

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

Evakuierung Einkaufszentrum Neuwiesen, Winterthur

Können durch Simulationstools Evakuierungen optimiert werden?



Neu: Mo-Fr offen bis 20:00 Uhr. Sa, 8:30–17:00, MMM ab 8:00 Uhr.

von
Michael Duft
Nathanael Köhler
Frédéric Monteleone
David Pereira
Klasse AV07a
Projektschiene, 3. Semester

Dozenten:
lic. phil. Michael Schwarz
El.-Ing. HTL Albert Steiner

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Abstract	3
1 Einführung.....	4
1.1 Motivation	4
1.2 Der Begriff "Kapazität"	5
1.3 Aktuelle Vorfälle	6
1.4 Allgemeine Situation	8
1.5 Evakuierungskonzept Einkaufszentrum Neuwiesen	10
1.5.1 Konzept	10
1.5.2 Aufbau des Konzeptes.....	11
1.6 Feuerpolizeiliche Gesetze als entscheidende Punkte der relevanten Sicherheitskonzepte.....	12
1.7 Psychologie - Einfluss des Menschen im Evakuierungsprozess	15
2 Praktischer Teil 1	17
2.1 Warum und wie simuliert man Evakuierungen?	17
2.2 Überprüfung des Konzeptes mit einer Simulation	20
2.2.1 Erfassen der Daten	21
2.2.2 Digitalisieren der Daten	25
3 Praktischer Teil 2	31
3.1 Simulationsergebnisse	31
3.1.1 Daten aus den Simulationen	32
3.1.2 Zusammenfassung	36
3.2 Grundsätzliche Optimierungen	37
3.3 Konkrete Optimierung für das Zentrum Neuwiesen	38
3.4 Überprüfung der vorgeschlagenen Optimierungsmassnahmen	40
4 Fazit	42
Bibliographie	43
Abbildungsverzeichnis	44
Tabellenverzeichnis.....	45

Abstract

In der dieser Semesterarbeit wird aufgezeigt, wie sich durch den Einsatz von Simulationstools Evakuierungskonzepte optimieren lassen.

Die Arbeit richtet sich auf das Beispiel des Einkaufszentrums Neuwiesen in Winterthur aus.

Durch die Aufarbeitung der feuerpolizeilichen Gesetze und Verordnungen und der geltenden Evakuierungskonzepte des Einkaufszentrums, werden die Grundlagen für die durchgeführte Computersimulation geschaffen. Durch die genaue Betrachtung von psychologischen Aspekten während eines Notfalles werden zudem die Einflüsse des Menschen im Evakuierungsprozess thematisiert.

In zwei praktischen Teilen behandelt die Arbeit den Einsatz von Computersimulationen. Einerseits wird die Simulation im Allgemeinen, andererseits die Überprüfung der Evakuierungskonzepte des Einkaufszentrums Neuwiesen im konkreten Falle untersucht.

Dank dieser Simulationen lassen sich spezifische Kapazitätsengpässe im Einkaufszentrum aufzeigen. Mögliche Optimierungsmassnahmen werden in weiteren Simulationsläufen auf ihre Wirksamkeit untersucht. Markante Verbesserungen im zweistelligen Prozentbereich sprechen für die vorgeschlagenen Optimierungen.

Die Resultate der Arbeit sprechen für den Einsatz von Simulationstools, um bestehende Evakuierungskonzepte punktuell zu optimieren und die Sicherheit der Kunden in Einkaufszentren zu erhöhen.

1 Einführung

1.1 Motivation

Fast alltäglich gehen wir in grosse Einkaufszentren, benutzen überfüllte Bahnofsunterführungen oder Terminals in Flughäfen und nicht selten vergnügen wir uns bei einem Konzert zusammen mit Tausenden von Fans. Wer achtet dabei auf die Beschilderung, der wir in einem Notfall folgen müssten? Was bringen solche Hinweistafeln und was steckt hinter einem Notfallkonzept?

Mit solchen Fragen beschäftigen sich die wenigsten Menschen im Alltag. Darum müssen Betreiber von öffentlichen Anlagen Vorkehrungen treffen, damit im Ernstfall die Rettung aller gelingen kann. Da in einem öffentlichen Gebäude zudem Evakuierungsübungen nur sehr schwer geübt werden können, sind Aussagen über den Ablauf einer Evakuation nur schwer möglich.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit Fussgängerbewegungen, speziell mit der Analyse des Evakuierungskonzeptes des Einkaufszentrums Neuwiesen in Winterthur¹ und der relevanten rechtlichen Bestimmungen.²

Die nachfolgende These soll in dieser Arbeit überprüft werden:

Mit Hilfe von Simulationstools lassen sich die Auswirkungen einer Evakuierung in einem Einkaufszentrum auswerten und bestehende Evakuierungskonzepte optimieren.

Das Evakuierungskonzept des Einkaufszentrums Neuwiesen soll betrachtet und überprüft werden. Mit Hilfe einer Simulation können zudem die Auswirkungen eines Notfalles und Verbesserungsvorschläge aufgezeigt werden.

Es soll gezeigt werden, ob Computersimulationen eine Möglichkeit sind, Evakuierungsübungen zu ersetzen oder zu ergänzen.

¹ Informationen zum Einkaufszentrum Neuwiesen in Winterthur sind auf www.neuwiesen.ch und im Abschnitt 1.4 dieser Arbeit zu finden.

² Die Arbeit basiert auf dem Skript "Modellierung, Simulation und Regelung von Transportsystemen" des Faches Transportsysteme 1 (TSY1) im Studiengang Aviatik der ZHAW. Es behandelt Themen des Kapitels 13, Mikroskopische Modelle für Fussgängerbewegungen, ab S. 150.

1.2 Der Begriff "Kapazität"

Um die verschiedenen Engpässe im Verkehr allgemein besser zu verstehen, muss die Definition des Begriffes Kapazität beleuchtet werden:

Der Begriff Kapazität hat seinen Ursprung im Lateinischen:
„capacitas“ bedeutet Fassungsvermögen.³

Der Duden liefert für die Kapazität eine umfassendere Definition:

"Das mengenmäßige Leistungsvermögen von Betriebsmitteln (z.B. Produktionsanlagen) pro Zeiteinheit. Dabei kann es sich um die Leistungsfähigkeit einer Maschine, z.B. Ausbringungsmenge je Stunde, handeln oder um die Leistungsfähigkeit eines Betriebes, z.B. maximal mögliche Fertigungsmenge pro Jahr. Zu unterscheiden ist die technisch mögliche Maximalleistung (*Kapazitätsgrenze*), die möglicherweise zu erhöhtem Verschleiß und Ausschuss führt, und die wirtschaftlich optimale Auslastung der Anlagen (z.B. Kapazität mit den geringsten Kosten pro Ausbringungseinheit)."⁴

Der Begriff Kapazität wird in vielen wissenschaftlichen Disziplinen verwendet und hat in jedem dieser Gebiete seine eigene Bedeutung.

Tabelle 1: Anwendung des Begriffes Kapazität auf verschiedene Themengebiete⁵

<i>Wissenschaftsgebiet</i>	<i>Bedeutung</i>
Elektrotechnik	Mass für die Fähigkeit eines Körpers oder eines Systems, elektrische Ladung zu speichern
Informatik	Datenfassungsvermögen einer Speicher-Hardware
Informationstheorie	Maximale Bitrate einer fehlerfreien Datenübertragung
(Lern-) Psychologie	Lernvermögen einer Person
Thermodynamik	Vermögen eines Körpers, Energie in Form von Wärme zu speichern
Verkehr	Maximaler Verkehrsfluss bzw. maximale Leistungsfähigkeit einer Verkehrsanlage
Wirtschaftswissenschaften	Produktionsleistung oder Gesamtheit der Produktionsstätten

Wird das Interesse auf das Wissenschaftsgebiet Verkehr gerichtet, so ist schnell erkennbar, dass es keine generelle Definition von Kapazität gibt. Der Begriff Kapazität muss demnach, je nach Themengebiet, genau deklariert werden.

³ Skript TSY-1, Modellierung, Simulation und Regelung von Transportsystemen, Kapitel 1, S. 21

⁴ Duden Wirtschaft von A bis Z. Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag. 2. Aufl. Mannheim: Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus 2004. Lizenzausgabe Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung 2004.

⁵ Skript TSY-1, Modellierung, Simulation und Regelung von Transportsystemen, Kapitel 1, S. 21

Tabelle 2: Genaue Definition des Begriffs Kapazität für die spezifischen Gebiete⁶

Transport-Mode (M) bzw. Transport-Objekt (O)	Praktische Definition des Begriffs Kapazität
Strassenverkehr (M)	Maximale Fahrzeuge/Stunde/Fahrspur
Luftverkehr (M)	Maximale Anzahl Flugzeuge pro Stunde pro Volumenelement (im „Flugkanal“)
Schienenverkehr (M)	Maximale Anzahl Züge pro Stunde pro Linie
Personenverkehr (O)	Maximale Anzahl Personen pro Minute pro Meter (gemessen quer zur Bewegungsrichtung)
Frachtverkehr/Logistik (O)	Maximale Menge an Frachtgut pro Stunde (z.T. auch Tonnen pro Stunde) oder Frachtstücke pro Stunde (z.B. Pakete)

Ist die Nachfrage grösser als das Angebot, wird von einem Kapazitätsengpass gesprochen. Das System ist überlastet und es kommt im Bereich Verkehr zu Verspätungen oder Stau.

Stauungen können vor allem im Fussgängerverkehr zu erhöhten Gefahren führen. So muss es das Ziel sein, im Falle einer Evakuierung keine Stauungen aufkommen zulassen. Kapazitätsengpässe werden deshalb bereits in der Planungsphase möglichst verhindert.

Beispiele im Fussgängerverkehr, welche Kapazitätsengpässe verursachen können:

- Zu enge Gehwege
- Schlecht dimensionierte Rolltreppen oder Lifte
- Hindernisse in Durchgängen
- Ströme, die ungenügend aufeinander abgestimmt sind (beispielsweise unnötige Kreuzungen von Personenströmen)

1.3 Aktuelle Vorfälle

Eine schnelle und vor allem sichere Evakuierung in einem öffentlichen Gebäude bedingt ein gutes Evakuierungskonzept, welches allen Mitarbeitern bekannt ist.

Wie folgendes Beispiel des Glattzentrums in Wallisellen⁷ aufzeigt, liegt das Problem oft vor allem bei der praktischen Umsetzung des Evakuierungskonzeptes.

Das Glattzentrum hatte im Jahr 2008 gleich zwei Evakuierungen zu verzeichnen. Die erste Evakuierung wurde aufgrund einer Bombendrohung ausgelöst. Dabei mussten über 2000 Kunden evakuiert werden. Ein falscher Brandalarm bedingte die zweite Evakuierung. Dabei mussten ca. 3500 Kunden evakuiert werden. Im Folgenden wird auf die Evakuierung wegen der Bombendrohung genauer eingegangen.

Glattzentrum evakuiert wegen Bombendrohung

Durch ein Telefonat wurde dem Einkaufszentrum mitgeteilt, dass um 19.00 Uhr eine Bombe explodieren werde. Folgende Pannen traten bei der Evakuierung auf:

- Noch lange nach der Aufforderung zur Räumung des Gebäudes konnten die Besucher ungehindert ins Parkhaus zu ihren Autos gelangen. Die meisten Autobesitzer versuch-

⁶ Skript TSY-1, Modellierung, Simulation und Regelung von Transportsystemen, Kapitel 1, S. 22

⁷ Das Glattzentrum in Wallisellen (ZH) ist eines der grössten Einkaufszentren der Schweiz.

ten, das Parkhaus mit hohen Tempi schnellstmöglich zu verlassen. Wer lässt in einer solchen Situation schon gerne sein Auto stehen? Wer erst nach längerer Zeit aus dem Glattzentrum kam, wurde nicht mehr ins Parkhaus eingelassen, denn die Eingänge wurden von den Sicherheitsleuten bis zur Entwarnung blockiert. Es war jedoch kein Problem, über die reguläre Auffahrt ins Parkhaus zu fahren. Auf dem Weg ins Parkhaus deutete nichts auf eine Ausnahmesituation hin

- Die evakuierten Personen wurden nach Verlassen des Gebäudes vorerst nicht angewiesen, sich zu entfernen. Direkt vor dem Eingang des Glattzentrums sammelte sich eine Menschenmasse, welche sich immer noch in der Gefahrenzone befand und den Fluchtweg versperrte.
- Einige Angestellte wurden zudem zu spät, also erst nach 19 Uhr evakuiert. Da der Bombendroher die Explosion auf 19 Uhr angekündigt hatte, wäre dies zu spät gewesen.

Marcel Stoffel, Geschäftsführer des Glattzentrums, lässt die Vorwürfe einzelner Evakuierter nicht gelten. „Kein Fall ist wie der andere. Man kann natürlich immer was verbessern. Auf eine Evakuierung des Glattzentrums war man in der Praxis jedoch nicht vorbereitet“, sagt Stoffel.⁸

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Einkaufszentren wohl im Besitz eines geprüften Evakuierungskonzepts sind. Im Ernstfall kann das Konzept oftmals aber nur begrenzt befolgt werden. Auf Übungsevakuierungen wird wegen der hohen Kosten und der schwierigen Umsetzbarkeit meist verzichtet. Somit wird in der Praxis darauf vertraut, dass die Wahrscheinlichkeit für eine Evakuierung sehr klein ist. Dies geht auch aus einem Interview mit Bruno Benz, Zentrumsleiter Neuwiesen, hervor.⁹

⁸ Neue Zürcher Zeitung, Glattzentrum evakuiert wegen Bombendrohung, 3. Januar 2008

⁹ Teile des Interviews mit dem Zentrumsleiter Neuwiesen sind als Gesprächsprotokoll im der Arbeit beiliegenden Zusatzdokument auf Seite 9 aufzufinden.

1.4 Allgemeine Situation

Einkaufszentren bieten unzählige und unterschiedlichste Waren für den Alltag an. In den letzten Jahren wurden Einkaufszentren zudem immer mehr zu gesellschaftlichen Anziehungspunkten.

Auch das Einkaufszentrum Neuwiesen ist einer dieser Anziehungspunkte. Es bietet in 58 verschiedenen Geschäften unterschiedlichste Dienstleistungen an, von Elektronik über Blumen bis Esswaren ist alles Erdenkliche zu erwerben. Das Einkaufszentrum erstreckt sich über eine Fläche von ca. 10'000 m² und vier Verkaufsebenen. Etwa die Hälfte der Verkaufsfläche wird von der Migros Ostschweiz¹⁰ belegt, der Rest ist auf kleinere Geschäfte aufgeteilt.

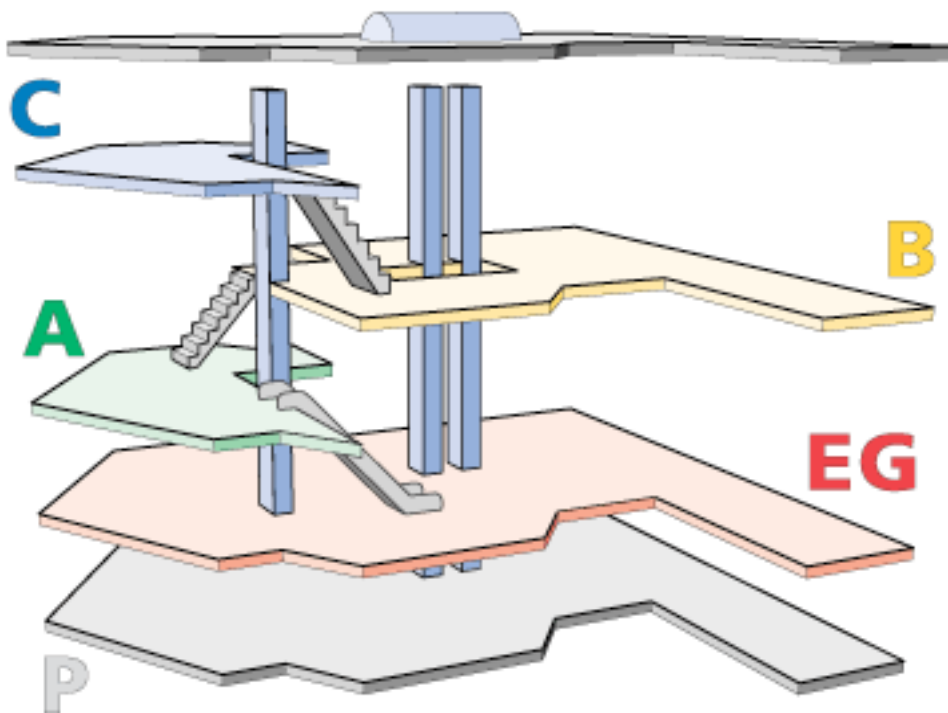


Abbildung 1: Das Einkaufszentrum Neuwiesen verfügt über zwei Hauptebenen (EG und B), sowie über zwei Zwischenebenen (A und C). Darunter erstreckt sich über drei Untergeschosse das Parkhaus mit 520 Parkplätzen. (Quelle: www.neuwiesen.ch)

Dank der zentralen Lage, nahe des Hauptbahnhofes Winterthur, ist das Einkaufszentrum Neuwiesen gut mit dem öffentlichen Verkehr erreichbar. Doch auch für den Individualverkehr ist die Anfahrt gesichert. In einem Parkhaus mit drei Untergeschossen sind 520 Parkplätze verfügbar.

Das Gebäude des Einkaufszentrums wird nicht nur als Verkaufseinrichtung genutzt. Es beherbergt zusätzlich ein Büro- und ein Wohngebäude. Diese Bereiche des Gebäudes werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Die Infrastruktur zieht viele Leute an. So können sich beispielsweise gleichzeitig über 600 Personen alleine in den Verkaufsgeschäften der Migros aufhalten. Genaue Besucherzahlen sind schwer zu ermitteln. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass das Einkaufszentrum öffentlich zugänglich ist und eine Zählung praktisch nicht durchführbar ist.

