse Gleis 31/ 32 (Quelle: Moser) | 65 |
| Tabelle 18: Halteorte DPZ und DTZ Bahnhof Museumstrasse Gleis 43/ 44 (Quelle: Moser) | 65 |
| Tabelle 19: Parameterdaten des ICN, welche in SimWalk hinterlegt wurden (Quelle: Moser) | 66 |
| Tabelle 20: Übersicht über die Level of Service (LoS) mit Farbstufen | 81 |

7.4 Verwendete Standard – SI Einheiten

| | |
|--------------|---|
| t | Beobachtungszeitraum |
| Δt | Mittlere Zeitdifferenz |
| Δt_i | Zeitlicher Abstand zwischen zwei Personen |
| \bar{v} | Mittlere Geschwindigkeit |
| \bar{v}_l | Mittlere personenbezogene Geschwindigkeit |
| ρ | Dichte |
| ρ_P | Personenbezogene Dichte |
| ρ_t | Zeitbezogene Dichte |
| A | Fläche |
| b | Breite |
| c | Kapazität |
| d | Durchmesser |
| f | Projektionsfläche einer Person |
| J | Fluss |
| J_s | Spezifischer Fluss |
| l_{Strom} | Länge eines Personenstro |
| N | Anzahl Personen |
| s | Standardabweichung |
| v | Geschwindigkeit |

7.5 Programmverzeichnis

SimWalk Transport :

Die Simulationssoftware um dynamische Simulationsabläufe von Publikumsanlagen, wie Bahnhöfe, Flughäfen etc. zu erstellen.

SimDraw :

SimDraw ist das integrierte CAD Programm, welche Standard CAD - Format umwandelt, so dass diese in SimWalk benutzt werden können. Weiter können in dem Programm Anpassungen vorgenommen werden

QCAD:

QCAD ist ein Freeware CAD Programm, dies wurde benötigt, um die unwichtigen Elemente wie Wasser und Stromleitung etc., welche gebündelt als Layer in den CAD vorhanden waren, auszublenden.

Yed:

Yed ist ein Freeware Programm, um graphentheoretische Knoten und Kanten Verbindungen zu zeichnen.

Matlab:

Matlab ist ein Freeware Programm, um mathematische Berechnungen durchzuführen. Dies wurde einerseits benötigt, um Farbmatrizen der Zu – und Abgangsbelastung zu erstellen, andererseits die Flächenbelastung am HB Zürich - mit der Datenbasis aus SimWalk - auszuwerten.

8 Anhang

8.1 Daten CD

8.2 Aufgabenstellung

Die ursprüngliche, sehr allgemein formulierte Aufgabenstellung wurde nach etwa vier Wochen gemeinsam mit den Betreuern angepasst, um der hohen Komplexität des Themas gerecht werden zu können. Es wurde dabei zudem berücksichtigt, dass die Ergebnisse der Bachelorarbeit einen möglichst hohen Nutzen für die Wirtschaftspartner stiften.

Der Originaltext aus dem OAPA-Tool lautet: „Ziel der Arbeit ist es, die Effekte auf die Personenflüsse zu ermitteln, welche durch das Einmitten der Halteorte der S-Bahnzüge im "Bahnhof Museumstrasse" Zürich, entstehen. Weiter soll untersucht werden, wie sich diese Effekte für das Gesamtsystem Bahnhof Zürich, die Fernverkehrszüge sowie den neuen Bahnhof "Löwenstrasse" auswirken. Falls die Auswirkungen gravierend wären, soll der SBB eine Empfehlung bezüglich dem Verschieben der Halteortetafeln abgegeben werden.“.

Disposition Bachelorarbeit „Analyse und Simulation der Personenflüsse am Bahnhof Zürich
18.03.2014 Martin Moser



Ausgangslage

Der Bahnhof in Zürich ist der stärksten frequentierten Bahnhöfe der Schweiz. Er ist der zentrale Dreh- und Angelpunkt für die Zu- und Abgänger der Pendler für den Raum und die Stadt Zürich. Mit dem Ausbau des Bahnhof Löwenstrasse und der damit verbundenen Durchmesserlinie, welcher im Sommer 2014 eröffnet, wurde mehr Kapazität geschaffen.

Ziel der Arbeit ist, aufbauend auf der Projektarbeit „Personenflüsse am HB Zürich“, eine fundierte Analyse des Bahnhofs Zürich bezüglich den Personenströme, sowie der Topographie des Bahnhofs bezüglich Verspätungsanfälligkeit und Anschlussverspätungen analysiert werden, um in einem weiteren Schritt eine realistische, dynamische Simulation von zwei Stunden HVZ abzubilden. Aus den Daten sollen die aktuellen Flaschenhälse zu erkennen sein. Weiter soll die Simulation eine Grundlage bilden, auf der weitere Studien aufbauen können.

1. Einleitung

- Bedürfnis des Themas -Verkehr mit der bestehenden Infrastruktur optimieren
- Bogen herstellen zu der Projektarbeit
- Eingrenzung des Thema
- Methodik und Vorgehen beschreiben um Fragestellung zu beantworten

2. Basisanalyse

- Einarbeiten in das Thema der Personenflüsse
- Auswerten der Schnittstellen Bahnhof / Stadt
- Analyse der Simba - Daten für die, Anzahl Aus-, Um und Einsteiger
- Analyse des Fahrplans
- Distanzen von Perron zu Perron (optimale Wege) aus der PA bezüglich der Zeit
- Gleisbelegungen Halle und Museumbahnhof bezüglich Anschlussgewährung
- Umsteigebeziehungen
- Ermitteln der Personen, welche sich ohne Reisezweck am Bahnhof aufhalten

Die Basisanalyse bildet die Grundlage um die Veränderungen der Personenflüsse aufzuzeigen, welche mit den getroffenen Massnahmen einhergehen. Aus den Grundlagen resultiert ein Messkonzept, welches die Methodik und weitere Bearbeitung festlegt.

3. Hauptteil

- Erstellen einer realistischen, dynamischen Simulation des Bahnhof Zürich, parametrisiert durch die Basisanalysen
- Ermitteln der Level of Services auf den Flächen am HB Zürich

4. Ausblick und Diskussion

- Interpretation der Resultate.
- Klären des weiteren Vorgehen

Autor

Martin Moser (Teilzeitstudent Verkehrssysteme (VS10t))

8.3 FKMS – Messstellen

Alle KFMS – Messstellen wurden in dieser Version aus der Arbeit gelöscht.

