



UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen
Studienzentrum Essen

Diplomarbeit zum Thema:

- Evakuierungsanalyse eines Ortsteiles der Freien und Hansestadt Hamburg -

Betreuer:

Dr.-Ing. Jürgen Brunsing

von

Dirk Durst

Matr.Nr.:1070834

Dürener Straße 116a

50171 Kerpen

Tel.: 0177 / 7595166

E-Mail: dirk.durst@stadt-kerpen.de

Inhaltsverzeichnis

1 Problembeschreibung und –abgrenzung	3
1.1 Evakuierungssimulationen im deutschen Katastrophenschutz.....	5
1.2 Evakuierungssimulationen im internationalen Katastrophenschutz.....	6
2 Evakuierungssimulation am Beispiel eines Hamburger Ortsteiles	8
2.1 Beschreibung des Katastrophen-Szenarios.....	9
2.1.1 Festlegen der Parameter.....	10
2.1.2 Auswahl des Ortsteiles.....	13
2.1.3 Durchführen einer Hochwassersimulation.....	15
2.1.4 Entscheidungsfindung im Krisenstab.....	17
2.2 Die Evakuierungsanalysesoftware MATSim.....	18
2.2.1 Grundlagen der Evakuierungssimulationssoftware.....	19
2.2.2 Beschreibung der Softwaretools.....	20
2.2.3 Technische Voraussetzungen.....	23
2.3 Eingangsvoraussetzungen für die Evakuierungsberechnung.....	23
2.3.1 Annahmen für Personen- und Motorindividualverkehr.....	23
2.3.2 Beschreibung der vorhandenen Geoinformationsdaten.....	27
2.4 Evakuierung der Fußgänger.....	27
2.5 Evakuierung des Motorindividualverkehrs mit der Software MATSim.....	31
2.5.1 Erzeugung des Netzwerkes aus OpenStreetMap.....	31
2.5.2 Erzeugen der Evakuierungs-Netzwerk-Datei.....	32
2.5.3 Erzeugen des Evakuierungsgebietes.....	33
2.5.4 Generieren der Population.....	36
2.5.5 Simulation der Evakuierung.....	37
2.5.6 Anzahl der Iterationen.....	39
2.5.7 Visualisierung der Simulationsergebnisse.....	40
3 Wertung der Ergebnisse der Evakuierungssimulation	44
3.1 Wertung aus Katastrophenschutzgesichtspunkten.....	44
3.2 Wertung der Arbeitsergebnisse aus technischer Sicht.....	45
3.3 Betrachtung der Evakuierungssimulation aus Kostengesichtspunkten.....	46
4 Resümee und Ausblick	48
4.1 Evakuierungsanalysen im Katastrophenschutz.....	48
4.2 Ideensammlung (Lastenheft) für ein Evakuierungs-Analyse-System (EAS).....	50
5 Verzeichnisse	51
5.1 Literatur- und Quellenverzeichnis.....	51
5.2 Abkürzungsverzeichnis.....	54
5.3 Tabellenverzeichnis.....	57
5.4 Abbildungsverzeichnis.....	57
6 Eidesstattliche Erklärung	59
Anlage I: Ausfallstraßen aus dem Evakuierungsgebiet	60

1 Problembeschreibung und –abgrenzung

Immer wieder erleben die Katastrophenschutzbehörden in aller Welt Situationen, in denen eine großräumige Evakuierung zu planen und schlimmstenfalls auch durchzuführen ist. Die Bilder der Tsunami-Katastrophe im Jahr 2004 sind uns allen noch im Gedächtnis.

Im Nachgang wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft ein gemeinsames Forschungsprojekt ins Leben gerufen, das in Zukunft das Ausmaß eines Tsunamis eingrenzen soll. Insbesondere der Personenschaden soll minimiert werden¹. Das Projekt bezog sich auf die philippinische Stadt Padang in West-Sumatra, die sehr stark von dem damaligen Tsunami betroffen war. Mit Hilfe einer Evakuierungssimulation wurde ein vorher definiertes Schadensszenario analysiert; mit den Ergebnissen wurden Strategien entwickelt, die es ermöglichen, die Selbstrettung der Bevölkerung zu realisieren.