¹⁰ Die Migros Ostschweiz ist eine der zehn Genossenschaften der Migros Gruppe. Weitere Informationen über die Migros finden sich im Internet auf der Seite:

http://www.migros.ch/DE/Ueber_die_Migros/Das_Unternehmen/Seiten/Das_Unternehmen.aspx

Die grossen, aber nicht genau zu bestimmenden Besucherzahlen bergen bei Zwischen- oder Notfällen gewisse Probleme und Gefahren:

- Die grossen Massen müssen möglichst schnell und geordnet aus dem Einkaufszentrum geführt werden können.
- Es kann nach einer Evakuierung nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob alle Besucher ins Freie gelangt sind.

Um die Sicherheit der Kunden zu gewährleisten, bestehen im Einkaufszentrum Neuwiesen Sicherheitskonzepte. Das Einkaufszentrum mit den unterschiedlichen Geschäften verfügt über ein globales Evakuierungskonzept, welches durch jeden Geschäftsinhaber umgesetzt werden muss. Die Migros verfügt über ein eigenes, separates Konzept, welches sich jedoch stark an die Vorschriften des restlichen Einkaufszentrums anlehnt.

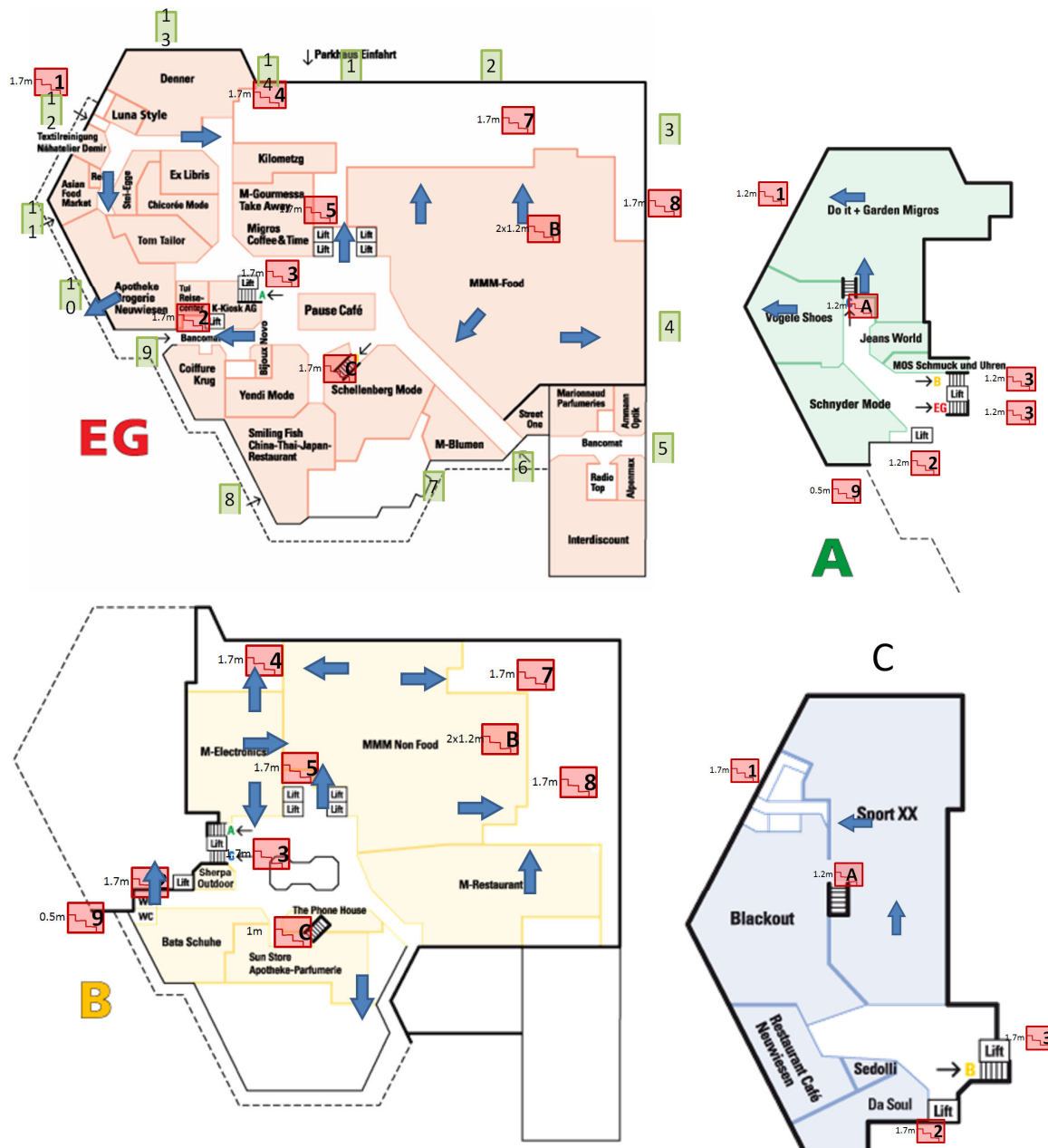


Abbildung 2: Die einzelnen Stockwerke des Einkaufszentrums. Die Ausgänge sind grün markiert, die Treppen rot und die Notausgangsschilder blau. Die Nummerierung wird bei der Simulation zur Identifikation der einzelnen Elemente verwendet.

1.5 Evakuierungskonzept Einkaufszentrum Neuwiesen

1.5.1 Konzept

Die Leitung des Einkaufszentrums Neuwiesen gibt ein Notfallkonzept heraus, an welches sich alle eingemieteten Geschäfte zu halten haben. Zusätzlich gibt es ein internes Reglement der Migros. Wie schon erwähnt, überschneiden sich die beiden Konzepte grösstenteils. Das Konzept der Migros beinhaltet zusätzlich eine Liste, in welcher ersichtlich ist, welcher Angestellte bei einer Evakuierung den Kunden den Weg zu jedem Notausgang weist. So soll sichergestellt werden, dass die Kunden die Notausgänge schnell finden.

1.5.2 Aufbau des Konzeptes

Wie bei grösseren Gebäuden üblich, sind im Einkaufszentrum Neuwiesen etwa alle zehn Meter Notausgänge zu finden. Es existiert eine Notfallbeleuchtung, welche durch einen Generator betrieben wird. Bei einem Brandfall gehen die Schiebetüren des Haupteinganges automatisch auf und bleiben geöffnet. Die Lifte fahren in das Erdgeschoss und werden, wie auch die Rolltreppen, automatisch blockiert.¹¹

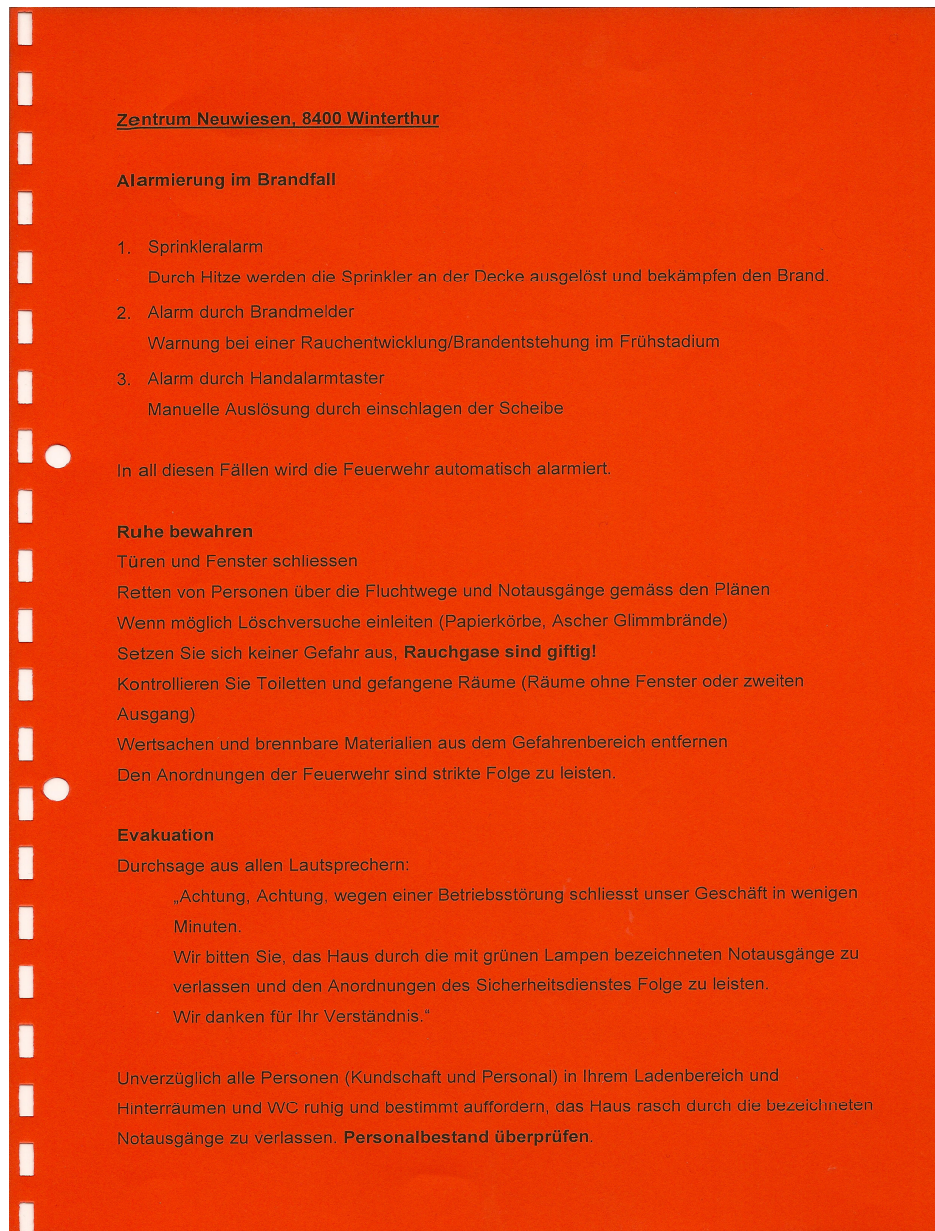


Abbildung 3: Auszug aus dem Evakuierungskonzept des Einkaufszentrums Neuwiesen für einen Feueralarm der an alle Geschäfte abgegeben wurde. Es stellt sich die Frage, ob bei einer Durchsage der Grund für das Verlassen mitgeteilt werden soll, oder aufgrund von möglichen Panikattacken darauf verzichtet werden soll (vgl. Kapitel 1.7).

¹¹ Aussage Willi Marthaler, Hausdienst Neuwiesen, während einem Interview. Ergebnisse aus dem Interview können im Zusatzdokument auf Seite 9 nachgelesen werden. Ausserdem finden sich die relevanten gesetzlichen Bestimmungen in der Brandschutznorm in: §48 Abs.4 (Automatische Schiebetüren), §51 Abs.1, Abs.2 (Notfallbeleuchtung), §81 (Aufzüge).

1.6 Feuerpolizeiliche Gesetze als entscheidende Punkte der relevanten Sicherheitskonzepte

Um in der Simulation¹² von richtigen Werten ausgehen zu können, werden hier die gesetzlichen Bestimmungen erläutert.

Gebäude müssen gewissen Normen entsprechen, damit die Sicherheit für Nutzer und Bewohner gewährleistet werden kann. Sind Gebäude öffentlich zugänglich, stellt sich die Frage nach der Sicherheit der Benutzer umso mehr, denn im Falle eines Notfalles müssen oft viele Personen geschützt und evakuiert werden. Gewisse Gesetze und Verordnungen regeln die Sicherheit in Gebäuden. Für diese Seminararbeit sind die Vorgaben des Brandschutzes¹³ massgebend. Ein Beispiel für Arbeiten im Bereich Brandschutz zeigt eine Studienarbeit an der Technischen Universität Braunschweig¹⁴. Die Arbeit befasst sich mit der Evakuierung einer Diskothek in Berlin. Die gesetzlichen Grundlagen beziehen sich daher auf Deutschland. Trotzdem sind die Grundsätze auch in der Schweiz anwendbar. Die Schweizer Grundlagen werden nachfolgend diskutiert.

Auf Bundesebene¹⁵ ist festgehalten:

"Den Kantonen bleibt vorbehalten, über die Feuerversicherung polizeiliche Vorschriften zu erlassen."

Somit definieren die Kantone spezifische Vorgaben über den Brandschutz. Im Kanton Zürich wird dies in zwei Gesetzen und zahlreichen Verordnungen ausgeführt. Das Planungs- und Baugesetz schreibt generell vor, dass Bauten den Geboten des Brandschutzes genügen müssen¹⁶. Im Gesetz über die Feuerpolizei und das Feuerwehrwesen werden verschiedene für diese Arbeit relevante Punkte definiert¹⁷.

- Die Gemeinden sind für die Feuerpolizei zuständig, wenn nicht die Kantonale Feuerpolizei zuständig ist.
- Die Kantonale Feuerpolizei und Feuerwehr wird durch die Gebäudeversicherungsanstalt ausgeübt.
- Der Regierungsrat erlässt Vorschriften über die Feuerpolizei und das Feuerwehrwesen.
- Die Kantonale Feuerpolizei kann weitere Bestimmungen erlassen.
- Die Kantonale Feuerwehr kann den Gemeinden Weisungen erteilen.
- Die Feuerpolizei stellt in einem Gebäude die Fluchtwege sicher.

¹² Die Simulation wird ab Kapitel 2 behandelt.

¹³ Unter Brandschutz versteht man alle Maßnahmen, die der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorbeugen und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten ermöglichen. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Brandschutz>)

¹⁴ Ehm, Markus; Linxweiler, Jan (2004): Berechnung von Evakuierungszeiten bei Sonderbauten mit dem Programm buildingExodus. Technische Universität Braunschweig. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz. (siehe auch: <http://www.bau-ings.de/exodus/index.htm> [Stand: 04.12.2008])

¹⁵ siehe "Bundesgesetz betreffend der Aufsicht über Versicherungsunternehmen" (SR 961.01) http://www.admin.ch/ch/d/sr/961_01/index.html

¹⁶ Planungs- und Baugesetz (700.1) §239 Abs.3

¹⁷ Gesetz über die Feuerpolizei und das Feuerwehrwesen (861.1) §1 Abs.1, §2 Abs.1, §5, §14 Abs.1, Abs.2, §24, §24a Abs.3 §36 Abs.1, Abs.2

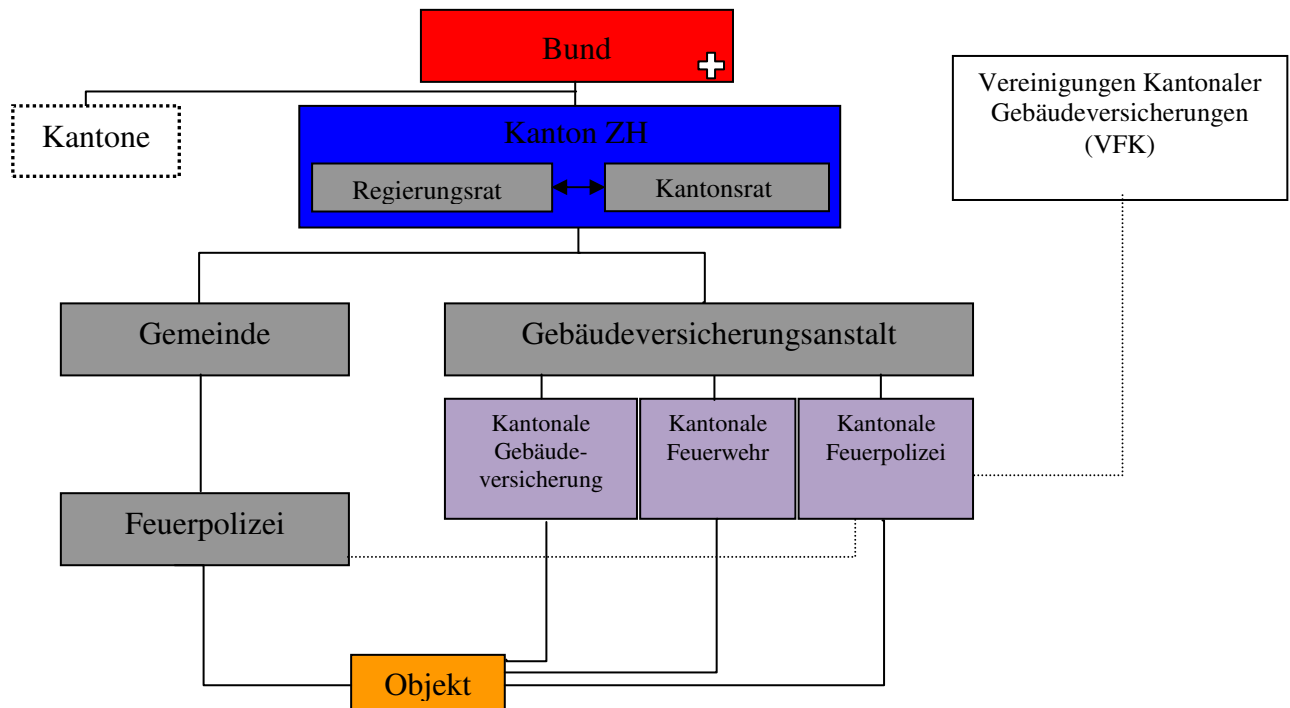


Abbildung 4: Der Brandschutz wird durch eine hierarchische Organisation geregelt. Direkt kontrolliert wird ein Objekt von den Feuerpolizeien der Gemeinden und der Kantonalen Feuerpolizei. Bund und Kantone erlassen unterschiedlichste Regelungen.

Der Regierungsrat des Kantons Zürich hat gemäss der oben beschriebenen gesetzlichen Verpflichtung eine "Verordnung über den vorbeugenden Brandschutz (VVB)" geschaffen, in der ausführende Bestimmungen festgesetzt werden.

In der VVB verweist der Regierungsrat auf die Brandschutznorm und die Brandschutzrichtlinien¹⁸. Diese Normen und Richtlinien werden von der Kantonalen Feuerpolizei¹⁹ des Kantons Zürich ausgearbeitet.

Die Kantonalen Feuerpolizei ist Teil der Gebäudeversicherungsanstalt. Total besteht die Anstalt aus drei Fachstellen. Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über deren Aufgaben.