8.3.1 Aufgang Radgasse (2)

Abbildung 86: KFMS – Messpunkt Aufgang Radgasse (2) (Quelle: Moser)

8.3.2 Aufgang Sihlquai (4)

Abbildung 87: KFMS – Messpunkt Aufgang Sihlquai (4) (Quelle: Moser)

8.3.3 Passage Löwenstrasse Süd (5)

Abbildung 88: KFMS – Messpunkt Passage Löwenstrasse (5) (Quelle: Moser)

8.3.4 Passage Bahnhofstrasse Süd (10)

Abbildung 89: KFMS – Messpunkt Passage Bahnhofstrasse (10) (Quelle: Moser)

8.3.5 Aufgang Walche (14)

Abbildung 90: KFMS – Messpunkt Aufgang Walche (14) (Quelle: Moser)

8.3.6 Aufgang Landesmuseum (15)

Abbildung 91: KFMS – Messpunkt Aufgang Landesmuseum (15) (Quelle: Moser)

8.3.7 Querhalle Süd (16)

Abbildung 92: KFMS – Messpunkt Querhalle Süd (16) (Quelle: Moser)

8.3.8 Querhalle Nord (17)

Abbildung 93: KFMS – Messpunkt Querhalle Nord (17) (Quelle: Moser)

8.3.9 Durchgang Südtrakt (22)

Abbildung 94: KFMS – Messpunkt Durchgang Südtrakt (22) (Quelle: Moser)

8.3.10 Durchgang Nordtrakt (23)

Abbildung 95: KFMS – Messpunkt Durchgang Nordtrakt (23) (Quelle: Moser)

8.3.11 Arkade Nord (24)

Abbildung 96: : KFMS – Messpunkt Arkade Nord (24) (Quelle: Moser)

8.3.12 Arkade Süd (25)

Abbildung 97: KFMS – Messpunkt Arkade Süd (25) (Quelle: Moser)

Modellierte Züge in SimWalk

8.3.13 ICN (Inter City Neigezug)



Verkehrt als 1 oder 2teilige Komposition

| Fahrzeug | Bt | B | AD | A | WRA | B | Bt |
|------------|----|----|----|----|-----|----|----|
| Sitzplätze | 70 | 93 | 41 | 60 | 44 | 93 | 66 |
| Türen | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 |

| ZNR | An | Ab | Gleis | ZNR | An | Ab | Gleis |
|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 10013 | 06:42 | 07:01 | 4 | 512 | 07:51 | 08:04 | 16 |
| 1510 | 06:53 | 07:04 | 16 | 1511 | 07:57 | 08:09 | 10 |
| 509 | 06:56 | 07:09 | 11 | 2263 | 08:10 | 08:31 | 7 |
| 9210 | 07:16 | 07:34 | 16 | | | | |

8.3.14 IR (Inter Regio)



| Fahrzeug | RE460 | A | A | A | B | B | B | B | B | BT |
|------------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Sitzplätze | 0 | 60 | 60 | 60 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 62 |
| Türen | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

| ZNR | An | Ab | Gleis | ZNR | An | Ab | Gleis |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1910 | 06:54 | 07:06 | 18 | 1912 | 07:54 | 08:06 | 18 |
| 1760 | 06:55 | 07:08 | 13 | 2562 | 07:55 | 08:05 | 11 |
| 759 | 07:00 | 07:12 | 9 | 1764 | 08:00 | 08:08 | 12 |
| 2110 | 07:21 | 07:30 | 15 | 28732 | 08:21 | 08:28 | 13 |
| 3710 | 07:22 | 07:38 | 13 | 2112 | 08:21 | 08:30 | 14 |
| 193 | 07:23 | 07:30 | 7 | 3712 | 08:22 | 08:38 | 12 |
| 1960 | 07:24 | 07:36 | 12 | 1962 | 08:24 | 08:36 | 17 |
| 2109 | 07:30 | 07:37 | 8 | 2315 | 08:25 | 08:35 | 3 |
| 19427 | 07:48 | 08:12 | 3 | 2111 | 08:30 | 08:37 | 10 |
| 1761 | 07:52 | 08:12 | 8 | 15 | 08:37 | 09:09 | 7 |

8.3.15 IR kurz (Inter Regio kurze Formation)

| | | | | | | | | |
|------------|-------|----|----|----|----|----|----|----|
| Fahrzeug | RE460 | A | A | B | B | B | B | BT |
| Sitzplätze | 0 | 60 | 60 | 86 | 86 | 86 | 86 | 62 |
| Türen | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

| ZNR | An | Ab | Gleis | | ZNR | An | Ab | Gleis |
|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|----------|-------|
| 13 | 06:26 | 07:09 | 5 | | 29030 | 07:20 | 07:42 | 9 |
| 284 | 06:40 | 07:05 | 12 | | 29018 | 07:21 | 07:30 | 11 |
| 10759 | 06:45 | 07:07 | 8 | | 3609 | 07:36 | 07:47 | 11 |
| 2010 | 06:45 | 06:57 | 15 | | 2012 | 07:45 | 07:57 | 14 |
| 760 | 06:48 | 07:00 | 14 | | 3810 | 07:59 | 08:08 | 13 |
| 3959 | 06:51 | 07:40 | 3 | | 2011 | 08:03 | 08:13 | 14 |
| 191 | 07:04 | 07:16 | 14 | | 3514 | 08:19 | 08:30 | 4 |
| 3508 | 07:19 | 07:27 | 6 | | 3962 | 08:20 | 08:30:00 | 5 |

8.3.16 IC (InterCity)

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| Fzg | RE460 | AD | A | A | A | WRB | B | B | B | B | Bt |
| Sitze | 0 | 64 | 86 | 86 | 86 | 56 | 126 | 126 | 126 | 126 | 65 |
| Türen | 0 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

| ZNR | An | Ab | Gleis | | ZNR | An | Ab | Gleis |
|-------|-------|-------|-------|--|------|-------|-------|-------|
| 1008 | 06:40 | 06:49 | 18 | | 76 | 07:42 | 08:00 | 15 |
| 810 | 06:51 | 07:02 | 17 | | 2313 | 07:48 | 08:04 | 5 |
| 1759 | 06:52 | 07:12 | 7 | | 667 | 07:51 | 08:09 | 4 |
| 2309 | 06:56 | 07:04 | 6 | | 812 | 07:53 | 08:02 | 17 |
| 809 | 07:02 | 07:07 | 10 | | 811 | 07:58 | 08:07 | 9 |
| 1012 | 07:13 | 07:49 | 18 | | 163 | 08:18 | 08:40 | 8 |
| 710 | 07:23 | 07:32 | 14 | | 562 | 08:23 | 08:34 | 11 |
| 2311 | 07:25 | 07:35 | 4 | | 712 | 08:23 | 08:32 | 15 |
| 559 | 07:26 | 07:37 | 5 | | 561 | 08:26 | 08:37 | 6 |
| 709 | 07:28 | 07:39 | 10 | | 711 | 08:28 | 08:39 | 9 |
| 10761 | 07:40 | 08:07 | 6 | | | | | |