Doch auch in deutschen Großstädten sind Szenarien denkbar, die es erforderlich machen eine großräumige Evakuierung durchzuführen. Zum Beispiel könnten Deichbrüche, Brüche von Staudämmen oder auch Gefährdungen durch Chemieunfälle bzw. terroristische Bedrohungslagen eine Evakuierungssimulation notwendig machen.

Bislang basieren die Katastrophenschutzplanungen auf Erfahrungswerten, die zum Beispiel in der Freien und Hansestadt Hamburg in die „Sturmflutbroschüre“ der hiesigen Katastrophenschutzbehörde eingearbeitet wurden². Insbesondere lange Vorwarnzeiten von sieben bis acht Stunden ermöglichen es, eine Evakuierung zu planen. Aber was ist, wenn die Vorwarnzeit ausbleibt, wie in den eingangs beschriebenen Szenarien?

In diesem Fall müssten schnelle, belastbare und für die Katastrophenschutzbehörden brauchbare Evakuierungszeitenberechnungen angestellt werden.

An dieser Stelle soll die Diplomarbeit einhaken und neben zurzeit nur wenigen Forschungsprojekten zum Thema in Deutschland erstmals eine Evakuierungssimulationssoftware einsetzen und auf ihre praktische Verwendbarkeit, am Beispiel eines ganzen Ortsteiles einer deutschen Großstadt, prüfen.

¹Vgl. Schlurmann, T. et. al. (2010): Projekt Last.Mile, URL: www.last-mile-evacuation.de

²Vgl. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Inneres und Sport (2008): Sturmflutbroschüre

Zielsetzung der Diplomarbeit

Die Diplomarbeit soll folgende Fragen beantworten:

- Ist die im Forschungsprojekt verwendete Evakuierungssimulationssoftware MATSim³ exemplarisch am Beispiel eines Ortsteiles einer deutschen Großstadt sinnvoll einsetzbar?
- Sind die in der entsprechenden Stadt bereits vorhandenen Geoinformationsdaten verwendbar?
- Sind die gelieferten Simulationsdaten im Kontext der im Katastrophenschutz zu fällenden Entscheidungen verwendbar und nutzbringend?
- Welche Kosten fallen für eine Evakuierungssimulation an? Auch wenn die Simulationssoftware ein Open-Source-Programm ist, das frei verfügbar und für jeden nutzbar ist, so sind doch Kosten zu erwarten, wie Lohnkosten oder Hardwarebereitstellung, die zu kalkulieren sind

Herangehensweise

Bei der Diplomarbeit wird seitens des Verfassers besonderes Augenmerk auf die praktische Verwendbarkeit gelegt. Sie soll einen Baustein in einem Projekt der Firma TraffGO HT und verschiedener universitärer Partner, im Sicherheitsprogramm der Bundesregierung „KMU innovativ“ bilden, das zum Ziel hat zu prüfen, ob Evakuierungsanalysen auch im Katastrophenschutz der Bundesländer etabliert werden können.⁴

Für die Diplomarbeit wurden zunächst die notwendigen Daten und Informationen in Hamburg ermittelt. Hierzu war der intensive Kontakt zur dortigen Katastrophenschutzbehörde notwendig. Die zuständige Abteilung in der Behörde für Inneres und Sport (BIS) der Freien und Hansestadt Hamburg hat deutliches Interesse an der Diplomarbeit gezeigt, so dass die Akquise der notwendigen Informationen unkompliziert war. Auch die Beschaffung der Geoinformationsdaten hat keine Probleme bereitet, das zuständige Landesamt konnte die Daten zur Verfügung stellen. Mit diesen gewonnenen Informationen wurde dann das Katastrophen-Szenario entwickelt und beschrieben.

Planmäßig sollten die gewonnenen Geoinformationsdaten vom Verfasser der Diplomarbeit mit Unterstützung der TU Berlin bearbeitet und in das Programm eingelesen werden. Dies wurde praktisch durchgeführt, musste im weiteren Verlauf der Arbeit jedoch wieder verworfen. Die Simulationen wurden vom Verfasser der Diplomarbeit eigenhändig auf dem eigenen Computer durchgeführt. Der Computer wurde an der TU Berlin in zwei Tutorials eingerichtet und es wurden Übungen durchgeführt. Dies erfolgte mit zwei Aufenthalten am entsprechenden Institut

³Vgl. Nagel K. et. al. (2010): Projekt MATSim, URL: www.matsim.org

⁴Vgl. BMBF (2010) und TraffGO HT (2010): Projekt GRIPS

VSP der TU Berlin. Die geplante Nutzung der Rechner an der TU Berlin war nicht sinnvoll, da die Rechenleistung des eigenen Netbooks für die Simulation ausreichend war und eine vollständige Bearbeitung der Szenarien in insgesamt drei Tagen nicht möglich gewesen wäre.