¹⁸ Brandschutznorm und Brandschutzrichtlinie finden sich unter (<http://bsvonline.vkf.ch/>).

¹⁹ Die Kantonalen Feuerpolizeien verschiedener Kantone sind zur Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VFK) zusammengeschlossen (siehe Abbildung 4) und erlassen die Ausführungsbestimmungen gemeinsam. Diese Aufgaben werden im Auftrag des "Interkantonalen Organ Technische Handelshemmnisse" ausgeführt. Das Organ bezweckt technische Handelshemmnisse zwischen der Schweiz und dem Ausland, aber auch zwischen den Kantonen abzubauen. Im Jahr 2002 waren dem Organ 19 Kantone beigetreten; der Kanton Zürich ist einer davon.

Tabelle 3: Organisation der Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons Zürich (Quelle: <http://www.gvz.ch>)

Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons Zürich		
Kantonale Gebäudeversicherung	Kantonale Feuerpolizei	Kantonale Feuerwehr
• versichert alle Gebäude im Kanton Zürich gegen Feuer-, Elementar- und Erdbebenschäden • führt den Gebäudekataster • schliesst Bauzeitversicherungen ab • bearbeitet Schätzungen und Schadenfälle • erhebt Prämien	• legt Brandschutzmassnahmen fest • unterstützt die Gemeindefeuerpolizei • bildet Feuerpolizei, Planer und Bauschaffende aus • erteilt Bewilligungen für gefährliche Stoffe und Waren • erlässt Ausführungsbestimmungen • subventioniert Brandschutzmassnahmen • führt Begutachtungen / Abnahmen / Kontrollen von Brandmelde- und Sprinkleranlagen durch	• erlässt Feuerwehrvorschriften • unterstützt die Gemeinde- und Betriebsfeuerwehren • bildet Feuerwehrleute aus • organisiert und finanziert die Feuerwehrstützpunkte und Alarmzentralen • subventioniert die Feuerwehren und Wasserversorgung

Das für die Seminararbeit relevante Einkaufszentrum Neuwiesen gilt nach der Brandschutznorm als ein "Verkaufsgeschäft", da die Verkaufsfläche mehr als 1200m² beträgt. Zudem gelten die drei Untergeschosse als "Parkhaus und Einstellraum für Motorfahrzeuge", da die Grundfläche mehr als 150m² beträgt.

In Brandschutznorm und Brandschutzrichtlinie werden verschiedene Begriffe definiert, nach denen Gebäude wie das Einkaufszentrum Neuwiesen gebaut werden müssen, um dem Brandschutz zu genügen²⁰:

- Fluchtweglänge
- Fluchtwegbreiten
- Ausgänge
- Treppenanlagen und Treppenhäuser
- Korridore
- Türen
- Automatische Schiebe- und Drehtüren
- Rettungszeichen und Sicherheitsbeleuchtung
- Personenbelegung
- Raumausgänge
- Verkehrswege
- Schleusen

²⁰ Die Richtlinien können im beigelegten Zusatzdokument ab Seite 4 nachgelesen werden.

1.7 Psychologie - Einfluss des Menschen im Evakuierungsprozess

Der genaue Ablauf einer Evakuierung ist unberechenbar. Die Charakteristik und das Verhalten des Menschen in Krisensituationen entscheiden über den Erfolg der Evakuierung. Deswegen muss ein gutes Evakuierungskonzept verschiedene Parameter beachten, die direkt mit dem Menschen verbunden sind und einen Einfluss auf die Zeit und den Ablauf einer Evakuierung haben. Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf Untersuchungen des "Institut national d'études de la sécurité civile"²¹ in Frankreich.

Mehrere Parameter, welche die Voraussetzungen des Menschen betreffen, haben einen Einfluss auf den Evakuierungsprozess:

- **Kenntnis über das Gebäude:** Personen, die oft in einem Gebäude sind haben eine gute Vorstellung, wo die Haupteingänge sind und wie sie evakuieren können. Die regelmässige Benützung eines Gebäudes bringt aber nicht immer gute Kenntnisse der Notausgänge. Es sei auch bemerkt, dass die Mehrheit der Leute das Gebäude durch den gleichen Weg verlassen, den sie auch für den Eintritt benützt haben, obwohl dies nicht immer eine rationale Entscheidung ist. Demgegenüber sind Personen ohne Gebäudekenntnis gefährdet, verloren zu gehen und den Fluchtweg nicht zu finden.
- **Räumliche Orientierung:** Dieser Parameter ist ein fundamentales Element. Es ermöglicht dem Individuum, eine eigene Strategie zur Evakuierung zu erarbeiten.



Abbildung 5: Lumineszierender Weg in einem Treppenhaus bei Dunkelheit

- **Fluchtverhalten:** Das Fluchtverhalten von Leuten in einem unbekannten Umfeld. Licht spielt in diesem Fall eine grosse Rolle. Im Notfall gehen viele Menschen lieber durch einen weiter entfernten, sichtbaren und/oder bekannten Ausgang, als dass sie einen näheren, nicht sichtbaren Ausgang benützen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass ein unsichtbarer Evakuierungsweg von der Wahrnehmung ignoriert wird - ein unsichtbarer Weg ist kein Weg. Zudem zeigen Untersuchungen²², dass sichtbare Anweisungen am Boden viel effizienter sind als akustische Einweisungen.

- **Alter, Mobilität und Erfahrung von Personen:** Jeder Mensch zeigt unterschiedliche Reaktionen in Notsituationen. Einige wissen sich gut zu helfen und bleiben ruhig. Andere brauchen Hilfe und geraten in Panik. Ihre Handlungsweise ist oft nicht mehr rational. Das Verhalten dieser Personen macht den Ablauf einer Evakuierung komplexer und den Ausgang unsicherer.

²¹ L'évacuation d'un ERP, Institut national d'études de la sécurité civile (INESC), Nainville-les-Roches (Fr) 2002

²² Genauere Informationen zur Untersuchung sind im Internet unter http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/fr/frhb/fra_Photosluminescent_f.html erhältlich

In einer unerwünschten Situation reagieren diese Personen in einer ersten Phase mit folgenden Verhalten:

- Vermeidung und Negierung des Ereignisses
- Mühe die Aufmerksamkeit auf die geänderte Situation zu lenken

Deswegen genügt oft nicht nur die Wahrnehmung eines Evakuierungssignals, um die Personen dazu zu bringen, das Gebäude zu verlassen. Das Signal muss mit einer zusätzlichen Information verstärkt werden, zum Beispiel indem Angestellte den Fluchtweg zeigen.

Nach Beginn der Evakuierung, tauchen andere Verhalten auf, die den Ablauf beeinflussen:

- Zugehörigkeit: Bekannte werden sich vor der Evakuierung zusammenschliessen (Eltern und Kinder, befreundete Mitarbeiter, etc.). Dass heisst, dass eine Gruppe sich erst evakuieren lässt, wenn alle Mitglieder vereinigt sind. Die Gruppe wird sich zusätzlich dem langsamsten Mitglied anpassen und wird lieber durch einen bekannten Fluchtweg als durch einen unbekannten Notausgang fliehen.
- Rolle: Besucher und Angestellte zeigen unterschiedliches Verhalten in einer Krisen-Situation. Die Besucher nehmen eher ein passives Verhalten an und warten auf Hinweise und Befehle. Angestellte orientieren sich oft am Chef.
- Imitation: Dieses Verhalten bezeichnet die Tendenz, das zu machen, was andere auch machen. Personen die unsicher sind, gehen mit Personen, die sicher wirken. Führungspersonen können spontan auftreten, indem sie andere Leute überzeugen, einen bestimmten Weg zu gehen oder an einem Ort zu warten. Auch wenn die Masse in eine falsche Richtung läuft, wird eine einzelne Person dieser trotzdem folgen.
- Panik: Die Panik ist das Ergebnis von psychologischen Effekten des Stresses während einer Evakuierung. Sie ist nicht die Ursache für eine schlechte Evakuierung, sondern eine Auswirkung. Panik taucht auf, wenn jemand blockiert, geschwächt und auf sich alleine gestellt ist. Sie taucht auch auf, wenn der starke Wunsch nach der Flucht auftritt und ein Hindernis auftaucht, das unüberwindbar scheint. Irrationales Verhalten tritt oft zusammen mit Panik auf. Dies tritt vor allem in grossen Menschenmassen, die sich nur langsam verschieben und schlecht durch Engpässe gelangen können, auf.

Nach diesen grundlegenden, einführenden Abschnitten, befasst sich das nächste Kapitel mit der Simulation von Evakuierungsprozessen und Personenströmen im Allgemeinen.

2 Praktischer Teil 1

2.1 Warum und wie simuliert man Evakuierungen?

Vor einer Simulation²³ stellt sich immer die Frage, inwieweit sich ein System simulieren lässt und was die Ziele sein sollen. So wird vor dem Bau einer zusätzlichen Schiene bei einer Zugverbindung aufgrund der enorm hohen anstehenden Kosten mit Sicherheit eine Simulation in den Planungsprozess einbezogen. Hingegen werden beim Bau eines kleinen Einkaufsladens lediglich bestimmte gesetzliche Bestimmungen umgesetzt. Dies stellt die Sicherheit im Falle eines Alarmes sicher. Der Entscheid für oder gegen eine Simulation wird vor allem auf eine Kosten- / Nutzenanalyse gestützt.

Wie in dieser Arbeit bereits erwähnt, ist eine inszenierte Evakuierung von einem grösseren Einkaufszentrum eine kostspielige Angelegenheit und es wird deshalb in der Regel darauf verzichtet.

Folgende Argumente begründen den Einsatz einer Simulation:

- Eine Simulation hilft das System grundlegend zu verstehen. Sie lässt es zu, Parameter auf Ihre Wichtigkeit zu untersuchen. Es können realistische Werte bestimmt werden, mit denen eine wirklichkeitsnahe Simulation ermöglicht wird.
- Mit Hilfe von Modellen lassen sich einzelne überschaubare Teilsysteme separat untersuchen (Vereinfachung).
- Es lassen sich Simulationsexperimente durchführen, mit denen bauliche Alternativen bereits während der Planungsphase untersucht werden können. Dies bedeutet erhebliche Einsparungen.
- Sie ermöglicht das Simulieren von Systemen, um die besten Betriebsmodi zu finden.
- Es können Faktoren, welche die Robustheit²⁴ des Systems beeinträchtigen (sensitive Parameterwerte), bestimmt werden.

Alle diese Faktoren helfen Fehlerquellen zu vermeiden und deshalb Kosten und Risiken zu vermindern. Es muss hier klargestellt werden, dass eine Simulation nie zu 100% mit der Realität übereinstimmen wird. Eine Simulation kann jedoch gute Anhaltspunkte liefern, um Fehler in einem Evakuierungskonzept zu beheben. Die Modellierung und Simulation hat sich in den letzten Jahren vor allem auch im Transportwesen gut etabliert und ist heute aus der Praxis nicht mehr wegzudenken.²⁵

Für eine angemessene Simulation müssen von einem realen System Daten erfasst werden können. Diese Phase ist meist sehr zeitaufwendig, jedoch wichtig, um das Modell möglichst real zu gestalten.

²³ Simulation ist eine algorithmische Technik, um Experimente mit einem mathematischen Modell durchzuführen, welches ein reales System darstellt, das sich mit der Zeit ändert.

²⁴ Robustheit des Systems: Parameterwerte können verändert werden, doch der Ablauf wird dadurch nur geringfügig verändert.

²⁵ Skript TSY-1, Modellierung, Simulation und Regelung von Transportsystemen, Kapitel 1, S. 24

Gemäss Expertenaussage von Matthias A. Braun der Braun Brandsicherheit AG in Winterthur²⁶, ist die Anwendung von Simulationen in Einkaufszentren nicht üblich. Dennoch werden für allgemeine Fussgängerbewegungen mikroskopische Modelle²⁷ angewendet. Nachfolgend soll erläutert werden, nach welchen Kriterien entsprechende Simulationen aufgebaut sind.

Das Verhalten der Fussgänger kann grundsätzlich auf drei Ebenen beschrieben werden, diese sind:²⁸

- **Strategische Ebene:** langfristige Entscheide werden getroffen, beispielsweise die Festlegung der Aktivitäten (pre-trip) wie auch die Reihenfolge, in welcher diese Aktivitäten ausgeführt werden sollen.
- **Taktische Ebene:** Aufbauend auf der strategischen Ebene, werden die kurz- bis mittelfristigen Entscheide gefällt. Dazu gehören die tatsächliche Wahl der Aktivitäten und/oder die Routenwahl (en-route). Weiter umfasst dies beispielsweise die Wahl des optimalen Pfades zwischen zwei Orten, an welchen die Aktivitäten ausgeführt werden (z.B. Billet-Automat und Zugstüre).
- **Operative Ebene:** Aufbauend auf der taktischen Ebene, wird auf der operativen Ebene die momentane physische Bewegung (Beschleunigung/ Bremsen, Richtung) des Fussgängers bestimmt. Diese Bewegung ist u.a. durch sein/ihr nächstes Ziel und die Interaktion mit anderen Fussgängern und Objekten (Wände, Hindernisse, Treppen etc.) bestimmt. Auf dieser Ebene spielen die Interaktionen (Fussgänger ↔ Fussgänger, Fussgänger ↔ Objekte) eine entscheidende Rolle.

Die operative Ebene soll genauer beschrieben werden:

In der Fachliteratur wird eine Vielzahl von Ansätzen zur Modellierung und Simulation von Fussgängerbewegungen (operative Ebene) diskutiert. Nachfolgend wird nur auf jene Art eingegangen, die in der durchgeführten Simulation angewandt wird.

Das Soziale Kräfte Modell²⁹ (SKM) beschreibt die Grundidee des Vorgehens. Es geht davon aus, dass Bewegungen von Personen durch unterschiedliche Kräfte veranlasst werden. Durch diese Tatsache wurde mit dem SKM ein mathematisches Modell formuliert, welches die verschiedenen auf die Fussgänger wirkenden Kräfte unterscheidet. Obwohl diese Idee stark an das dritte Newton'sche Gesetz³⁰ (actio = reactio) erinnert, gilt dieses für soziale Kräfte nicht.

²⁶ Matthias A. Braun wurde im Rahmen der Recherchen zu dieser Arbeit befragt.

²⁷ Für eine mikroskopische Betrachtung werden mindestens die Ortskoordinaten aller Personen und möglicherweise weitere Attribute wie z.B. ihre aktuellen Geschwindigkeiten benötigt.

²⁸ Skript TSY-1, Modellierung, Simulation und Regelung von Transportsystemen, Kapitel 1, S. 153

²⁹ Skript TSY-1, Modellierung, Simulation und Regelung von Transportsystemen, Kapitel 1, S. 154

³⁰ Kräfte treten immer paarweise auf. Übt ein Körper A auf einen anderen Körper B eine Kraft aus (actio), so wirkt eine gleichgroße, aber entgegengerichtete Kraft von Körper B auf Körper A (reactio)

Wird die Idee des SKM vereinfacht, können Potentialfelder angenommen werden. So wird jedem Ort, wo sich eine Person befindet, ein Potential zugeordnet. Zwischen Zielort, bei einer Evakuierung der Ausgang, und aktuellem Standort tritt ein Potentialunterschied auf. Dieser Unterschied bewirkt eine Kraft, welche eine Beschleunigung auf die Person generiert. So hat diese das Bestreben (vergleichbar mit der Elektrizitätslehre), das gleiche Potential zu erlangen, sprich zum Ausgang zu gelangen. Zwischen einer Wand und einem Fussgänger wirkt eine abstossende „soziale“ Kraft der Wand auf den Fussgänger. Es wirkt jedoch keine Kraft in umgekehrter Richtung. Deshalb widerspricht das SKM dem dritten Newton'sche Gesetz.

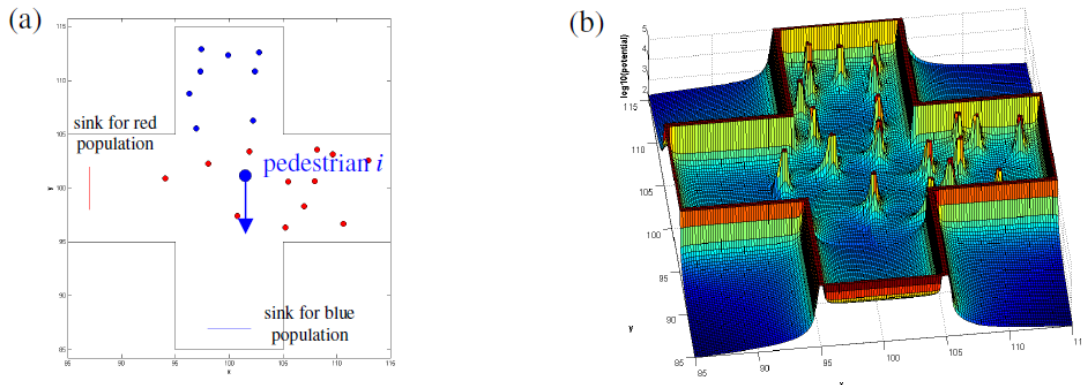


Abbildung 6: Visuelle Darstellung des Potentials von Fussgängerströmen. Die „roten“ Fussgänger gehen von links nach rechts, die „blauen“ von oben nach unten. In Grafik a) ist die momentane Position der Fussgänger dargestellt, in b) das Potentialfeld von den Fussgängern aus gesehen (z-Achse).³¹

Da solche Modelle nicht nur für Fussgängerbewegungen angewendet werden, kann man nicht immer von Personen sprechen. Darum wird meist der Begriff Agent verwendet.

*„Als Agent kann alles bezeichnet werden, das in der Lage ist seine Umwelt mittels Sensoren wahrzunehmen, aus dieser Information (mehr oder weniger komplexe) Entscheide abzuleiten und durch Aktoren wiederum auf seine Umwelt einzuwirken“.*³²

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird deshalb von Agenten die Rede sein.

³¹ Steiner, Albert; Philipp, Michel; Schmid, A.: Parameter Estimation for a Pedestrian Simulation. Swiss Transport Research Conference 2007, September 12-14, 2007, Monte Verità / Ascona 2007 (http://www.strc.ch/pdf_2007/steinerphilippschmid.pdf).