8.3.17 DTZ (Doppelstocktriebzug)

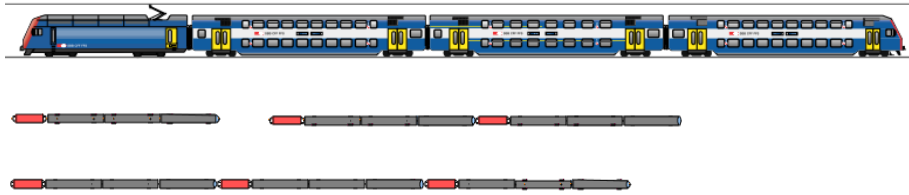


Verkehren als 1,2 oder 3 teilige Kompositionen.

| Fahrzeug | DTZ | DTZ | DTZ | DTZ |
|------------|-----|-----|-----|-----|
| Sitzplätze | 80 | 100 | 100 | 80 |
| Türen | 4 | 4 | 4 | 4 |

| ZNR | An | Ab | Gleis | ZNR | An | Ab | Gleis |
|-------|----------|----------|-------|-------|----------|----------|-------|
| 20119 | 06:38:00 | 06:50:00 | 31 | 18824 | 07:46:00 | 07:51:00 | 33 |
| 19618 | 06:45:00 | 06:47:00 | 41 | 18724 | 07:48:00 | 07:50:00 | 41 |
| 18818 | 06:46:00 | 06:51:00 | 33 | 18226 | 07:50:00 | 07:55:00 | 32 |
| 19021 | 06:48:00 | 06:50:00 | 43 | 18527 | 07:53:00 | 07:55:00 | 43 |
| 19421 | 06:48:00 | 07:12:00 | 34 | 18925 | 07:55:00 | 07:58:00 | 44 |
| 19518 | 06:50:00 | 06:52:00 | 41 | 18326 | 07:56:00 | 08:00:00 | 42 |
| 18220 | 06:50:00 | 06:55:00 | 32 | 2314 | 07:56:00 | 08:01:00 | 34 |
| 18521 | 06:53:00 | 06:55:00 | 44 | 20427 | 07:56:00 | 08:02:00 | 31 |
| 18921 | 06:55:00 | 06:58:00 | 43 | 18627 | 07:58:00 | 08:00:00 | 43 |
| 18621 | 06:58:00 | 07:00:00 | 44 | 18327 | 08:00:00 | 08:03:00 | 44 |
| 18321 | 07:00:00 | 07:03:00 | 43 | 18626 | 08:00:00 | 08:01:00 | 41 |
| 18620 | 07:00:00 | 07:01:00 | 41 | 18526 | 08:05:00 | 08:07:00 | 41 |
| 18520 | 07:05:00 | 07:07:00 | 41 | 19527 | 08:07:00 | 08:10:00 | 44 |
| 19018 | 07:08:00 | 07:09:00 | 42 | 19024 | 08:07:00 | 08:09:00 | 42 |
| 20121 | 07:10:00 | 07:20:00 | 31 | 18827 | 08:08:00 | 08:14:00 | 32 |
| 19220 | 07:11:00 | 07:14:00 | 41 | 18727 | 08:10:00 | 08:12:00 | 43 |
| 19621 | 07:13:00 | 07:15:00 | 43 | 19226 | 08:11:00 | 08:14:00 | 41 |
| 19620 | 07:15:00 | 07:17:00 | 42 | 19627 | 08:13:00 | 08:15:00 | 43 |
| 19221 | 07:16:00 | 07:18:00 | 44 | 19626 | 08:15:00 | 08:17:00 | 42 |
| 19425 | 07:18:00 | 07:20:00 | 34 | 19227 | 08:16:00 | 08:18:00 | 44 |
| 19520 | 07:20:00 | 07:22:00 | 42 | 19429 | 08:18:00 | 08:42:00 | 34 |
| 18222 | 07:22:00 | 07:27:00 | 32 | 18228 | 08:22:00 | 08:27:00 | 32 |
| 18523 | 07:23:00 | 07:25:00 | 43 | 18529 | 08:23:00 | 08:25:00 | 43 |
| 18525 | 07:25:00 | 07:28:00 | 44 | 19126 | 08:23:00 | 08:25:00 | 41 |
| 18324 | 07:26:00 | 07:30:00 | 42 | 18927 | 08:25:00 | 08:28:00 | 44 |
| 18325 | 07:30:00 | 07:33:00 | 44 | 20429 | 08:27:00 | 08:32:00 | 31 |
| 18522 | 07:35:00 | 07:37:00 | 41 | 18928 | 08:32:00 | 08:34:00 | 42 |
| 18025 | 07:35:00 | 07:37:00 | 43 | 19529 | 08:37:00 | 08:40:00 | 44 |
| 19523 | 07:37:00 | 07:40:00 | 44 | 19042 | 08:38:00 | 08:39:00 | 41 |
| 18825 | 07:38:00 | 07:44:00 | 32 | 18829 | 08:38:00 | 08:44:00 | 32 |
| 20125 | 07:38:00 | 07:52:00 | 31 | 18729 | 08:40:00 | 08:42:00 | 43 |
| 19224 | 07:41:00 | 07:44:00 | 41 | 19629 | 08:43:00 | 08:45:00 | 44 |

8.3.18 DPZ (Doppelstock-Pendelzug)



Verkehren als 1, 2 oder 3 teilige Kompositionen.