³² Skript TSY-1, Modellierung, Simulation und Regelung von Transportsystemen, Kapitel 1, S. 56

2.2 Überprüfung des Konzeptes mit einer Simulation

Nach einer grundsätzlichen Betrachtung von Simulationen im Fussgängerbereich sollen diese im konkreten Fall von Evakuierungen im Einkaufszentrum Neuwiesen angewandt werden. Folgende drei Ziele sollen dabei erreicht werden:

1. Das Konzept, respektive die Gebäudestruktur, bei einer realistischen Maximalfrequenz zu überprüfen.
2. Die Grenzen des Konzeptes aufzeigen.
3. Erstellen eines Massnahmenkatalogs, um die gefundenen Engpässe zu Überwinden

Um das bestehende Konzept zu überprüfen, sind drei grundlegende Schritte notwendig:

1. Erfassen der Daten: In diesem Schritt werden alle zur Simulation relevanten Daten gesammelt. (Abschnitt 2.2.1)
2. Digitalisieren der Daten: Die gesammelten Daten müssen dem Computer in einer Form präsentiert werden, mit der er die Simulation berechnen kann. (Abschnitt 2.2.2)
3. Simulation und Auswertung der Resultate: Die Simulation wird durchgeführt und die Resultate werden analysiert, um eventuelle Schwachpunkte lokalisieren zu können. (Kapitel 3)

Die nachfolgenden zwei Abschnitte (2.2.1 und 2.2.2) sind nach dem gleichen Prinzip aufgebaut. Zuerst wird jeweils auf die Gebäudestruktur eingegangen, nachfolgend werden die Agenten behandelt und abschliessend folgt die Auseinandersetzung mit weiteren Parametern.

2.2.1 Erfassen der Daten

Die Evakuierung und deren Simulation werden stark beeinflusst von der Gebäudestruktur, der Anzahl Menschen im Gebäude und der Reaktion dieser Menschen. Es ist daher wichtig, die Simulation mit möglichst korrekten Werten für diese Parameter durchzuführen.

Gebäudestruktur

Um eine realistische Simulation zu gewährleisten, ist eine korrekte Gebäudestruktur wichtig. Insbesondere die Breite von Fluchtwegen und Notausgängen ist entscheidend. Von der Leitung des Einkaufszentrums Neuwiesen konnten zu diesem Zweck die Grundrisspläne bezogen werden. Die Pläne waren jedoch teilweise veraltet und mussten angepasst werden. Die zusätzlich benötigten Daten wurden in einer Messkampagne ermittelt.

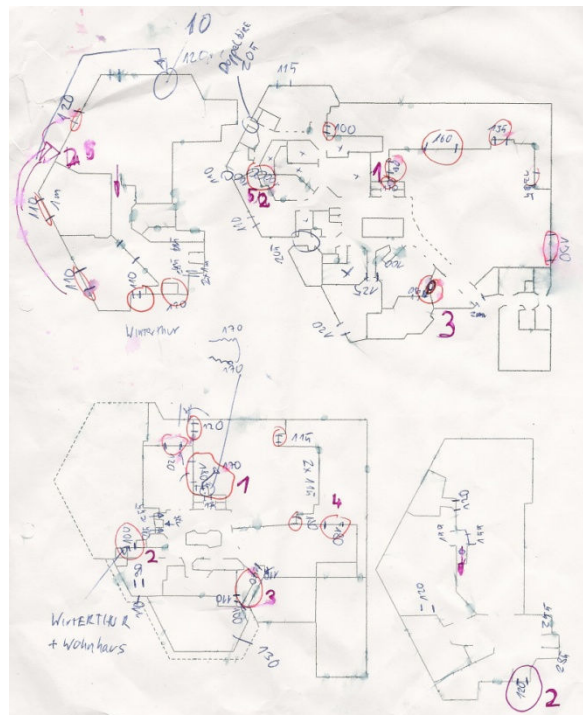


Abbildung 7: Die Türbreiten sind von grosser Wichtigkeit für ein realitätsstreu Simulation. Sie wurden deshalb von Hand ausgemessen und auf einen Plan übertragen.

Agenten

Die Simulation wird massgeblich von der Anzahl der Agenten, von deren Verteilung und Reaktion beeinflusst.

Ergibt sich bei einer Evakuierung beispielsweise ein Rückstau, so wächst die benötigte Zeit zur Aufhebung des Rückstaus linear mit der Anzahl der Agenten in diesem Rückstau. Deshalb muss die Anzahl der Agenten und deren Verteilung möglichst genau der Realität angepasst werden.

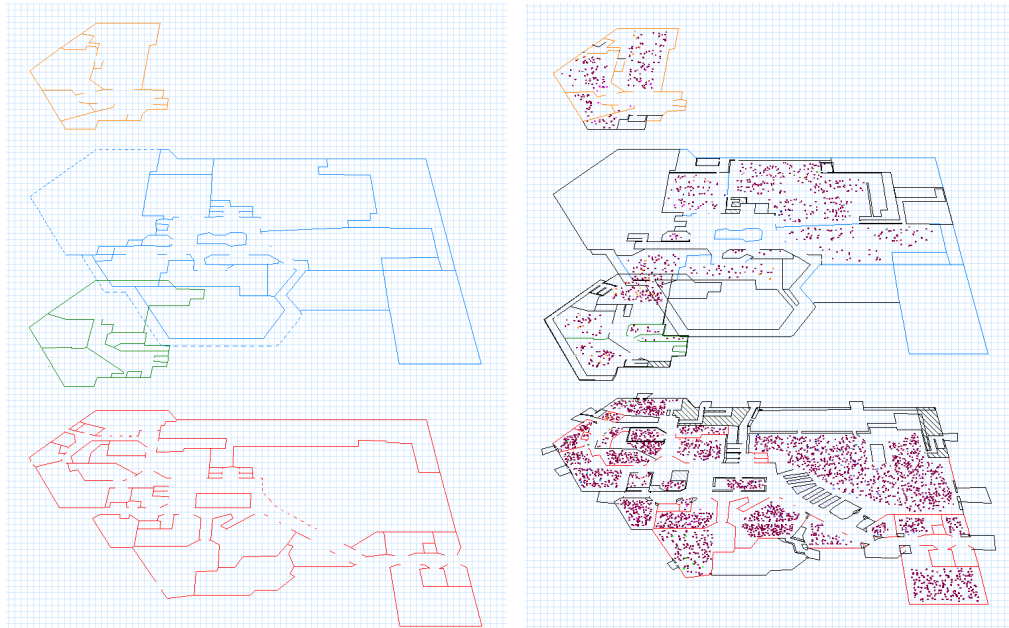


Abbildung 8: Die bearbeiteten Grundrisse (links) und die Pläne mit den Agenten (violette Punkte) an ihren Startpositionen für die Simulation (rechts). Es ist ersichtlich, dass die Personendichte im Erdgeschoss höher als in den darüber liegenden Geschossen ist.

Um einen Überblick über mögliche reale Evakuierungen zu bekommen, ist es nötig von verschiedenen Personendichten auszugehen. So kann auch der Einfluss der Dichte auf die Evakuierungszeit abgeschätzt werden.

Darum werden für die Simulation zwei Typen von Dichten definiert:

1. Genäherte Dichte:

Die einzigen erhältlichen Daten, die Aufschluss über die Personendichte zulassen, sind die Anzahl Bezahlvorgänge pro halbe Stunde in der Migros³³. Ein typisches Maximum liegt bei ca. 600 Bezahlvorgängen pro halbe Stunde. Erreicht wird diese Anzahl samstags gegen vier Uhr und unter der Woche jeweils über den Mittag.

Wird von einer halben Stunde Einkaufsdauer ausgegangen, ergibt dies 600 Personen, welche sich maximal in der Migros aufhalten. Bei einer Fläche von ca. 3000 m² gemäss Grundriss ergibt das eine Dichte von 0.2 Personen pro Quadratmeter. Da sich die Verkaufsfläche der Migros über Erdgeschoss und 1.Obergeschoss (inkl. Zwischengeschosse) erstreckt, kann davon ausgegangen werden, dass dieser Mittelwert näherungsweise der Dichte im gesamten Einkaufszentrum entspricht. Für die Simulationen wird dementsprechend von einer Dichte von 0.3 Personen pro Quadratmeter im Erdgeschoss und von einer Dichte von 0.1 Personen pro Quadratmeter in den anderen Geschossen ausgegangen.

2. Gesetzliche Dichte:

Die feuerpolizeilichen Gesetze schreiben vor, dass, sofern wie im vorliegenden Fall keine genauen Daten vorhanden sind, von einer Dichte von 0.5 Personen pro Quad-

³³ Die Informationen stammen von der Stv. Geschäftsführerin Barbara Neidhardt der Migros im Einkaufszentrum Neuwiesen. Ergebnisse aus dem Interview können im Zusatzdokument auf Seite 10 nachgelesen werden.

ratmeter im Erdgeschoss, 0.35 Personen pro Quadratmeter im 1.Obergeschoss und 0.2 Personen pro Quadratmeter für weitere Stockwerke auszugehen ist.³⁴

Die Reaktion der Menschen ist bei jeder Evakuierung unterschiedlich. Sie bestimmt jedoch massgebend den Ausgang der Evakuierung. Um eine Vorstellung von einer realen Evakuierung zu erhalten, ist es daher nötig, verschiedene konkrete Szenarien zu untersuchen.

Für die Simulation werden drei Reaktionsszenarien definiert:

1. Die Notausgänge werden gänzlich ignoriert. Die Agenten fliehen auf dem direktesten Weg aus dem Gebäude. Dieses Szenario berücksichtigt die Tatsache, dass Menschen in Notsituationen oftmals bekannte Ausgänge benutzen (vgl. Kapitel 1.7).
2. Die Agenten orientieren sich ausschliesslich an den Hinweisschildern des Einkaufszentrums. Ist keines sichtbar, so nehmen sie den kürzesten Weg ohne Berücksichtigung der Notausgänge.
3. 50% der Agenten agieren wie in Szenario 1, 50% wie in Szenario 2. Es kann davon ausgegangen werden, dass dieses Szenario am ehesten einer echten Evakuierung nahe kommt.

Die Szenarien 1 und 2 lassen gute Rückschlüsse auf Szenario 3 zu. Deshalb wird Szenario 3 nicht simuliert.

Aus der Kombination von Dichtetypen und Reaktionsszenarien lassen sich vier unterschiedliche Simulationsläufe definieren.

Tabelle 4: Die Kombination der Dichtetypen (Kopfzeile) und der Reaktionsszenarien (erste Spalte), lässt vier Simulationsläufe zu.

Reaktion/Dichte	Genäherte Dichte	Gesetzliche Dichte
Reaktionsszenario 1	Simulation 1	Simulation 2
Reaktionsszenario 2	Simulation 3	Simulation 4

Bei allen Szenarien wird davon ausgegangen, dass sich die Agenten innerhalb der ersten 30 Sekunden nach dem Auslösen des Alarmes in Bewegung setzen.

Weitere Parameter

Eine Evakuierung wird stark von der Geschwindigkeit der Agenten beeinflusst. Es wäre jedoch falsch anzunehmen, die Personen würden sich besonders schnell vorwärts bewegen. Dies mag der Fall sein, wenn Personen direkt mit einer Gefahr konfrontiert werden, wie im Fall eines Grossbrandes. In den meisten Fällen sehen die Personen die Gefahr jedoch nicht direkt und sind sich deshalb ihrer Reaktion unsicher. Dies bewirkt oft ein zögerliches Verhalten (vgl. Kapitel 1.7).

³⁴ Die massgebenden Personendichten sind im Anhang der Brandschutzrichtlinie geregelt. Siehe Anhang zur Ziffer 5.2.2 der Brandschutzrichtlinie (16-03d).

In Notfällen ist Panik unerwünscht, da diese erfahrungsgemäss viele Verletzte nach sich zieht. Dieser Punkt ist auch im Evakuierungskonzept des Einkaufszentrums Neuwiesen berücksichtigt. Es wird mit sehr ruhigen Worten auf eine Evakuierung aufmerksam gemacht (vgl. Kapitel 1.5.2).

In den Simulationen wird deshalb von Agenten ausgegangen, welche sich wie in normaler Umgebung verhalten.

Prof. Ulrich Weidmann der ETH Zürich berechnet in seiner Publikation "Transporttechnik für Fussgänger"³⁵ die durchschnittliche Gehgeschwindigkeit der Agenten mit 1.34 Meter pro Sekunde. Die Standardabweichung wurde als 0.37 Meter pro Sekunde definiert.

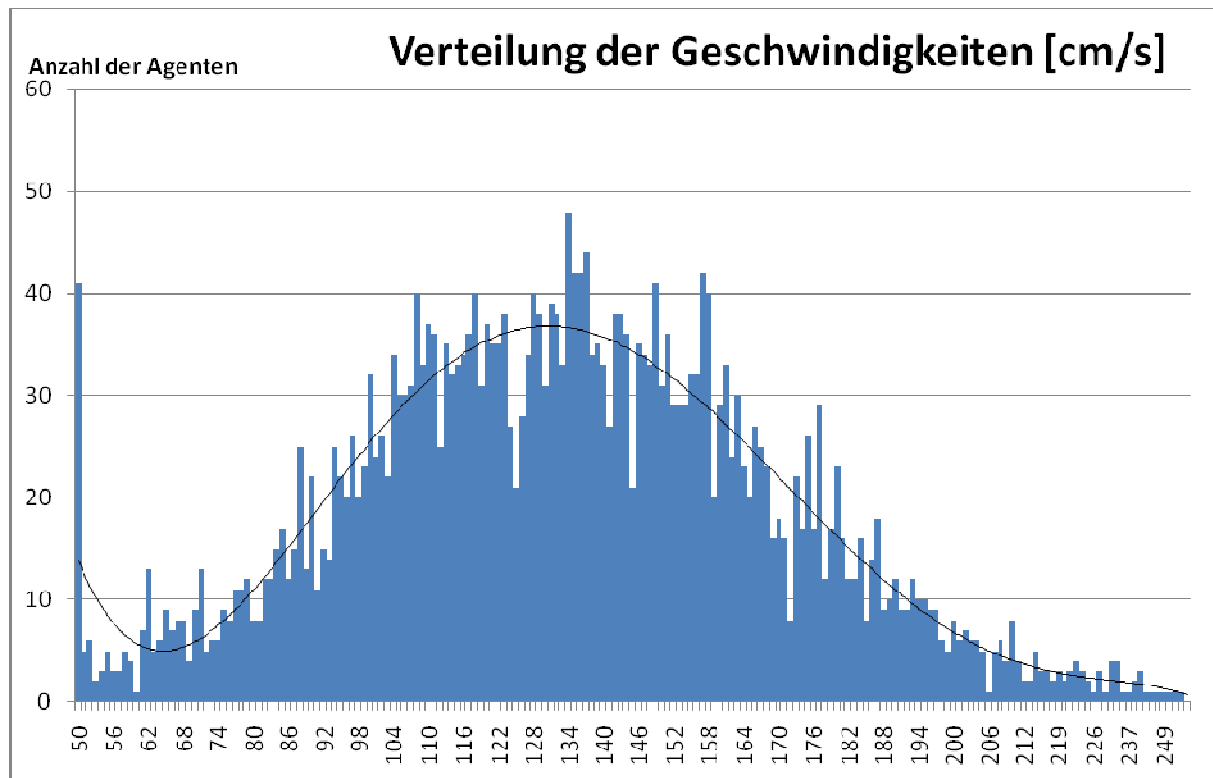


Abbildung 9: Die Verteilung der Geschwindigkeit. Die meisten Agenten bewegen sich mit ungefähr 134cm/s. Da sich keine Agenten langsamer als 50cm/s bewegen sollen, gibt es dort eine Häufung.

³⁵ Weidmann, Ulrich (1993): Transporttechnik für Fussgänger. Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs (Literaturauswertung). Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETHZ. Schriftenreihe 90. Auflage 2.

2.2.2 Digitalisieren der Daten

Als Software für die Simulation wurde SimWalk von Savannah Simulations³⁶ verwendet. Wichtig bei einer Simulation in diesem Ausmass ist eine gute Dokumentation. Es wurden darum sämtliche erhobenen Daten in einer Grafik gespeichert.