| Fahrzeug | RE450 | B | AB | Bt |
|------------|-------|-----|-----|-----|
| Sitzplätze | 0 | 140 | 122 | 115 |
| Türen | 0 | 4 | 4 | 4 |

| ZNR | An | Ab | Gleis | | ZNR | An | Ab | Gleis |
|-------|----------|----------|-------|--|-------|----------|----------|-------|
| 19219 | 06:46:00 | 06:48:00 | 44 | | 19625 | 07:43:00 | 07:45:00 | 44 |
| 18718 | 06:48:00 | 06:50:00 | 42 | | 19624 | 07:45:00 | 07:47:00 | 42 |
| 18320 | 06:56:00 | 07:00:00 | 42 | | 19225 | 07:46:00 | 07:48:00 | 43 |
| 20421 | 06:57:00 | 07:02:00 | 31 | | 18029 | 07:50:00 | 07:52:00 | 44 |
| 18920 | 07:02:00 | 07:04:00 | 42 | | 19522 | 07:50:00 | 07:52:00 | 42 |
| 18021 | 07:05:00 | 07:07:00 | 44 | | 19124 | 07:53:00 | 07:55:00 | 41 |
| 18221 | 07:05:00 | 07:07:00 | 33 | | 18926 | 08:02:00 | 08:04:00 | 42 |
| 19521 | 07:07:00 | 07:10:00 | 43 | | 18027 | 08:05:00 | 08:07:00 | 43 |
| 18821 | 07:08:00 | 07:14:00 | 32 | | 18227 | 08:05:00 | 08:10:00 | 33 |
| 18721 | 07:10:00 | 07:12:00 | 44 | | 29057 | 08:10:00 | 08:17:00 | 31 |
| 18820 | 07:16:00 | 07:21:00 | 33 | | 18726 | 08:18:00 | 08:20:00 | 41 |
| 18720 | 07:18:00 | 07:20:00 | 41 | | 19029 | 08:18:00 | 08:20:00 | 43 |
| 19025 | 07:18:00 | 07:20:00 | 43 | | 19526 | 08:20:00 | 08:22:00 | 42 |
| 19120 | 07:23:00 | 07:25:00 | 41 | | 18328 | 08:26:00 | 08:30:00 | 42 |
| 20425 | 07:27:00 | 07:32:00 | 31 | | 18629 | 08:28:00 | 08:30:00 | 43 |
| 18625 | 07:28:00 | 07:30:00 | 43 | | 18329 | 08:30:00 | 08:33:00 | 44 |
| 18624 | 07:30:00 | 07:31:00 | 41 | | 18628 | 08:30:00 | 08:31:00 | 41 |
| 18924 | 07:32:00 | 07:34:00 | 42 | | 18229 | 08:33:00 | 08:38:00 | 33 |
| 18225 | 07:33:00 | 07:38:00 | 33 | | 18528 | 08:35:00 | 08:37:00 | 42 |
| 19022 | 07:38:00 | 07:39:00 | 41 | | 18031 | 08:35:00 | 08:37:00 | 43 |
| 18725 | 07:40:00 | 07:42:00 | 43 | | 19228 | 08:41:00 | 08:44:00 | 41 |

8.4 Makro zum erstellen der Einsteiger

Problemstellung:

In der Datei „Einsteiger Definitiv“, Blatt „In“ sind die Daten aus Fahrplan, welche den Bezug machen wie viele Passagiere für einen bestimmten Zug durch welchen Eingang in den Hauptbahnhof eintreten. Diese Informationen sind Zeilenweise pro Zug abgelegt, inklusive aller benötigter Informationen.

Um diese Werte in das Simulationstool einzulesen, muss je Passagier eine Zeile erstellt werden. Zudem wird der „Normal-Weg-Zeit“ vom jeweiligen Eingang auf das entsprechende Abfahrtsgleis eine zufällige Zeit addiert, um die unterschiedlichen Ankunftszeiten am Bahnhof zu simulieren.

Das Makro kurz erklärt:

Startsequenz:

```
Sub Uebertrag() 'Makro Name
Application.ScreenUpdating = False 'Bildschirm abschalten
Sheets("In").Select
Zeile = 2: 'Zeile ist die Zeilennummer welche im Out-Blatt benutzt wird
```

Das Makro übernimmt nun aus dem Blatt „In“ jeweils alle nötigen Informationen mit den Variablen w1-w7 (Werte), z1 (Anzahl Passagier je Kriterium) und k1 (RV oder FV)

```
For I = 3 To 157: 'Zeilennummer im Blatt In
For J = 13 To 25 'Spaltennummer im Blatt In
w1 = (Cells(i, 1)) 'Zug
w2 = (Cells(1, J)) 'Aufgang
w3 = (Cells(i, 10)) 'ab zug
w4 = (Cells(2, J + 15)) 'level
w5 = (Cells(i, J + 15)) 'eingang
w6 = (Cells(i, J + 33)) 'Wegzeit
w7 = (Cells(i, 9)) 'an zug
z1 = (Cells(i, J))
k1 = (Cells(i, 2)) 'RV oder FV
....
Next J
....
Next I
```

Diese Informationen werden nun Zeilenweise im Blatt „Out“ eingetragen. Die Zeit (w5) wird in Abhängigkeit von Fern- oder Regionalverkehr mit einer entsprechenden Zuschlagszeit versehen, die das vorzeitige Erscheinen auf dem Gleis simulieren.

```
Sheets("Out").Select
z2 = Zeile + z1
For Z = Zeile To z2 - 1 'Zeilennummer im Blatt Out
```

```
Cells(Z, 4).Select: Selection = w2
Cells(Z, 5).Select: Selection = w1
Cells(Z, 9).Select: Selection = w3
Cells(Z, 3).Select: Selection = w4
If k1 = "RV" Then Cells(Z, 6).Select: Selection = w5 - Round(Rnd() * (600 - 60) + 60, 0)
If k1 = "FV" Then Cells(Z, 6).Select: Selection = w5 - Round(Rnd() * (1200 - 60) + 60, 0)
Cells(Z, 7).Select: Selection = w6
Cells(Z, 8).Select: Selection = w7
Next Z
Zeile = Z
```

Schluss-Sequenz

```
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
```

8.5 Makro zum erstellen der Querer

Problemstellung:

In der Datei „Querer“, Blatt „In“ sind die Daten aus Fahrplan, wie viele Personen zu bestimmten Zeiten (5-Minuten-Perioden) über welchen Eingang in den Hauptbahnhof eintreten, respektive verlassen, ohne in einen Zug ein- respektive auszu- steigen (Sogenannte „Querer“ des Bahnhofs). Diese Informationen sind Zeilenweise pro 5-Minuten Abschnitt zwischen 06.45 bis 08.44 abgelegt, inklusive aller benötigten Informationen.

Um diese Werte in das Simulationstool einzulesen, muss je Querer eine Zeile erstellt werden. Zudem wird der „Normal-Weg-Zeit“ vom jeweiligen Eingang auf den entsprechenden Ausgang eine zufällige Zeit addiert, um die unterschiedlichen Geschwindigkeiten zu simulieren.