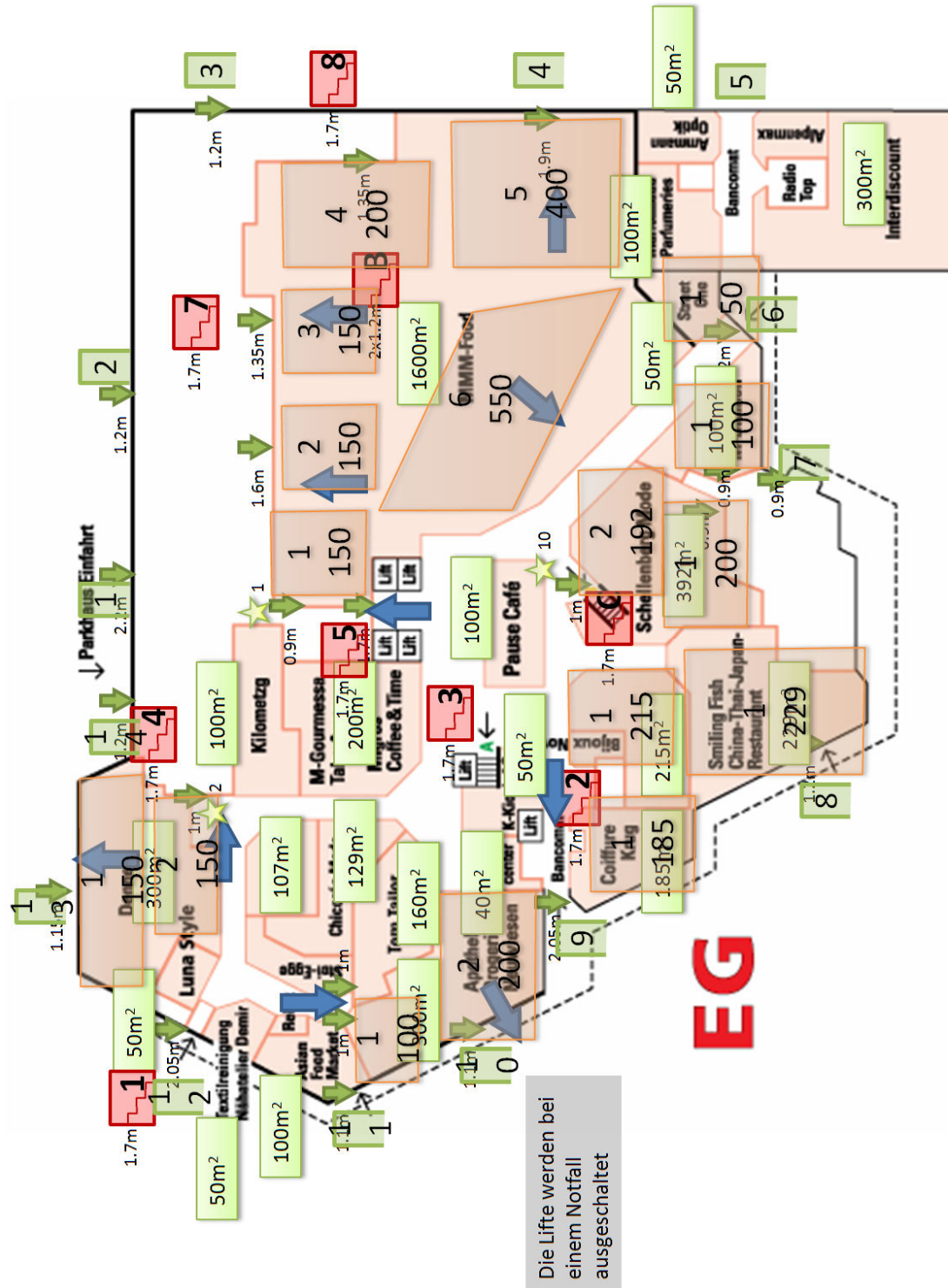


Abbildung 10: Für jedes Stockwerk wurde eine Grafik erstellt, in welcher alle relevanten Daten wie Verkaufsflächen, Treppen, Ausgänge, Türbreiten sowie Notausgangsschilder angegeben sind.

³⁶ Informationen über die verwendete Software finden sich im Internet auf der Seite: <http://www.savannah-simulations.com/simwalk/index.html>

In Abbildung 12 ist für jedes Geschäft des Erdgeschosses die Fläche gemäss Grundriss grün vermerkt. Bei grösseren Geschäften wurde die Fläche weiter in einzelne orangefarbige Bereiche unterteilt.

Sämtliche relevanten Türen sind mit einem kleinen grünen Pfeil vermerkt. Die Zielbereiche der Agenten, also die „sicheren Bereiche“ sind als grüne Türen dargestellt und durchnummeriert.

Ebenfalls durchnummeriert sind sämtliche Treppen (rot markiert). Mit grossen blauen Pfeilen ist der Standort der Notausgangsschilder visualisiert.



Abbildung 11: Notausgangsschild des Einkaufszentrums Neuwiesen

Gebäudestruktur

Die Gebäudestruktur lässt sich als CAD-Datei direkt in SimWalk importieren. Da Pläne in diesem Dateiformat nicht verfügbar waren, musste ein anderer Weg gewählt werden. Auf der Website des Einkaufszentrums Neuwiesen³⁷ sind grobe Pläne verfügbar.

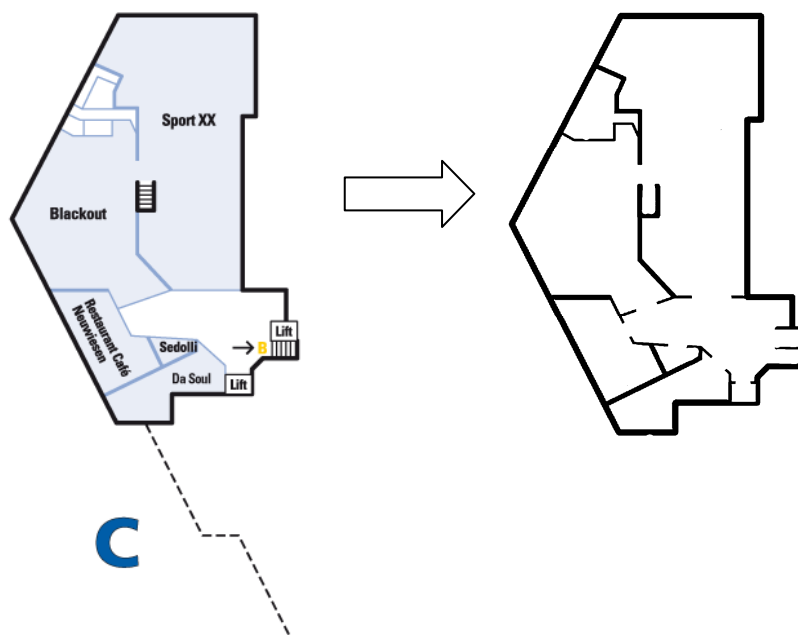


Abbildung 12: Grundrissplan des Zwischenstockwerkes C im ROHzustand (links) und in überarbeiteter, für SimWalk geeigneter Form (rechts).

³⁷ www.neuwiesen.ch

Aufgrund ihrer Schlichtheit eignen sich diese Pläne im Gegensatz zu den detaillierten Grundrissen gut zur Umwandlung in Vektorgrafiken. Mit Hilfe von Adobe Photoshop³⁸ wurden sämtliche Beschriftungen und Schattierungen entfernt, damit im Grundriss nur die Wände sichtbar sind. Mit Adobe Illustrator³⁹ wurden Vektorgrafiken erstellt und als CAD-Datei exportiert. Dabei ist vor allem auf eine realitätsgetreue Skalierung zu achten.

In ersten Simulationsversuchen zeigte sich, dass die in SimWalk importierte Gebäudestruktur weiterer Optimierung bedarf.

So mussten beispielsweise die Treppen weiter bearbeitet werden, da die Agenten teilweise Mühe mit engen Kurven hatten. Dies konnte behoben werden, indem die Treppen von einem Stockwerk in das nächste stets in eine Richtung verlaufen. Die Zugangsrichtung zum Treppenhaus ändert sich dadurch bei jedem Stockwerk.

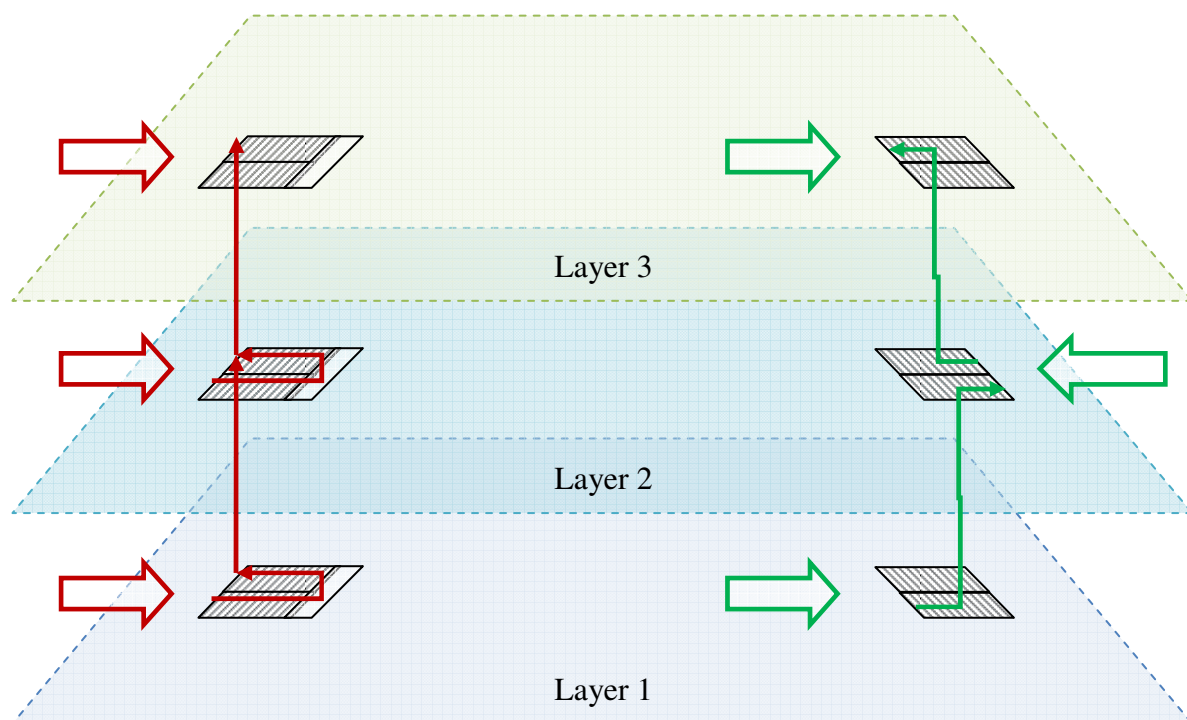


Abbildung 13: Die Treppen mussten anders als in der Realität angeordnet werden. So konnten Komplikationen vermindert werden. Original = Rot; Simulation = Grün; Die dicken Pfeile symbolisieren die Zugangsrichtung zur Treppe.

Die Türen erwiesen sich ebenfalls als ein kritischer Parameter. Die Türbreiten des virtuellen Planes müssen möglichst genau mit der Realität übereinstimmen. Dazu wurden die Türen einzeln, mit Hilfe der gesammelten Daten, angepasst (vgl. Kapitel 2.2.1).

Sämtliche Türen wurden bei der Simulation als offene Durchgänge simuliert. Für den Haupteingang und die Fluchtwege ist diese Verallgemeinerung nahe an der Realität. Sind diese Türen einmal geöffnet, so bleiben sie für den Rest der Evakuierung offen. Anders präsentieren sich die beiden Doppeltüren beim „Luna Style“ und beim Geldautomaten. Diese sind sehr schwerfällig und gehen, sofern sie nicht blockiert werden, von alleine wieder zu. Die Kapazität dieser Ausgänge ist daher sehr davon abhängig, ob die Türen von den ersten Flüchtenden blockiert werden oder nicht. In der Simulation wurde dieser Faktor ausgelassen, die Türen wurden ebenfalls als offene Durchgänge simuliert. Diese Eigenschaft muss jedoch bei der Beurteilung der Simulation berücksichtigt werden.

³⁸ <http://www.adobe.com/de/products/photoshop/photoshop/>

³⁹ <http://www.adobe.com/de/products/illustrator/>

Aufgrund der Arbeitsweise von SimWalk⁴⁰ können sich bei Wänden (ähnlich wie bei Treppen) Agenten festlaufen. Dies kann passieren, wenn die Auflösung des Potentialfeldes zu ungenau ist, um eine Wand korrekt zu erkennen. Durch die Verbreiterung der Wände kann dies umgangen werden. Vor allem bei Türen und Ecken ist diese Massnahme notwendig.

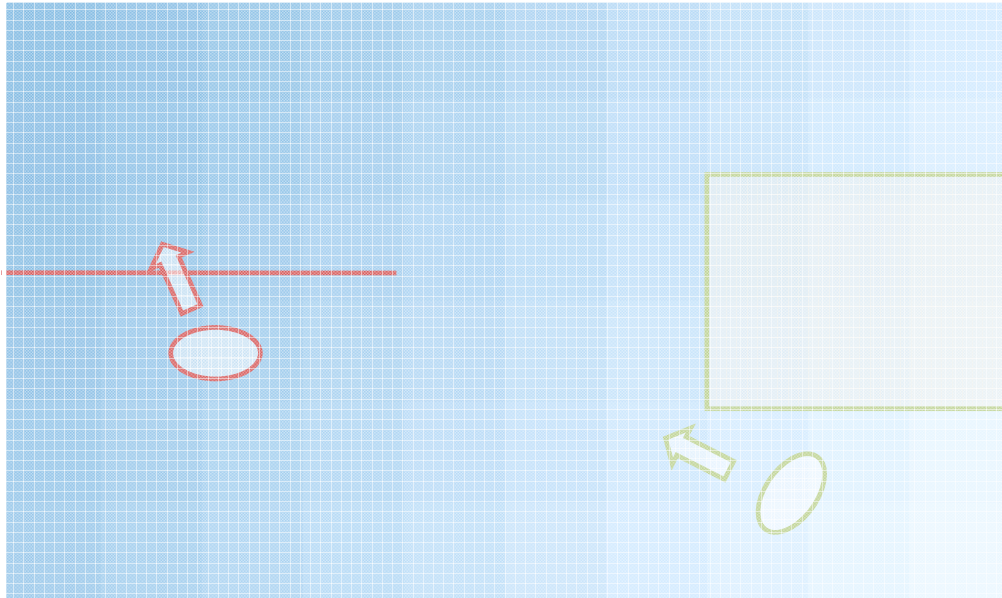


Abbildung 14: Aufgrund der Auflösung des Potentialfeldes (blau) kann es vorkommen, dass sich, aus der Sicht des Agenten, das nächste Potentialfeld hinter der Wand befindet und er sich festläuft (rote Situation). Ist die Wand hingegen genug Breit, so finden die Agenten problemlos den Weg rundherum (grüne Situation).

⁴⁰ Das Programm SimWalk berechnet hauptsächlich Potentialfelder.

Agenten

Mit Hilfe des Grundrisses und der festgelegten Dichten wurde für jedes Szenario und für jedes Geschäft eine Besucheranzahl festgelegt. Für grosse Geschäfte wurden mehrere Gebiete definiert.

Tabelle 5: Auszug aus den Agentenbestimmungen. Der Evakuierungsweg bezieht sich auf Szenario 2. Für jeden Teilbereich ist eine Fläche und die Anzahl Agenten für beide definierten Dichten ($\rho 1$ und $\rho 2$) angegeben. Die Nummern der Evakuierungswege richten sich nach Abbildung 4 (Kapitel 1.4).

Name	Untersektor	Evakuierungsweg	Fläche[m ²]	$\rho 1$	$\rho 2$
MMM-Food	-		1600	480	800
	1	Ausgang 1	150	45	75
	2	Ausgang 1	150	45	75
	3	Ausgang 2	150	45	75
	4	Ausgang 3	200	60	100
	5	Ausgang 4	400	120	200
	6	Ausgang 6	300	90	150
	7	Point 12 - Ausgang 6	250	75	125
Amman Optik	-	Ausgang 5	50	15	25
Marrionaud	-	Ausgang 6	100	30	50
Interdiscount	-	Ausgang 6	300	90	150
Street One	-	Ausgang 6	50	15	25

SimWalk erlaubt die Definition der Agenten über einen Start- und einen Zielpunkt. Dazwischen können beliebig viele Wegpunkte definiert werden. Die Konfiguration der Agenten ist in SimWalk teilweise sehr umständlich. Praktischerweise können die Agentendaten, welche als .xml-Datei gespeichert sind, direkt mit Microsoft Excel bearbeitet werden.

Die Reaktion der Agenten wurde je nach Szenario einzeln implementiert.

Szenario 1: Die Agenten wurden lediglich angewiesen, den nächstliegenden Ausgang aufzusuchen. Die Notausgänge wurden dabei versperrt.

Szenario 2: Den Agenten wurde ein genauer Weg vorgeschrieben, welcher mit dem Evakuierungskonzept des Einkaufszentrum Neuwiesens übereinstimmt. Die Agenten folgen den Notfallschildern an der Decke.

8	7 10 show	0 Blackout-1 (C)	Exit3 (Erdgeschoss)	0	30	134	37	40	1	69	0	0
9	8 17 show	3 Blackout-1 (C)	Wait3 (A)	0	30	134	37	40	1	69	0	0
10	9 17 show	3 Blackout-1 (C)	Exit12 (Erdgeschoss)	0	30	134	37	40	1	69	0	0
11	10 17 show	3 Blackout-2 (C)	Wait11 (A)	0	30	134	37	40	1	70	0	0
12	11 17 show	3 Blackout-2 (C)	Wait-S-5-EG (Erdgeschoss)	0	30	134	37	40	1	70	0	0
13	12 17 show	3 Blackout-2 (C)	Exit9 (Erdgeschoss)	0	30	134	37	40	1	70	0	0
14	13 23 show	3 Blackout-3 (C)	Wait-S-5-B (B)	0	30	134	37	40	1	71	0	0
15	14 23 show	3 Blackout-3 (C)	Wait6 (A)	0	30	134	37	40	1	71	0	0
16	15 23 show	3 Blackout-3 (C)	Wait-S-5-EG (Erdgeschoss)	0	30	134	37	40	1	71	0	0
17	16 23 show	3 Blackout-3 (C)	Exit9 (Erdgeschoss)	0	30	134	37	40	1	71	0	0
18	17 22 show	3 Cafe (C)	Wait-S-5-B (B)	0	30	134	37	40	1	64	0	0
19	18 22 show	3 Cafe (C)	Wait6 (A)	0	30	134	37	40	1	64	0	0
20	19 22 show	3 Cafe (C)	Wait-S-5-EG (Erdgeschoss)	0	30	134	37	40	1	64	0	0
21	20 22 show	3 Cafe (C)	Exit9 (Erdgeschoss)	0	30	134	37	40	1	64	0	0
22	21 50 show	0 Cafe (Erdgeschoss)	Exit11 (Erdgeschoss)	0	30	134	37	40	1	21	0	0
23	22 65 show	0 Chicoree (Erdgeschoss)	Exit14 (Erdgeschoss)	0	30	134	37	40	1	32	0	0
24	23 92 show	0 CoiffureKrug (Erdgeschoss)	Exit9 (Erdgeschoss)	0	30	134	37	40	1	20	0	0
25	24 17 show	3 DaSoul (C)	Wait-S-5-B (B)	0	30	134	37	40	1	65	0	0
26	25 17 show	3 DaSoul (C)	Wait6 (A)	0	30	134	37	40	1	65	0	0
27	26 17 show	3 DaSoul (C)	Wait-S-5-EG (Erdgeschoss)	0	30	134	37	40	1	65	0	0

Abbildung 15: Auszug aus der Definition der Agenten. Für jeden Startpunkt sind die Anzahl Agenten, die einzelnen Wegpunkte, sowie der Zielpunkt angegeben. Die Definition der Agenten in Szenario 2 umfasst über 50 Agentengruppen und über 100 einzelne Einträge.