Das Makro kurz erklärt:

Startsequenz.

```
Sub Querer()
Application.ScreenUpdating = False
Z = 3
```

Definition dimensioniert Variablen. Welche anschliessend direkt ausgewählt werden können in Form einer Matrix.

```
Dim A(1 To 13, 1 To 13) ' Menge
Dim B(1 To 13) ' Aufgang
Dim C(1 To 13, 1 To 13) ' Zeit
```

Das Makro kopiert nun die Menge der Eintretenden und Austretenden Querer und verteilt diese über einen jeweiligen Prozentschlüssel von den entsprechenden Eingängen auf die entsprechenden Ausgänge.

```
For i = 5 To 28 'Kopieren der Menge Ausgänge pro Zeitperiode
Sheets("In").Select
Range("H" & i).Select
Selection.Copy
Sheets("Menge").Select
Range("A1").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Sheets("In").Select
Range("X" & i & ":AJ" & i).Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Sheets("Menge").Select
Range("B2").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Sheets("In").Select
Range("I" & i & ":U" & i).Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Sheets("Menge").Select
Range("B3").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
```

```
:=False, Transpose:=False
Sheets("In").Select
....
Next i
```

Nun werden die Daten Mengen, Zeit und Ein- respektive Ausgang in die entsprechenden dimensionierten Variablen eingelesen.

```
For k = 24 To 36
  B(k - 23) = Cells(3, k)
Next k
Sheets("Zeit").Select
For k = 2 To 14
  For l = 2 To 14
    C(l - 1, k - 1) = Cells(l, k)
  Next l
Next k

Sheets("Menge").Select
For k = 2 To 14
  For l = 81 To 93
    A(l - 80, k - 1) = Cells(l, k)
  Next l
Next k
```

Die eingelesenen Daten, welche in den Dimensionierten Variablen A, B und C eingelesen wurden enthalten nun alle Informationen um den Datensatz je Querereilenweise in das Blatt Out-A zu schreiben. Nach jeweils einer Zeitperiode mit bis über 500 Datensätzen werden die Daten sortiert, um die Relation Eingangsort zu Ausgangsort zu nullen.

```
Sheets("Out-A").Select
For k = 1 To 13
  For l = 1 To 13
    m = A(k, l)
    For n = 1 To m
      Cells(Z, 6).Select: Selection = Cells(Z, 7) - C(k, l): Cells(Z, 4).Select: Selection = B(l): Z = Z + 1
    Next n
  Next l
  Ze01 = k + 1
  If Ze01 > 13 Then Ze01 = 13
  Range("T" & Z).Select
  Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
  Selection.Find(What:=Ze01, After:=ActiveCell, LookIn:=xlFormulas, LookAt _
    :=xlPart, SearchOrder:=xlByRows, SearchDirection:=xlNext, MatchCase:= _
    False, SearchFormat:=False).Activate
  Z = ActiveCell.Row
Next k

Range("C3:U3").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
ActiveWorkbook.Worksheets("Out-A").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Out-A").Sort.SortFields.Add Key:=Range("F3:F6516") _
  , SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal
ActiveWorkbook.Worksheets("Out-A").Sort.SortFields.Add Key:=Range("T3:T6516") _
  , SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal
ActiveWorkbook.Worksheets("Out-A").Sort.SortFields.Add Key:=Range("U3:U6516") _
ActiveWorkbook.Worksheets("Out-A").Sort.SortFields.Add Key:=Range("F3:F6516") _
  , SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Out-A").Sort
  .SetRange Range("C3:U6516")
  .Header = xlGuess
  .MatchCase = False
  .Orientation = xlTopToBottom
```

```
.SortMethod = xlPinYin  
.Apply  
End With  
Range("F3").Select  
Selection.End(xlDown).Select  
Z = ActiveCell.Row + 1
```

Schluss-Sequenz

```
Application.ScreenUpdating = True  
End Sub
```

8.6 Matlab Code

```
function plots_matlab_ba_mmoser

%
=====
% Schliessen aller Figures und löschen Inhalt command
window
%
=====
close all hidden;
clc;

%
=====
% Define parameters
%
=====
t_off = 22884;           % Offset-Zeit in Sekunden
t_start1 = 6;           % Startzeit für gesamtes Zeit-
fenster in Std. (< min. Zeit detektiert)
t_end1 = 12;           % Endzeit für gesamtes Zeitfens-
ter in Std. (> max. Zeit detektiert)
t_start2 = 7 + 55/60;   % Startzeit für ausgewähltes
Zeitfenster in Std.
t_end2 = 8 + 5/60;     % Endzeit für ausgewähltes Zeit-
fenster in Std.
t_max_duration = 60;   % Maximal sinnvolle Aufenthalts-
dauer für Agents

%
=====
% Lesen der Simulationsdaten (csv-File) --> Speicherbe-
darf > 8GB!!
%
=====

% Spalten (gemäss SimWalk)
% 1 2 3 4 5 6 7 8
9 10 11 12 13
% ID, AgentId, PosLevel, PosX, PosY, Speed, Direction,
Distance, RunTime, WayPoint, Status, Priority, PosZ

if ~exist('data', 'var')
    data = csvread('Pass1.csv');
    % Entfernen von ungültigen Einträgen
    ind = find(data(:, 4) <= 0 | data(:, 5) <= 0 | da-
ta(:, 2) > 100000);
    if ~isempty(ind)
        data(ind, :) = [];
    end
    data = [data (data(:, 9)/100 + t_off)/3600];
end
```



```

%
=====
% Extraktion der Informationen je Agent
%
=====

% ind_time_window1 = find(data(:, 14) >= t_start1 & da-
ta(:, 14) <= t_end1);
% ids_in_time_window1 = unique(data(ind_time_window1,
2));
% nbr_ids_in_time_window1 = length(ids_in_time_window1);
% POS = cell(nbr_ids_in_time_window1, 1);
% TT = cell(nbr_ids_in_time_window1, 1);
% T = zeros(nbr_ids_in_time_window1, 2);
% for i = 1:nbr_ids_in_time_window1
%     disp(i);
%     id = ids_in_time_window1(i);
%     pos = find(data(:, 2) == id);
%     POS{i} = pos;
%     TT{i} = data(pos, 14);
%     T(i, 1) = min(data(pos, 14));
%     T(i, 2) = max(data(pos, 14));
% end
% DT = (T(:, 2) - T(:, 1))*60;
% save T T;
% save DT DT;
% save TT TT;
% save POS POS;
load T;
load DT;
load TT;
load POS;

% Analyse der Aufenthaltsauer im System für alle Agenten
dum = find(T(:, 1) > 0);
figure(1), plot(T(dum, 1), 'ob', 'MarkerSize', 2); hold
on; grid on;
figure(1), plot(T(dum, 2), 'or', 'MarkerSize', 2);
legend({'Eintrittszeitpunkt', 'Austrittszeitpunkt'},
'Location', 'SouthEast');
xlabel('Nummer Fussgänger', 'FontSize', 15, 'Font-
Weight', 'bold');
ylabel('Zeit [Std.]', 'FontSize', 15, 'FontWeight',
'bold');
figure(1), set(gca, 'FontSize', 15);
figure(1), set(gca, 'FontWeight', 'bold');
hfig = figure(1);
set(hfig, 'Position', [80, 100, 1150, 710]);
set(gcf, 'Color', 'White');
f = getframe(gcf);
imwrite(f.cdata, ['Eintritts- und Austrittszeitpunk-
te_alle_Agents_.png']);

% Analyse der Aufenthaltsauer im System für Agenten
14000 bis 22000
dum = find(T(:, 1) > 0);