Weitere Parameter

SimWalk erlaubt eine Normalverteilung der Durchmesser der Agenten. Da es in Simulationsversuchen oft vorkam, dass ein Agent aufgrund seiner Breite einen Notausgang verstopfte, musste auf dieses Feature verzichtet werden. Stattdessen wurde eine Normbreite von 40cm festgelegt um jeglichen Stau aufgrund der Breite zu verhindern.

Die Reaktionszeit nach Auslösung der Evakuierung wurde zwischen 0 und 30 Sekunden zufällig gewählt.

Im folgenden Teil werden die Resultate der Simulation und die daraus abgeleiteten Optimierungsmassnahmen behandelt.

3 Praktischer Teil 2

3.1 Simulationsergebnisse

Es wurden, wie bereits erwähnt, vier verschiedene Simulationen durchgeführt.

Tabelle 6: Die Kombination der Dichtetypen (Kopfzeile) und der Reaktionsszenarien (erste Spalte), lässt vier Simulationsläufe zu.

Reaktion/Dichte	Genäherte Dichte	Gesetzliche Dichte
Szenario 1	Simulation 1	Simulation 2
Szenario 2	Simulation 3	Simulation 4

Für jede Simulation wurden 10 Durchgänge gerechnet. Dabei zeigte sich, dass jeweils einzelne Agenten sehr lange benötigten, das Einkaufszentrum zu verlassen. Das Gros der Agenten fand den Ausgang jedoch bereits viel früher.

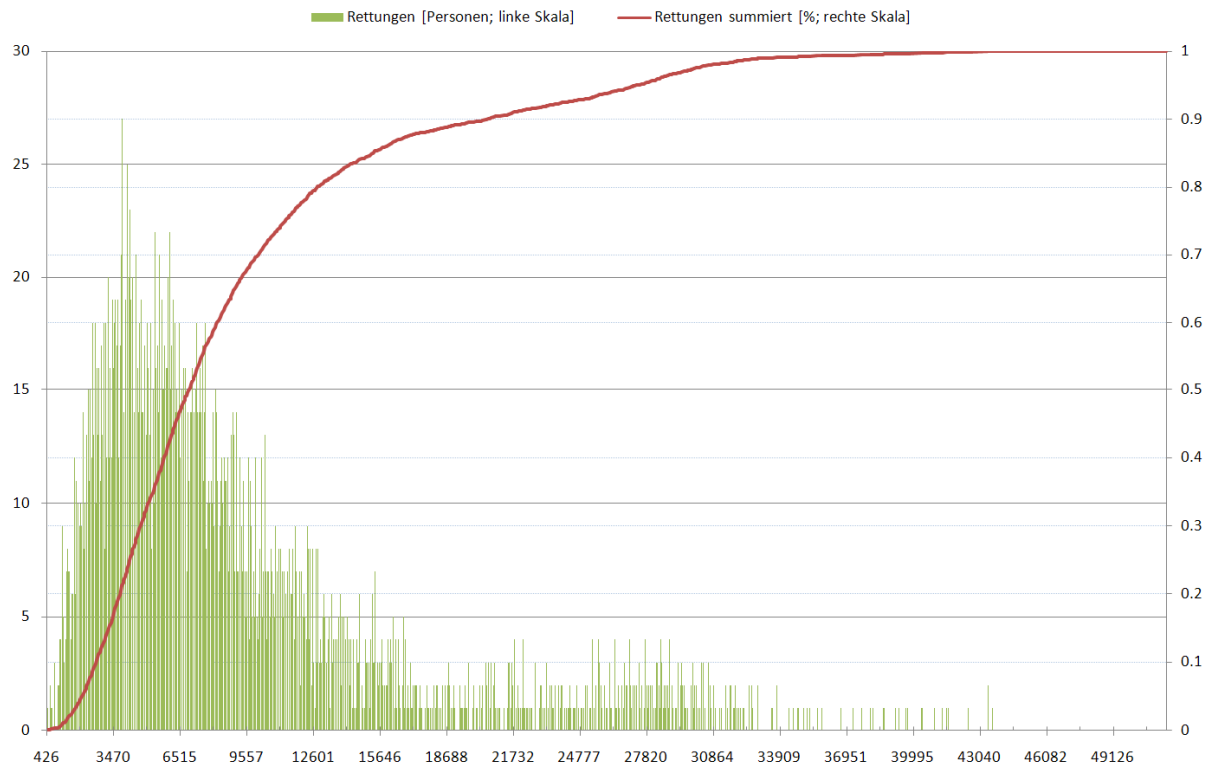


Abbildung 16: Ankunftszeiten in Sekunden und prozentualer Anteil der bereits Geretteten. 90% der Agenten sind nach etwa 180 Sekunden gerettet.

Abbildung 18 entstammt der Simulation 4. In diesem Beispiel haben nach 180 Sekunden 90% der Agenten das Einkaufszentrum verlassen. Nach 250 Sekunden sind bereits 95% der Agenten geflüchtet. Der letzte Agent war jedoch erst nach über 500 Sekunden ausserhalb des Einkaufszentrums. Die Gründe für diese Verspätung sind simulationstechnischer Natur. So kommt es trotz der Anpassungen noch vor, dass einzelne Agenten an einer Kante hängen bleiben. Die Auswertung konzentriert sich aus diesem Grund auf die 90% und 95% Marken.

3.1.1 Daten aus den Simulationen

Die Simulationsergebnisse wurden ausgewertet und in verschiedenen Grafiken aufgearbeitet⁴¹.



Abbildung 17: Für jedes Simulationsszenario ergibt sich ein Diagramm mit der Zeit auf der Ordinate und den jeweils zehn Simulationsläufen auf der Abszisse. Die blauen Kurven zeigen wie lange es dauerte, bis 90% der Agenten das Einkaufszentrum verlassen konnten. Rot entspricht 95% der Agenten und grün 100%.

⁴¹ Im Zusatzdokument ab Seite 12 sind ausführlichere Simulationsdaten aufgelistet.

Tabelle 7: Mittelwerte der Fluchtzeiten für jeden Simulationslauf (1-4). Die Spalten bezeichnen die Dauer, die 90%, 95% bzw. 100% der Agenten für die Flucht benötigten.

Simulation	Zeit für 90% [s]	Zeit für 95% [s]	Zeit für 100% [s]
Simulation 1	221.75 ±9.93	297.25 ±10.23	463.6 ±34.23
Simulation 2	310.75 ±7.88	410. ±24.33	636.5 ±47.61
Simulation 3	120.10 ±1.6	154.94 ±5.52	421.30 ±66.81
Simulation 4	182.10 ±11.17	251.95 ±14.99	471.05 ±58.49

Bereits jetzt zeigt sich, dass das Einkaufszentrum mit Hilfe der Notausgänge schneller evakuiert werden kann als ohne (Simulationen 3 und 4). Um 90% des Einkaufszentrums zu evakuieren ergeben die Resultate von Simulation 3 nur gerade 120s. Dieses Ergebnis spricht deutlich für das bestehende Konzept. Die Standardabweichungen (± 1.6 s) sind dabei erstaunlich gering.

Wichtig für die Beurteilung des Konzeptes ist das Eruiieren von Stellen, welche die Evakuierung verzögern. Dazu eignet sich der Vergleich der Simulationen nach einer Laufzeit von je 60s, 120s und 180s. Es wird deshalb zwischen den beiden Szenarien unterschieden:

Szenario 1

Mit Szenario 1, bei welchem die Agenten die Notausgänge ignorieren, wurden die Simulationen 1 und 2 durchgeführt (vgl. Tabelle 4). Wie erwartet benötigt die Evakuierung länger als bei Szenario 2.

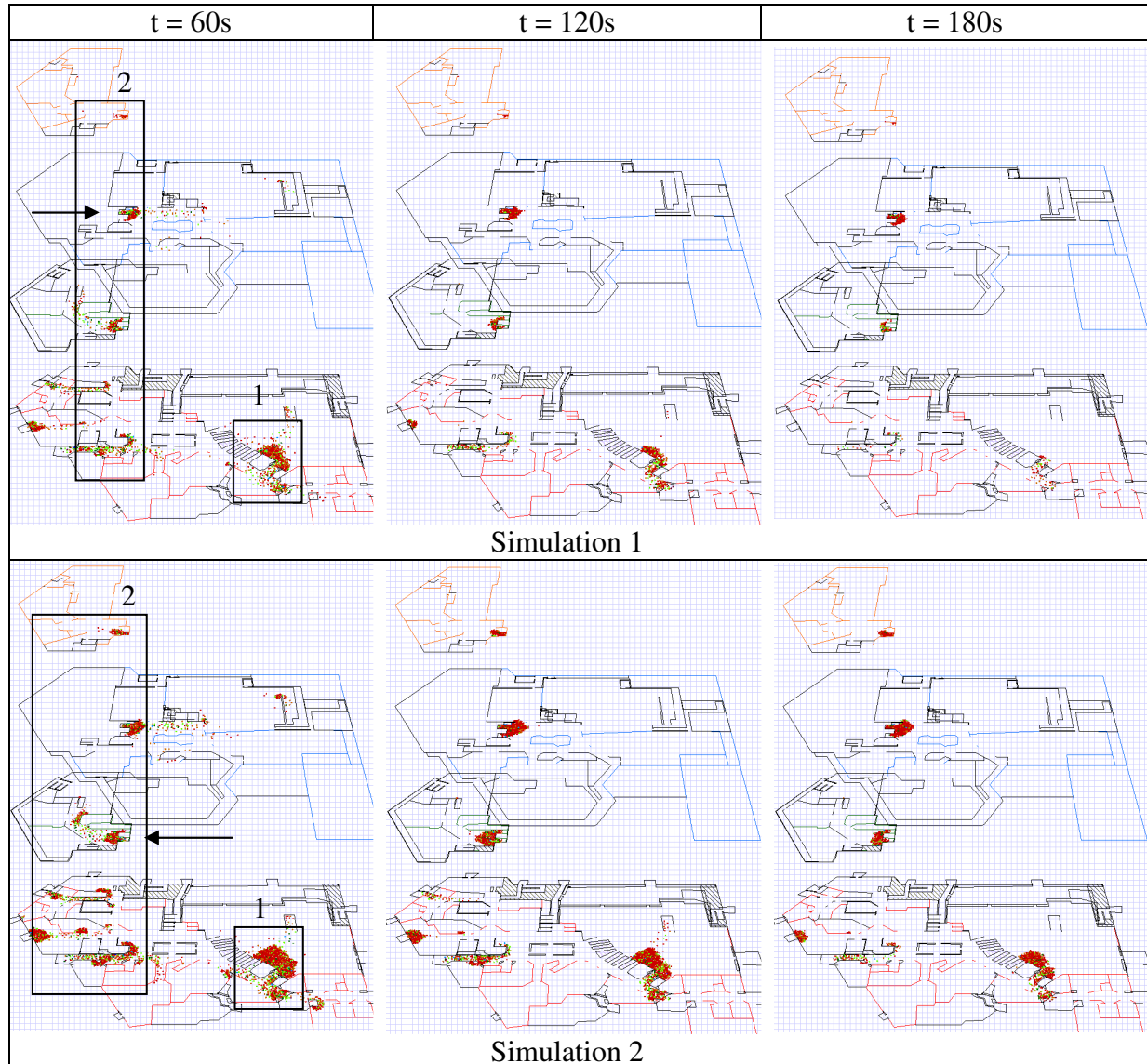


Abbildung 18: Die Simulation 1 (oben) und die Simulation 2 (unten) mit Zwischenergebnissen nach 60s (links), 120s (Mitte) und 180s (rechts). Die stark roten Bereiche zeigen Problembereiche (Kapazitätsengpässe) im Einkaufszentrum.

An zwei Stellen gibt es in beiden Simulationen erhebliche Staubildung. Zum einen im Bereich des Haupteinganges [1] und zum anderen im Bereich der Treppen [2].

Szenario 2

Mit Szenario 2, bei welchem die Agenten gemäss den vorhandenen Notausgangsschildern ihren Weg wählen, wurden die Simulationen 3 und 4 durchgeführt (vgl. Tabelle 4).

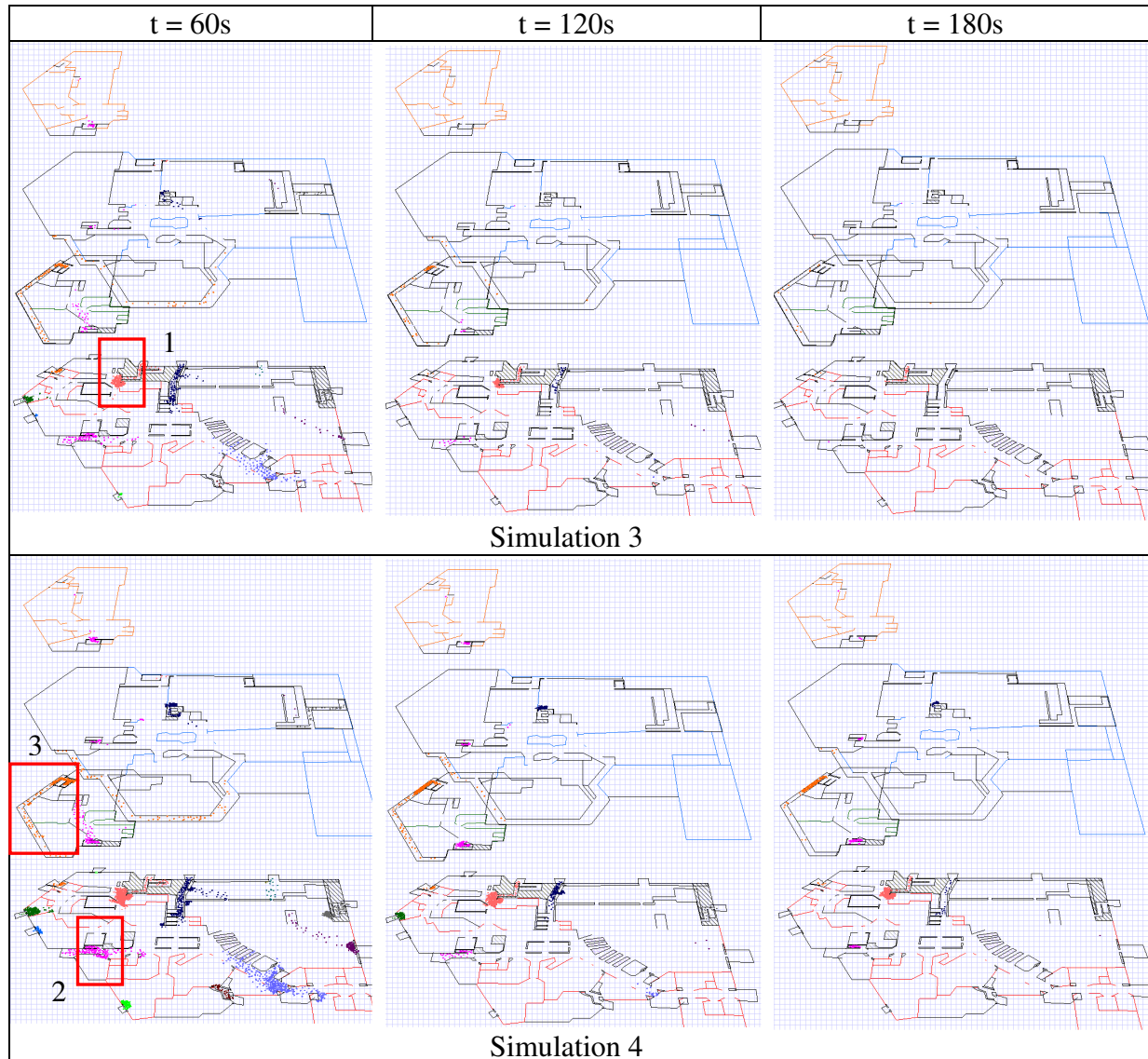


Abbildung 19: Die Simulation 3 (oben) und die Simulation 4 (unten) mit Zwischenergebnissen nach 60s (links), 120s (Mitte) und 180s (rechts).

Die beiden problematischen Stellen aus Szenario 1 sind komplett verschwunden. Bei der Simulation 3 sind bereits nach zwei Minuten die meisten Agenten ausserhalb des Einkaufszentrums. Staubildung gibt es, wenn auch geringer als in Szenario 1, im Bereich des Notausganges zwischen „Denner“ und „Kilo Metzger“ [1]. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Erdgeschoss ein grosser Teil der Agenten aufgrund der Platzierung der Notausgangsschilder diesen Weg wählen. Weitere Staubildung gibt es durch die Agenten im Bereich der Nottreppe [2]. Zu guter Letzt fallen die Agenten auf, welche über den Balkon die Nottreppe auf der anderen Seite des Gebäudes aufsuchen [3]. Sie sind verhältnismässig lange unterwegs. Da die Agenten sich dabei jedoch schon ausserhalb des Gebäudes befinden, sind diese zu diesem Zeitpunkt nicht mehr gefährdet.

3.1.2 Zusammenfassung

Wie bereits erwähnt, ist jede reale Evakuierung unberechenbar. Ob sich die im Gebäude befindlichen Personen eher gemäss Szenario 1 oder gemäss Szenario 2 verhalten, in welchem Verhältnis diese beiden Reaktionen vorkommen, oder ob es noch komplett andere Reaktionen geben würde hängt von vielen Umständen ab (vgl. Kapitel 1.7).

Da sich in den beiden Szenarien verschiedene Staupunkte zeigten, ist es wahrscheinlich, dass sich die Personenströme teilen würden, wenn sich einzelne Personen nach Szenario 1 und andere nach Szenario 2 verhielten. Während die einen eher den Notausgangsschildern folgen um sich zu retten, würden andere den Weg wählen, auf dem sie das Einkaufszentrum betraten. An den jeweiligen Staupunkten wäre der Andrang daher weniger gross, was sich positiv auf die Evakuierungszeit auswirken würde.