```

```

figure(2), plot(T(dum, 1), 'ob', 'MarkerSize', 2); hold
on; grid on;
figure(2), plot(T(dum, 2), 'or', 'MarkerSize', 2);
figure(2), axis([14000 22000 7.10 7.70]);
legend({'Eintrittszeitpunkt', 'Austrittszeitpunkt'},
'Location', 'SouthEast');
xlabel('Nummer Fussgänger', 'FontSize', 15, 'Font-
Weight', 'bold');
ylabel('Zeit [Std.]', 'FontSize', 15, 'FontWeight',
'bold');
figure(2), set(gca, 'FontSize', 15);
figure(2), set(gca, 'FontWeight', 'bold');
hfig = figure(2);
set(hfig, 'Position', [80, 100, 1150, 710]);
set(gcf, 'Color', 'White');
f = getframe(gcf);
imwrite(f.cdata, ['Eintritts- und Austrittszeitpunk-
te_8000_Agents.png']);

%
=====
% Entfernen von Einträgen mit zu langen Aufenthaltsdauern
%
=====

% Bestimmung der Mengen der betroffenen Agenten
ind_time_window1 = find(data(:, 14) >= t_start1 & da-
ta(:, 14) <= t_end1);
ids_in_time_window1 = unique(data(ind_time_window1, 2));
nbr_ids_in_time_window1 = length(ids_in_time_window1);

% rows_to_remove = [];
%
% POS2 = POS;
% TT2 = TT;
% T2 = zeros(nbr_ids_in_time_window1, 2);
% for i = 1:nbr_ids_in_time_window1
%     disp(i);
%     pos = POS{i};
%     t = TT{i};
%     min_t = min(t);
%     max_t = max(t);
%     dum_correct = find(t <= min_t +
t_max_duration/60);
%     dum_incorrect = find(t > min_t +
t_max_duration/60);
%
%     if (max_t > min_t + t_max_duration/60) &&
~isempty(dum_incorrect)
%         rows_to_remove = [rows_to_remove;
pos(dum_incorrect)];
%         if ~isempty(dum_correct)
%             pos2 = pos(dum_correct);
%             t2 = t(dum_correct);
%             POS2{i} = pos2;
%             TT2{i} = t2;
%             T2(i, 1) = min(data(pos2, 14));

```

Analyse und Simulation der Personenflüsse am Bahnhof Zürich

```

%             T2(i, 2) = max(data(pos2, 14));
%         end
%     else
%         POS2{i} = POS{i};
%         TT2{i} = TT{i};
%         T2(i, 1) = T(i, 1);
%         T2(i, 2) = T(i, 2);
%     end
% end
% DT2 = (T2(:, 2) - T2(:, 1))*60;
% save T2 T2;
% save DT2 DT2;
% save TT2 TT2;
% save POS2 POS2;
load T2;
load DT2;
load TT2;
load POS2;

%
=====
% Plot aller Positionen der Agenten für alle Ebenen über
den gesamten Zeitraum
%
=====

x = data(:, 4)/100;
y = data(:, 5)/100;

figure(3), plot(x, y, 'or', 'MarkerSize', 1);
set(gca, 'YDir', 'reverse');
level6 = 6;
ind6 = find(data(:, 13) == level6);
figure(3), hold on;
figure(3), plot(x(ind6), y(ind6), 'ob', 'MarkerSize',
1);
axis equal;
axis([0 800 0 400]);
legend({'Level 1 bis 5', 'Level 6'}, 'Location', 'North-
East');
xlabel('Position in x-Richtung [m]', 'FontSize', 15,
'FontWeight', 'bold');
ylabel('Position in y-Richtung [m]', 'FontSize', 15,
'FontWeight', 'bold');
figure(3), set(gca, 'FontSize', 15);
figure(3), set(gca, 'FontWeight', 'bold');
hfig = figure(3);
set(hfig, 'Position', [80, 100, 1150, 710]);
set(gcf, 'Color', 'White');
f = getframe(gcf);
imwrite(f.cdata, ['Positi-
on_alle_Agents_gesamte_Anlage.png']);

figure(4), plot(x, y, 'or', 'MarkerSize', 1);
set(gca, 'YDir', 'reverse');
level6 = 6;
ind6 = find(data(:, 13) == level6);
figure(4), hold on;

```

```

figure(4), plot(x(ind6), y(ind6), 'ob', 'MarkerSize',
1);
axis equal;
axis([500 660 180 320]);
legend({'Level 1 bis 5', 'Level 6'}, 'Location', 'North-
East');
xlabel('Position in x-Richtung [m]', 'FontSize', 15,
'FontWeight', 'bold');
ylabel('Position in y-Richtung [m]', 'FontSize', 15,
'FontWeight', 'bold');
figure(4), set(gca, 'FontSize', 15);
figure(4), set(gca, 'FontWeight', 'bold');
hfig = figure(4);
set(hfig, 'Position', [80, 100, 1150, 710]);
set(gcf, 'Color', 'White');
f = getframe(gcf);
imwrite(f.cdata, ['Positi-
on_alle_Agents_Teilbereich_Anlage.png']);

%
=====
% Berechnung und plotten der Approximation des mittleren
LOS
%
=====

Dx = 1.00; % Zellgrösse in x-Richtung
Dy = 1.00; % Zellgrösse in y-Richtung

level6 = 6;
ind6 = find(data(:, 13) == level6);
x2 = x(ind6);
y2 = y(ind6);

min_x2 = 500;
max_x2 = 660;
min_y2 = 180;
max_y2 = 320;

X2 = min_x2:Dx:max_x2;
Y2 = min_y2:Dy:max_y2;
len_X2 = length(X2);
len_Y2 = length(Y2);
M = zeros(len_Y2, len_X2);

for i = 1:len_Y2-1
    disp(i);
    ymin = Y2(i);
    ymax = Y2(i+1);
    for j = 1:len_X2-1
        xmin = X2(j);
        xmax = X2(j+1);
        ind = find(x2 >= xmin & x2 < xmax & y2 >= ymin &
y2 < ymax);
        if ~isempty(ind)
            M(i, j) = length(ind);
        end
    end
end