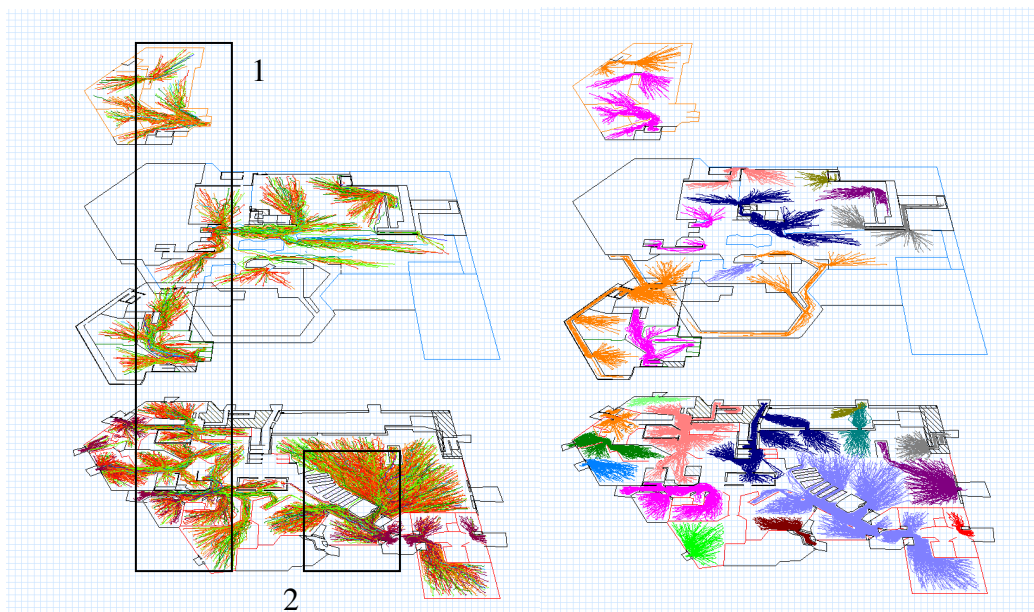


Abbildung 20: Gegenüberstellung der beiden Szenarien. Die Spuren stellen Bewegungen von einzelnen Agenten dar. Links die Situation, wenn nur die üblichen Ausgänge benutzt werden. Auf der rechten Seite folgen die Agenten den Notausgangsschildern, sofern welche in der Nähe vorhanden sind. Es ist voraussehbar, dass es ohne Notausgänge vor allem im Bereich des Treppenhauses [1] und im Bereich des Haupteinganges [2] zu Engpässen kommen wird. Mit den Notausgängen sind die Personenströme ausgeglichener verteilt.

3.2 Grundsätzliche Optimierungen

Losgelöst vom Einkaufszentrum Neuwiesen sollen an dieser Stelle generell Lösungen für öffentliche Gebäude aufgelistet werden, welche Kapazitätsengpässe verhindern oder senken.

Es lassen sich unter anderem folgende Faktoren baulich beeinflussen.

- Türbreiten
- Beschilderung
- Wegführung
- Treppen

Da die Türbreite einen wesentlichen Einfluss auf Kapazitätsengpässe hat, sollte versucht werden, die Breite maximal auszulegen, um möglichst viele Personen pro Zeit durchzubringen. Durch geschickt platzierte und auffällige Beschilderung von Notausgängen, können Personen schnell und effizient aus Gebäuden evakuiert werden.

Um eine schnelle Evakuierung im Dunkeln zu gewährleisten, hilft eine lumineszierende Bodenbeschriftung mit Pfeilen die zu Notausgängen führen. Zudem kann die Beschilderung durch eine aktive Wegführung unterstützt werden. Dies bedeutet, dass der Prozess sprachgesteuert, durch den Einsatz von Lautsprechern unterstützt wird und so eine akustische Hilfe besteht. Diese Methode wird in den Unterführungen des Bahnhofes Zürich angewendet. Der Evakuierungsprozess kann je nach Situation angepasst werden.⁴²

Da in den meisten Fällen einer Evakuierung Rolltreppen und Lifte abgeschaltet werden, muss auch für Personen die an einen Rollstuhl gebunden sind die Möglichkeit geboten werden, sich aus dem Gebäude zu entfernen. Deshalb sollten bevorzugt Rampen statt Treppen gebaut werden. Zugleich sind die Evakuierungszeiten mit Rampen kürzer, da die Geschwindigkeit der einzelnen Personen bei einer Rampe höher ist.

Alle diese Faktoren sind bei bestehenden Gebäuden immer eine Kosten / Nutzen - Frage und werden aus wirtschaftlichen Gründen, sofern keine Beanstandungen seitens der Behörden auftreten, kaum umgesetzt. Allerdings sollte es das Ziel jedes Neubaus sein, solche Methoden anzuwenden.

⁴² Angabe Gruppe Stettler D., Berli R., Schär M., Schmutz C., Wiedemeier P., von der Semesterarbeit TSY-1, Thema: Extremfall Evakuation. Sicherheitskonzepte von grossen öffentlichen Einrichtungen unter der Lupe.

3.3 Konkrete Optimierung für das Zentrum Neuwiesen

Die konkreten Verbesserungen beziehen sich auf Szenario 2⁴³, da auf Agenten, welche sich gemäss Szenario 1⁴⁴ verhalten kein Einfluss genommen werden kann.

Die grösste Problematik des bestehenden Evakuierungskonzeptes ist der stark frequentierte Ausgang beim Geldautomaten. Nahe diesem Ausgang endet eine Nottreppe aus den oberen Stockwerken, welche rege genutzt wird. Zusätzlich besteht dieser Ausgang aus zwei nacheinander folgenden Türen (Schleuse), welche beide von Hand zu öffnen und eher schwerfällig sind. Es ist wahrscheinlich, dass sich in der Realität durch diesen Umstand die Staubildung weiter akzentuieren wird.

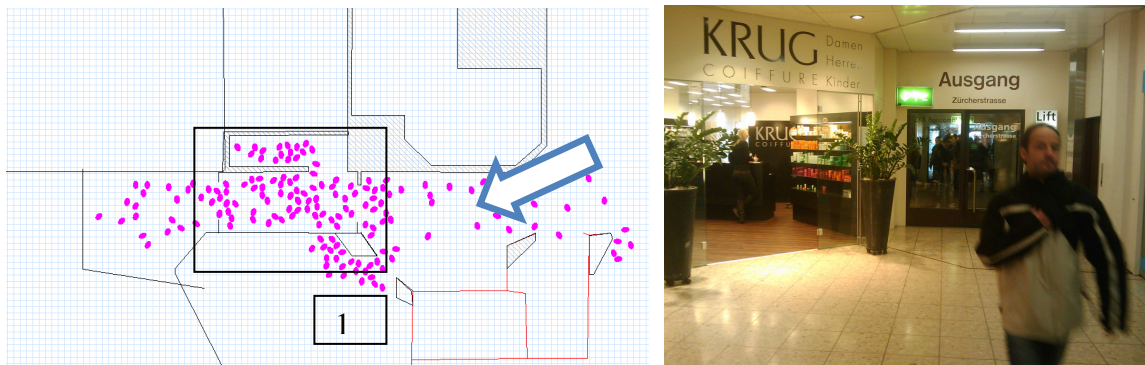


Abbildung 21: Beim Ausgang "Geldautomaten" kommen mehrere Ströme zusammen, was durch die engen Doppeltüren zu Kapazitätsengpässen führt. Der blaue Pfeil symbolisiert die Richtung, in die das Foto geschossen wurde. Links auf dem Foto der Coiffeursalon.

Ein möglicher Verbesserungsvorschlag wäre die Installation von Schiebetüren, welche im Notfall selbständig öffnen und somit die schwerfälligen Türen ersetzen. Weiter wäre die Verbreiterung des Ausganges auf Kosten des Coiffeursalons [1] eine optimierende Massnahme.

⁴³ In Szenario 2 folgen die Agenten den Notbeschilderungen, sofern sie eine sehen können.

⁴⁴ In Szenario 1 verlassen die Agenten das Gebäude durch die bekannten (normalen) Ein- bzw. Ausgänge.

Eine weitere Problematik ist die Staubildung vor dem Notausgang zwischen „Denner“ und „Kilo Metzger“ [rosa]. Durch die bestehende Notfallbeschilderung werden verhältnismässig viele Agenten in diese Richtung gelenkt. Gleichzeitig sind jedoch andere Ausgänge unbenutzt.

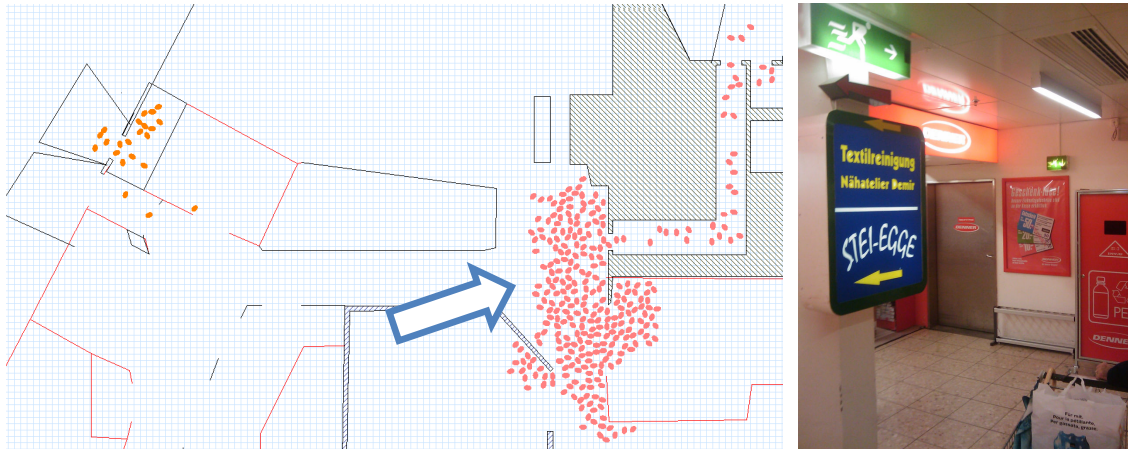


Abbildung 22: Durch die bestehende Beschilderung werden viele Agenten auf einen Notausgang konzentriert, andere Ausgänge hätten zu diesem Zeitpunkt ($t=60s$) jedoch noch Kapazität, wie links im Bild zu sehen ist. Der blaue Pfeil symbolisiert die Richtung, in die das Foto geschossen wurde.

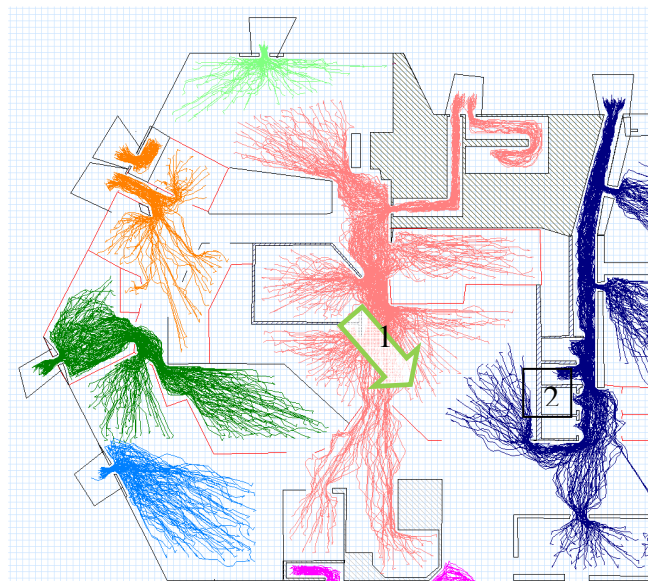


Abbildung 23: Die Analyse der Agentenpfade ergibt, dass auch relativ weit entfernte Agenten diesen Notausgang aufsuchen.

Wäre es möglich, die untere Hälfte der Agenten in Abbildung 25 auf den Ausgang im Bereich der Lifts umzuleiten [1 zu 2], könnten die Evakuierungszeiten wohl weiter verringert werden. Konkret wäre dies durch die Platzierung eines zusätzlichen Notausgangsschildes bei Markierung [1] möglich.

3.4 Überprüfung der vorgeschlagenen Optimierungsmassnahmen

Aufgrund der Analyse des bestehenden Evakuierungskonzeptes und der Resultate der Simulation konnten folgende möglichen Verbesserungen gefunden werden:

1. Der Notausgang zwischen Denner und Kilo Metzger ist überfrequentiert. Durch weitere Notfallschilder sollen weniger Agenten auf diesen Ausgang gelenkt werden. Ausweichmöglichkeiten sind der Notausgang im Denner sowie der Notausgang zwischen den Liften und der Notausgang durch die Apotheke.
2. Der Notausgang beim Geldautomaten sowie die Treppe sollten verbreitert werden, um die Menschenmasse aus den oberen Stockwerken schneller durchzulassen. Die bestehende Installation aus zwei nacheinander folgenden Türen sollte durch eine Schiebetüre ersetzt werden.

Die Pläne des Zentrums wurden entsprechend angepasst und es wurden erneut pro Dichtegrad 10 Simulationen durchgeführt:

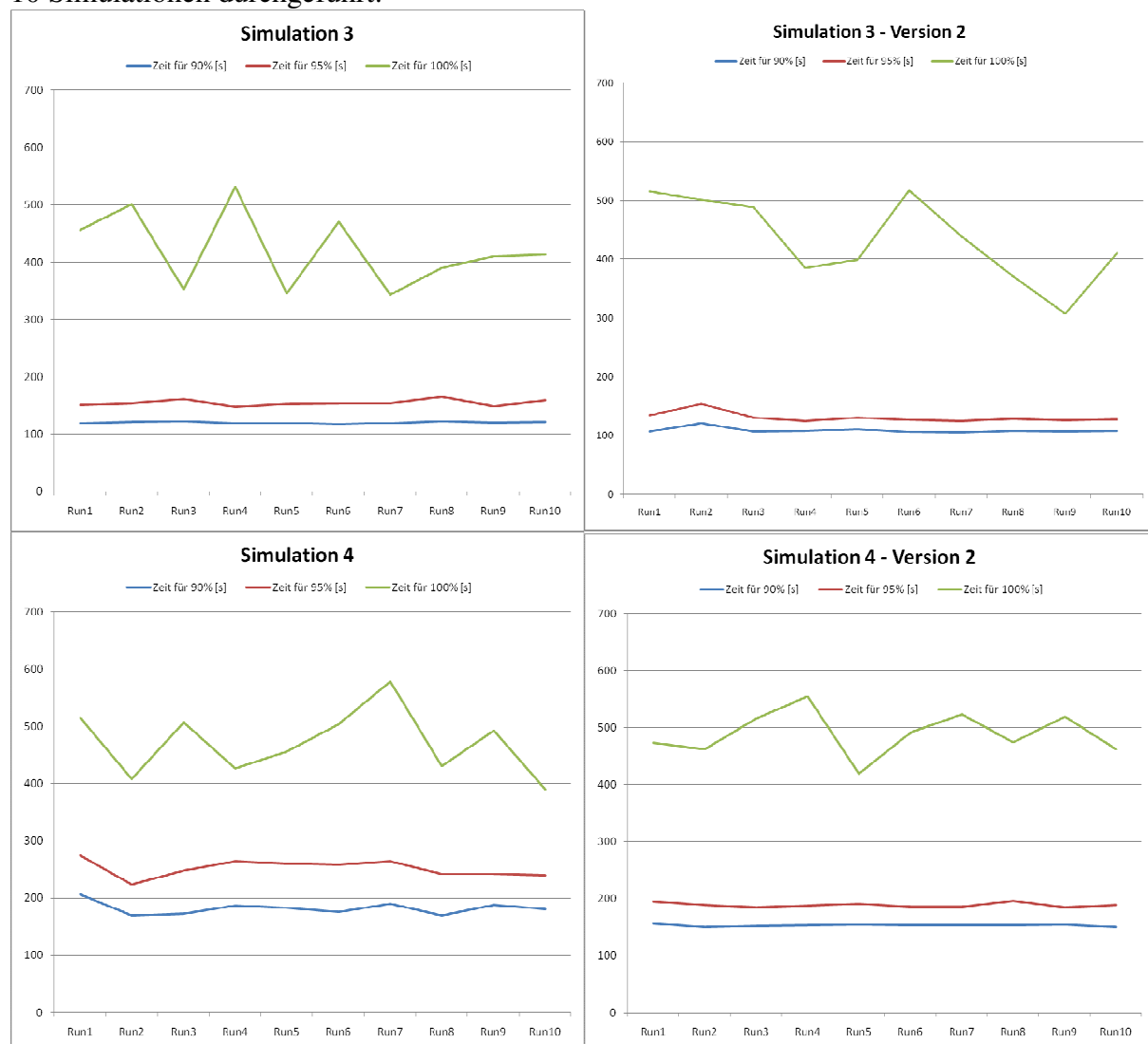


Abbildung 24: Die Simulationen mit den Anpassungen (Version 2) im Vergleich mit den ursprünglichen Simulationen gemäss bestehendem Evakuierungskonzept.

Tabelle 8: Die Simulationen haben eine Verbesserung der Evakuationszeit um 8 bis 25 Prozent ergeben. Am grössten sind die Verbesserungen bei einer hohen Agentendichte.

Simulation	Zeit für 90% [s]	Zeit für 95% [s]	Zeit für 100% [s]
Simulation 3	120.10 $\pm$ 1.6	154.94 $\pm$ 5.52	421.30 $\pm$ 66.81
Simulation 3 – V2	109.55 $\pm$ 4.25 (-8.78%)	131.25 $\pm$ 8.68 (-15.29%)	433.6 $\pm$ 70.78 (+2.9%)
Simulation 4	182.10 $\pm$ 11.17	251.95 $\pm$ 14.99	471.05 $\pm$ 58.49
Simulation 4 – V2	153.15 $\pm$ 1.72 (-15.9%)	188.65 $\pm$ 4.02 (-25.12%)	489.75 $\pm$ 39.5 (+3.97%)

Die Simulationen ergaben klar eine Verbesserung der bestehenden Situation. Die simulierten Evakuierungszeiten sind zwischen 8 und 25 Prozent besser als ohne Modifikationen. Der Grund für die leicht höheren Zeiten für eine 100-prozentige Evakuierung liegt in einer erhöhten Wahrscheinlichkeit, dass sich Agenten festlaufen und sich nicht weiter bewegen können. Unabhängig davon, ob eine reale Evakuierung in dieser Art abläuft oder nicht, konnte gezeigt werden, dass durch relativ kleine Massnahmen grosse Wirkungen erzielt werden können. Mit den vorgeschlagenen Modifikationen könnten in einem Notfall Menschenleben gerettet werden.

Um von einer abstrakten Prozentangabe auf eine gut vorstellbare Mengenangabe zu kommen, wurde die Anzahl geretteter Personen nach 120 Sekunden untersucht:

Tabelle 9: Dank den vorgeschlagenen Optimierungen wurden nach 120 Sekunden knapp 60 Personen mehr gerettet.

Simulation	Simulation 3	Simulation 3 – Version 2	Veränderung
Gerettete Personen nach 120 Sekunden	1818. $\pm$ 6.09 (90%)	1877.6 $\pm$ 23.22 (93%)	+59.6 (+3%)
Restliche Personen nach 120 Sekunden	203. $\pm$ 6.09 (10%)	143.4 $\pm$ 23.22 (7%)	-59.6 (-3%)

4 Fazit

Mit dieser Arbeit ist es gelungen unter Berücksichtigung der gesetzlichen Bestimmungen konkrete Ergebnisse für das Einkaufszentrum Neuwiesen zu erarbeiten. Die unter 2.2 definierten Ziele konnten durch die Simulationen erarbeitet werden. So wurde das Konzept mit einer realistischen Maximalfrequenz überprüft und anschliessend die Grenzen aufgezeigt (Ziel 1 und 2). Es wurde klar ersichtlich, dass, wenn von einer realistischen Besucherzahl ausgegangen wird, das momentane Evakuierungskonzept den gewünschten Erfolg bringt. Wird allerdings von den höheren gesetzlichen Maximalfrequenzen ausgegangen, ---, so treten gefährliche Kapazitätsengpässe auf. Vor allem im Bereich „Denner“ und „Kilo Metzger“ werden diese sichtbar. Die Engpässe erhöhen die Evakuierungszeit und die Gefahr von Verletzungen durch das Gedränge.

Durch die Simulation ist aufgezeigt worden, wie viele Personen welchen Fluchtweg benutzen. Somit stellte sich heraus, dass die Platzierung der Notausgangsschilder nicht optimal ist (Abbildung 24) und zu viele Personen auf dieselben Notausgänge geführt werden. Dieses Problem könnte durch das Anbringen von zusätzlichen Notausgangsschildern, die eine bessere Verteilung der Personen bewirken, entschärft werden (Abbildung 25). Ausserdem hilft die Verbreiterung von Ausgängen zusätzlich Evakuierungen zu beschleunigen. Die Wirksamkeit dieser zwei Massnahmen konnte mit einer Kontrollsimulation bestätigt werden. Es wurden Verbesserungen der Evakuierungszeit zwischen 9% - 25% erzielt.

Unsere anfängliche Skepsis gegenüber einer „zufriedenstellenden“ Evakuierung im Einkaufszentrum Neuwiesen wurde schnell widerlegt. Bei genauerer Untersuchung des Evakuierungskonzeptes wurden wir auf diverse sicherheitsrelevante Aspekte aufmerksam. Beispielsweise werden offensichtliche Gegenstände wie Notausgangsschilder an der Decke im Alltag gar nicht wahrgenommen. Durch die Beleuchtung werden sie im Notfall wahrgenommen.

Durch diese Arbeit wurde die anfänglich aufgestellte These klar bestätigt. Mit mittlerem Aufwand und dem nötigen Wissen wäre es für jedes öffentliche Gebäude möglich, das bestehende Evakuierungskonzept mit Hilfe von Simulationstools zu optimieren. Es stellte sich jedoch heraus, dass in der Schweiz aktuell keine Simulationen bei Einkaufszentren durchgeführt werden. Die Möglichkeit von Simulationstools müssten deshalb den einzelnen Unternehmen genauer beschrieben werden.

Die These wurde somit zu einer gültigen Aussage. Sie lautet wie folgt:

Mit Hilfe von Simulationstools lassen sich die Auswirkungen einer Evakuierung in einem Einkaufszentrum auswerten und bestehende Evakuierungskonzepte optimieren.

Bibliographie

- Steiner, Albert: Skript. Modellierung, Simulation und Regelung von Transportsystemen, ZHAW, Winterthur 2008
- Bundeszentrale für politische Bildung: Duden Wirtschaft von A bis Z. Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag. 2. Aufl, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus. Lizenzausgabe, Mannheim 2004
- Neue Zürcher Zeitung: Glattzentrum evakuiert wegen Bombendrohung, 3. Januar 2008
- Ehm, Markus; Linxweiler, Jan: Berechnung von Evakuierungszeiten bei Sonderbauten mit dem Programm buildingExodus. Technische Universität Braunschweig. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Braunschweig 2004
- INESC : L'évacuation d'un ERP, Institut national d'études de la sécurité civile (INESC), Nainville-les-Roches (Fr) 2002
- Steiner, A.; Philipp, M.; Schmid, A.: Parameter Estimation for a Pedestrian Simulation. Swiss Transport Research Conference 2007, September 12-14, 2007, Monte Verità / Ascona 2007
- Weidmann, Ulrich: Transporttechnik für Fussgänger. Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs (Literaturauswertung). Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETHZ. Schriftenreihe 90. Auflage 2, Zürich 1993
- Berli Roman, et. al: Semesterarbeit TSY-1. Extremfall Evakuation. Sicherheitskonzepte von grossen öffentlichen Einrichtungen unter der Lupe, Winterthur 2008

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: DAS EINKAUFSZENTRUM NEUWIESEN VERFÜGT ÜBER ZWEI HAUPTEBENEN (EG UND B), SOWIE ÜBER ZWEI ZWISCHENETAGEN (A UND C). DARUNTER ERSTRECKT SICH ÜBER DREI UNTERGESCHOSSE DAS PARKHAUS MIT 520 PARKPLÄTZEN. (QUELLE: WWW.NEUWIESEN.CH).....	8
ABBILDUNG 2: DIE EINZELNEN STOCKWERKE DES EINKAUFSZENTRUMS. DIE AUSGÄNGE SIND GRÜN MARKIERT, DIE TREPPEN ROT UND DIE NOTAUSGANGSSCHILDER BLAU. DIE NUMMERIERUNG WIRD BEI DER SIMULATION ZUR IDENTIFIKATION DER EINZELNEN ELEMENTE VERWENDET.	10
ABBILDUNG 3: AUSZUG AUS DEM EVAKUIERUNGSKONZEPT DES EINKAUFSZENTRUMS NEUWIESEN FÜR EINEN FEUERALARME DER AN ALLE GESCHÄFTE ABGEGEBEN WURDE. ES STELLT SICH DIE FRAGE, OB BEI EINER DURCHSAGE DER GRUND FÜR DAS VERLASSEN MITGETEILT WERDEN SOLL, ODER AUFGRUND VON MÖGLICHEN PANIKATTACKEN DARAUF VERZICHTET WERDEN SOLL (VGL. KAPITEL 1.7).	11
ABBILDUNG 4: DER BRANDSCHUTZ WIRD DURCH EINE HIERARCHISCHE ORGANISATION GEREGLT. DIREKT KONTROLLIERT WIRD EIN OBJEKT VON DEN FEUERPOLIZEIEN DER GEMEINDEN UND DER KANTONALEN FEUERPOLIZEI. BUND UND KANTONE ERLASSEN UNTERSCHIEDLICHSTE REGELUNGEN.	13
ABBILDUNG 5: LUMINESZIERENDER WEG IN EINEM TREPPENHAUS BEI DUNKELHEIT	15
ABBILDUNG 6: VISUELLE DARSTELLUNG DES POTENTIALS VON FUSSGÄNGERSTRÖMEN. DIE „ROTEN“ FUSSGÄNGER GEHEN VON LINKS NACH RECHTS, DIE „BLAUEN“ VON OBEN NACH UNTEN. IN GRAFIK A) IST DIE MOMENTANE POSITION DER FUSSGÄNGER DARGESTELLT, IN B) DAS POTENTIALFELD VON DEN FUSSGÄNGERN AUS GESEHEN (Z-ACHSE).....	19
ABBILDUNG 7: DIE TÜRBREITEN SIND VON GROSSER WICHTIGKEIT FÜR EIN REALITÄTSTREUE SIMULATION. SIE WURDEN DESHALB VON HAND AUSGEMESSEN UND AUF EINEN PLAN ÜBERTRAGEN.	21
ABBILDUNG 8: DIE BEARBEITETEN GRUNDRISS (LINKS) UND DIE PLÄNE MIT DEN AGENTEN (VIOLETTE PUNKTE) AN IHREN STARTPOSITIONEN FÜR DIE SIMULATION (RECHTS). ES IST ERSICHTLICH, DASS DIE PERSONENDICHTE IM ERDGESCHOSS HÖHER ALS IN DEN DARÜBER LIEGENDEN GESCHOSSEN IST.....	22
ABBILDUNG 9: DIE VERTEILUNG DER GESCHWINDIGKEIT. DIE MEISTEN AGENTEN BEWEGEN SICH MIT UMGEFÄHR 134CM/S. DA SICH KEINE AGENTEN LANGSAMER ALS 50CM/S BEWEGEN SOLLTEN, GIBT ES DORT EINE HÄUFUNG.	24
ABBILDUNG 10: FÜR JEDES STOCKWERK WURDE EINE GRAFIK ERSTELLT, IN WELCHER ALLE RELEVANTEN DATEN WIE VERKAUFSFLÄCHEN, TREPPEN, AUSGÄNGE, TÜRBREITEN SOWIE NOTAUSGANGSSCHILDER ANGEZEIGT SIND.	25
ABBILDUNG 11: NOTAUSGANGSSCHILD DES EINKAUFSZENTRUMS NEUWIESEN.....	26
ABBILDUNG 12: GRUNDRISSPLAN DES ZWISCHENSTOCKWERKES C IM ROHZUSTAND (LINKS) UND IN ÜBERARBEITETER, FÜR SIMWALK GEEIGNETER FORM (RECHTS).	26
ABBILDUNG 13: DIE TREPPEN MUSSTEN ANDERS ALS IN DER REALITÄT ANGEORDNET WERDEN. SO KONNTEN KOMPLIKATIONEN VERMINDERT WERDEN. ORIGINAL = ROT; SIMULATION = GRÜN; DIE DICKEN PFEILE SYMBOLISIEREN DIE ZUGANGSRICHTUNG ZUR TREPPE.	27
ABBILDUNG 14: AUFGRUND DER AUFLÖSUNG DES POTENTIALFELDES (BLAU) KANN ES VORKOMMEN, DASS SICH, AUS DER SICHT DES AGENTEN, DAS NÄCHSTE POTENTIALFELD HINTER DER WAND BEFINDET UND ER SICH FESTLÄUFT (ROTE SITUATION). IST DIE WAND HINGEGEN GENUG BREIT, SO FINDEN DIE AGENTEN PROBLEMLOS DEN WEG RUNDHERUM (GRÜNE SITUATION).....	28
ABBILDUNG 15: AUSZUG AUS DER DEFINITION DER AGENTEN. FÜR JEDEN STARTPUNKT SIND DIE ANZAHL AGENTEN, DIE EINZELNEN WEGPUNKTE, SOWIE DER ZIELPUNKT ANGEZEIGT. DIE DEFINITION DER AGENTEN IN SZENARIO 2 UMFASST ÜBER 50 AGENTENGRUPPEN UND ÜBER 100 EINZELNE EINTRÄGE.....	30
ABBILDUNG 16: ANKUNFTSZEITEN IN SEKUNDEN UND PROZENTUALER ANTEIL DER BEREITS GERETTETEN. 90% DER AGENTEN SIND NACH ETWA 180 SEKUNDEN GERETTET.	31
ABBILDUNG 17: FÜR JEDES SIMULATIONSSZENARIO ERGIBT SICH EIN DIAGRAMM MIT DER ZEIT AUF DER ORDINATE UND DEN JEWEILS ZEHN SIMULATIONSLÄUFEN AUF DER ABSZISSE. DIE BLAUEN KURVEN ZEIGEN WIE LANGE ES DAUERTE, BIS 90% DER AGENTEN DAS EINKAUFSZENTRUM VERLASSEN KONNTEN. ROT ENTSpricht 95% DER AGENTEN UND GRÜN 100%.	32
ABBILDUNG 18: DIE SIMULATION 1 (OBEN) UND DIE SIMULATION 2 (UNTEN) MIT ZWISCHENERGEBNISSEN NACH 60S (LINKS), 120S (MITTE) UND 180S (RECHTS). DIE STARK ROTEN BEREICHE ZEIGEN PROBLEMBEREICHE (KAPAZITÄTSENGPÄSSE) IM EINKAUFSZENTRUM.....	34
ABBILDUNG 19: DIE SIMULATION 3 (OBEN) UND DIE SIMULATION 4 (UNTEN) MIT ZWISCHENERGEBNISSEN NACH 60S (LINKS), 120S (MITTE) UND 180S (RECHTS).....	35
ABBILDUNG 20: GEGENÜBERSTELLUNG DER BEIDEN SZENARIEN. DIE SPUREN STELLEN BEWEGUNGEN VON EINZELNEN AGENTEN DAR. LINKS DIE SITUATION, WENN NUR DIE ÜBLICHEN AUSGÄNGE BENUTZT WERDEN. AUF DER RECHTEN SEITE FOLGEN DIE AGENTEN DEN NOTAUSGANGSSCHILDERN, SOFERN WELCHE IN DER NÄHE VORHANDEN SIND. ES IST VORAUSSEHBAR, DASS ES OHNE NOTAUSGÄNGE VOR ALLEM IM BEREICH DES TREPPENHAUSES [1] UND IM BEREICH DES HAUPTINGANGES [2] ZU ENGPÄSSEN KOMMEN WIRD. MIT DEN NOTAUSGÄNGEN SIND DIE PERSONENSTRÖME AUSGEGLICHENER VERTEILT.	36

ABBILDUNG 21: BEIM AUSGANG "GELDAUTOMATEN" KOMMEN MEHRERE STRÖME ZUSAMMEN, WAS DURCH DIE ENGEN DOPPELTÜREN ZU KAPAZITÄTSENGPÄSSEN FÜHRT. DER BLAUE PFEIL SYMBOLISIERT DIE RICHTUNG, IN DIE DAS FOTO GESCHOSSEN WURDE. LINKS AUF DEM FOTO DER COIFFURESALON.	38
ABBILDUNG 22: DURCH DIE BESTEHENDE BESCHILDERUNG WERDEN VIELE AGENTEN AUF EINEN NOTAUSGANG KONZENTRIERT, ANDERE AUSGÄNGE HÄTTEN ZU DIESEM ZEITPUNKT (T=60S) JEDOCH NOCH KAPAZITÄT, WIE LINKS IM BILD ZU SEHEN IST. DER BLAUE PFEIL SYMBOLISIERT DIE RICHTUNG, IN DIE DAS FOTO GESCHOSSEN WURDE.....	39
ABBILDUNG 23: DIE ANALYSE DER AGENTENPFADE ERGIBT, DASS AUCH RELATIV WEIT ENTFERNT AGENTEN DIESEN NOTAUSGANG AUFSUCHEN.....	39
ABBILDUNG 24: DIE SIMULATIONEN MIT DEN ANPASSUNGEN (VERSION 2) IM VERGLEICH MIT DEN URSPRÜNGLICHEN SIMULATIONEN GEMÄSS BESTEHENDEM EVAKUIERUNGSKONZEPT.	40

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: ANWENDUNG DES BEGRIFFES KAPAZITÄT AUF VERSCHIEDENE THEMENGEBIETE	5
TABELLE 2: GENAUE DEFINITION DES BEGRIFFS KAPAZITÄT FÜR DIE SPEZIFISCHEN GEBIETE	6
TABELLE 3: ORGANISATION DER GEBÄUDEVERSICHERUNGSANSTALT DES KANTONS ZÜRICH (QUELLE:HTTP://WWW.GVZ.CH)	14
TABELLE 4: DIE KOMBINATION DER DICHTE Typen (KOPFZEILE) UND DER REAKTIONSSZENARIEN (ERSTE SPALTE), LÄSST VIER SIMULATIONSLÄUFE ZU.	23
TABELLE 5: AUSZUG AUS DEN AGENTENBESTIMMUNGEN. DER EVAKUIERUNGSWEG BEZIEHT SICH AUF SZENARIO 2. FÜR JEDEN TEILBEREICH IST EINE FLÄCHE UND DIE ANZAHL AGENTEN FÜR BEIDE DEFINIERTEN DICHEN (P 1 UND P 2) ANGEZEIGT. DIE NUMMERN DER EVAKUIERUNGSWEGE RICHTEN SICH NACH ABBILDUNG 4 (KAPITEL 1.4).....	29
TABELLE 6: DIE KOMBINATION DER DICHTE Typen (KOPFZEILE) UND DER REAKTIONSSZENARIEN (ERSTE SPALTE), LÄSST VIER SIMULATIONSLÄUFE ZU.	31
TABELLE 7: MITTELWERTE DER FLUCHTZEITEN FÜR JEDEN SIMULATIONSLAUF (1-4). DIE SPALTEN BEZEICHNEN DIE DAUER, DIE 90%, 95% BZW. 100% DER AGENTEN FÜR DIE FLUCHT BENÖTIGTEN.	33
TABELLE 8: DIE SIMULATIONEN HABEN EINE VERBESSERUNG DER EVAKUATIONSZEIT UM 8 BIS 25 PROZENT ERGEBEN. AM GRÖSSTEN SIND DIE VERBESSERUNGEN BEI EINER HOHEN AGENTENDICHTE.	41
TABELLE 9: DANK DER VORGESCHLAGENEN OPTIMIERUNGEN WURDEN NACH 120 SEKUNDEN KNAPP 60 PERSONEN MEHR GERETTET.	41