```

```
end
save M M;

nbr_col_levels = 256;
[XX, YY] = meshgrid(X2, Y2);
M2 = M;
M2(M > 15000) = 0;
h = fspecial('gaussian', 4, 0.65);
M3 = filter2(h, M2);
M3 = filter2(h, M3);
M3 = filter2(h, M3);
M3 = M3/max(M3(:));
M3 = 6*M3.^(0.4);
figure(5), pcolor(XX, YY, M3); color-
map(hot(nbr_col_levels)); shading flat; colorbar; axis
equal;
set(gca, 'YDir', 'reverse');
axis equal;
axis([min_x2 max_x2 min_y2 max_y2]);
xlabel('Position in x-Richtung [m]', 'FontSize', 15,
'FontWeight', 'bold');
ylabel('Position in y-Richtung [m]', 'FontSize', 15,
'FontWeight', 'bold');
figure(5), set(gca, 'FontSize', 15);
figure(5), set(gca, 'FontWeight', 'bold');
hfig = figure(5);
set(hfig, 'Position', [80, 100, 1150, 710]);
set(gcf, 'Color', 'White');
f = getframe(gcf);
imwrite(f.cdata, ['LOS_x_500m-660m_y_180m-320m.png']);

nbr_col_levels = 256;
[XX, YY] = meshgrid(X2, Y2);
M2 = M;
M2(M > 15000) = 0;
h = fspecial('gaussian', 4, 0.65);
M3 = filter2(h, M2);
M3 = filter2(h, M3);
M3 = filter2(h, M3);
M3 = M3/max(M3(:));
M3 = 6*M3.^(0.4);
figure(6), pcolor(XX, YY, M3); color-
map(hot(nbr_col_levels)); shading flat; colorbar; axis
equal;
set(gca, 'YDir', 'reverse');
axis equal;
axis([580 660 200 280]);
xlabel('Position in x-Richtung [m]', 'FontSize', 15,
'FontWeight', 'bold');
ylabel('Position in y-Richtung [m]', 'FontSize', 15,
'FontWeight', 'bold');
figure(6), set(gca, 'FontSize', 15);
figure(6), set(gca, 'FontWeight', 'bold');
hfig = figure(6);
set(hfig, 'Position', [80, 100, 1150, 710]);
set(gcf, 'Color', 'White');
f = getframe(gcf);
imwrite(f.cdata, ['LOS_x_580m-660m_y_200m-280m.png']);
```

```
%  
=====
```

```
% Berechnung und plotten von ausgewählten Trajektorien  
%  
=====
```

```
ids = unique(data(:, 2));  
nbr_ids = length(ids);  
ID = data(:, 2);  
for i = 13000:14500 % for i = 1:nbr_ids  
    disp(i);  
    id = ids(i);  
    ind = find(ID == id);  
    if ~isempty(ind)  
        xx = data(ind, 4)/100;  
        yy = data(ind, 5)/100;  
        zz = data(ind, 13);  
        figure(7), plot3(xx, yy, zz, 'or', 'MarkerSize',  
1); hold on; grid on;  
    end  
end  
set(gca, 'YDir', 'reverse');  
xlabel('Position in x-Richtung [m]', 'FontSize', 15,  
'FontWeight', 'bold');  
ylabel('Position in y-Richtung [m]', 'FontSize', 15,  
'FontWeight', 'bold');  
zlabel('Position in z-Richtung (*)', 'FontSize', 15,  
'FontWeight', 'bold');  
text(20, 50, 1, ' (*) nicht massstabsgetreu', 'FontSi-  
ze', 12, 'FontWeight', 'bold');  
figure(1), set(gca, 'FontSize', 15);  
figure(1), set(gca, 'FontWeight', 'bold');  
box on;  
  
hfig = figure(1);  
set(hfig, 'Position', [80, 100, 1150, 710]);  
set(gcf, 'Color', 'White');  
f = getframe(gcf);  
imwrite(f.cdata, ['Trajektorien_13000-14500.png']);  
  
% return
```

8.7 Fahrplangrundlage 1

Wurde aus dieser Arbeitsversion gelöscht, da Simba – Daten enthalten sind.

8.8 Fahrplangrundlage 2

Wurde aus dieser Arbeitsversion gelöscht, da Simba – Daten enthalten sind.

8.9 Formationsplakat 05:08 – 06:36

| Formation der Züge | | | | | Zürich HB | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|---|--------------------------|---|----------------------|---|---|--|
| Formation des trains | | | | | Formatione dei treni | | | |
| Formation of the trains | | | | | | | | |
| Abfahrtszeit Departure Partenza | Zug Train Treno | Bestimmung Destination Destinazione | Gleis Side Binario | | | | | |
| | | | | A | B | C | D | |
| 5 08 | APV 1756 | Aarau-Basel | 11 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 5 08 | APV 1756 | Aarau-Basel | 11 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| 5 21 | ACV 739 | Bern-Garbsch-Airport + | 17 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 5 35 | APV 2303 | Luzern | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 5 36 | APV 1936 | Brugg-Basel | 13 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 5 36 | APV 1936 | Brugg-Basel | 13 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| 5 38 | ACV 735 | St.Gallen | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 5 57 | APV 2005 | Biem | 11 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 00 | ACV 750 | Basel | 15 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 01 | APV 2304 | Zürich-Flughafen + | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 02 | ACV 809 | Bern-Brig | 17 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 04 | APV 2305 | Luzern | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 04 | ACV 503 | Basel-Garbsch-Airport + | 14 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 06 | APV 2550 | Schaffhausen | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 06 | APV 1905 | Brugg-Bern | 16 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 07 | ACV 807 | Romanshorn | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 08 | APV 1758 | Aarau-Basel | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 08 | APV 2257 | Locarno | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 09 | ACV 507 | St.Gallen | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 12 | APV 1755 | Chur | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 30 | APV 2100 | Basel-Garbsch-Airport + | 13 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 32 | ACV 739 | Bern-Garbsch-Airport + | 14 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 34 | ACV 553 | Basel | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 34 | ACV 553 | Basel | 9 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| 6 34 | ACV 553 | Basel | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6 35 | APV 2307 | Luzern | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | |

8.10 Formationsplakat 06:36 – 07:35

| | | | | Formation der Züge | | | | Zürich HB | | | | | |
|---|-----------------------|---|------------------------------------|-------------------------|---|---|---|----------------------|---|---|---|---|----|
| | | | | Formation des trains | | | | Formazione dei treni | | | | | |
| | | | | Formation of the trains | | | | | | | | | |
| Abfahrtsplatz Départ Partenza Destinazione | Zug Train Treno | Bestimmung Destination Destinazione Destinazione | Gleis Piste Binario Track | | | | | | | | | | |
| | | | | A | B | C | D | | | | | | |
| AP | 1958 | Brugg-Roseil | 16 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AC | 555 | Chur | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| X | 555 | Chur | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| + | 2707 | Konstanz | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AC | 707 | St. Gallen | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AP | 1900 | Bern | 18 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AP | 2010 | Olten-Bern | 15 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AC | 780 | Basel | 14 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ACW | 13013 | Lugano | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AP | 870 | Bern-Brig | 17 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AP | 870 | Bern-Brig | 17 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AP | 2309 | Luzern | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ACW | 1510 | Biel/Bienne-Likam/NE | 18 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AP | 284 | Schaffhausen-Sragen (E-Rohrwei) | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AP | 1910 | Brugg-Bern | 18 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AP | 19759 | Chur | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AC | 809 | Romanshorn | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AP | 1760 | Aarau-Roseil | 13 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AC | 13 | Lugano-Milano | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ACW | 509 | St.Gallen | 11 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AP | 1759 | Chur | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AC | 191 | Lindau-München | 14 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AP | 2110 | Biel/Bienne | 15 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AP | 2201 | Chiasso | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AP | 2201 | Chiasso | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AC | 770 | Bern-Gömlis Airport | 14 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| TGV | 8206 | Basel-Paris | 16 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AP | 2311 | Luzern | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

8.11 Formationsplakat 07:36 – 08:12

| Formation der Züge | | | | Zürich HB | | | |
|---|--------------------------------|--|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Formation des trains | | | | Formazione dei treni | | | |
| Formation of the trains | | | | | | | |
| Abfahrt Départ Partenza Destinazione | Zug Train Treno Train | Bestimmung Destination Destinazione Destination | Gleis Line Binario Track | A | B | C | D |
| ANP | 1900 | Bragg-Basel | 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 |
| ANP | 559 | Chur | 6 | 1 2 3 4 5 6 | 1 2 3 4 5 6 | 1 2 3 4 5 6 | 1 2 3 4 5 6 |
| ANP | 2709 | Konstanz | 8 | 1 2 3 4 5 6 7 8 | 1 2 3 4 5 6 7 8 | 1 2 3 4 5 6 7 8 | 1 2 3 4 5 6 7 8 |
| ANP | 799 | St. Gallen | 10 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| ANP | 3899 | Zürcher-Schwanden L-S (LBR) | 3 | 1 2 3 | 1 2 3 | 1 2 3 | 1 2 3 |
| ANP | 1912 | Bern | 18 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 |
| ANP | 2012 | Ober-Bern | 14 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 |
| ANP | 2012 | Ober-Bern | 14 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 |
| ANP | 78 | Basel-Hamburg (LBR) | 15 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 |
| ANP | 2314 | Zürich-Flughafen + | 54 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 |
| ANP | 812 | Bern-Brig | 17 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 |
| ANP | 812 | Bern-Brig | 17 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 |
| ANP | 812 | Bern-Brig | 17 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 |
| ANP | 2313 | Luzern | 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 |
| ANP | 612 | Südwesten- Gemeinsamer-Flughafen + | 16 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 |
| ANP | 2502 | Schaffhausen | 11 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 |
| ANP | 1912 | Bragg-Bern | 18 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 |
| ANP | 19701 | Chur | 6 | 1 2 3 4 5 6 | 1 2 3 4 5 6 | 1 2 3 4 5 6 | 1 2 3 4 5 6 |
| ANP | 19701 | Chur | 6 | 1 2 3 4 5 6 | 1 2 3 4 5 6 | 1 2 3 4 5 6 | 1 2 3 4 5 6 |
| ANP | 811 | Romanshorn | 9 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 |
| ANP | 811 | Romanshorn | 9 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 |
| ANP | 1704 | Aarau-Basel | 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 |
| ANP | 1704 | Aarau-Basel | 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 |
| ANP | 801 | Lugano | 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 |
| ANP | 1511 | St. Gallen | 10 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| ANP | 1701 | Chur | 8 | 1 2 3 4 5 6 7 8 | 1 2 3 4 5 6 7 8 | 1 2 3 4 5 6 7 8 | 1 2 3 4 5 6 7 8 |
| ANP | 1701 | Chur | 8 | 1 2 3 4 5 6 7 8 | 1 2 3 4 5 6 7 8 | 1 2 3 4 5 6 7 8 | 1 2 3 4 5 6 7 8 |

8.12 Formationsplakat 08:30 – 09:09

| Formation der Züge | | | | Zürich HB | | | |
|---|-----------------------|---|---------------------------|-------------------------|---|---|---|
| Formation des trains | | | | Formationi dei treni | | | |
| Formation of the trains | | | | | | | |
| Abfahrt Départ Partenza Destinazione | Zug Train Treno | Bestimmung Destination Destinazione | Gleis Piste Binario | gültig ab 02. Sep. 2013 | | | |
| | | | | A | B | C | D |
| 8:30 | AP | Biel/Bienne | 14 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8:31 | KW | Chiasso | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8:32 | AP | Bern-Garbsch-Airport | 15 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8:34 | AC | Basel | 11 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8:35 | AP | Luzern | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8:36 | AP | Brugg-Basel | 17 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8:36 | AP | Brugg-Basel | 17 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8:37 | AC | Chur | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8:37 | AP | Konstanz | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8:38 | AP | St. Gallen | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8:40 | AP | Buchs-Wien | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8:57 | AP | Olten-Bern | 17 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8:57 | AP | Olten-Bern | 17 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9:00 | AP | Basel | 14 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9:00 | AC | Basel | 14 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9:00 | AC | Basel | 14 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9:01 | KW | Lugano | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9:01 | AP | Zürich-Flughafen | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9:02 | AC | Bern-Brig | 17 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9:04 | AP | Luzern | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9:04 | KW | Biel/Bienne-Löcheren | 15 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9:06 | AC | Schaffhausen-Rüttigen | 11 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9:08 | AP | Brugg-Bern | 18 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9:07 | AC | Romanshorn | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9:07 | AP | Romanshorn | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9:08 | AP | Aarau-Basel | 16 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9:08 | AP | Aarau-Basel | 16 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9:09 | AP | Lugano-Milano | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 |