Die errechneten Ergebnisse der Evakuierungssimulation, wie Evakuierungszeiten und Staustellen, wurden anschließend einer Plausibilitätsüberprüfung unterzogen und inhaltlich bewertet. Zusätzlich wurden die Ergebnisse auch unter Kostenaspekten bewertet, da die Finanzsituation in den öffentlichen Haushalten mit größter Wahrscheinlichkeit keine großen Spielräume für teure Neuanschaffungen bietet.

1.1 Evakuierungssimulationen im deutschen Katastrophenschutz

Großräumige Evakuierungssimulationen haben im nationalen Katastrophenschutz, genauer gesagt im Katastrophenschutz der Bundesländer, noch keinen Einzug gehalten. Bislang basieren die Planungen meist auf Erfahrungswerten oder groben Schätzungen. In durchgeführten Katastrophenschutzübungen bekommt man lediglich eine vage Vorstellung davon, wie lange es dauert, einen Ortsteil zu evakuieren. Einsatzbezogene Daten liegen meist nicht vor, denn wenn es um großräumige Evakuierungen geht, handelt es sich meist um Blindgängereinsätze. Diese Einsätze können geplant werden. Aber auch viele andere denkbare Szenarien sind entweder lange vorher planbar, wie bei einer Hochwasserlage oder so brisant, dass eine Evakuierung den Personenschaden vergrößern würde, wie z.B. Gefahrgutaustritte.

Es bleibt festzuhalten, dass derzeit niemand genau abschätzen kann, wie lange eine Evakuierung dauern würde. Demzufolge basieren die Entscheidungen, die im Katastrophenschutz zu treffen sind, auf weitestgehend schwammigen Annahmen.

Seitens des Bundesministeriums für Bildung und Forschung werden derzeit mehrere Forschungsvorhaben unterstützt, die sich mit der Thematik Evakuierung von Personen und Personenstromlenkung beschäftigen:⁵

- EVA, Risiko Großveranstaltungen – Planung, Bewertung, EVAkuierung und Rettungskonzepte unter der Federführung des vfdb e. V., Referat 13, Dr. Dirk Oberhagen
- EVASim, Gekoppelte Verkehrs- und HydraulikSIMulation zur Steuerung von Schutz- und EVAkuierungsmaßnahmen unter der Federführung der Universität Stuttgart, Prof. Dr.-Ing. Silke Wieprecht

⁵Vgl. BMBF (2010): Innovationsplattform Schutz und Rettung von Menschen, URL: <http://www.bmbf.de/de/12909.php>

- Hermes, Erforschung eines Evakuierungsassistenten für den Krisenfall bei Großveranstaltungen unter der Federführung des Forschungszentrums Jülich, Prof. Dr. rer. nat. Armin Seyfried
- REPKA, Regionale Evakuierung: Planung, Kontrolle, Anpassung unter der Federführung der TU Kaiserslautern, Prof. Dr. Horst W. Hamacher

Das Forschungsvorhaben EVASim ist allerdings das einzige Projekt, das sich mit der großräumigen Evakuierung ganzer Landstriche befasst. Das Projekt REPKA könnte einige Ansätze bieten, beschränkt sich in der Planung jedoch auf das direkte Umfeld eines Fußballstadions.

Neben diesen von der Bundesrepublik geförderten Forschungsprojekten ist ein Forschungsprojekt der Universität Duisburg-Essen, gefördert durch die West LB Stiftung „Zukunft NRW“, bekannt. In diesem Projekt wird die Evakuierung eines Stadtteiles der Stadt Duisburg simuliert. Das Projekt steht kurz vor seinem Abschluss und dürfte Impulse für weitere ähnliche Projekte bieten.⁶

1.2 Evakuierungssimulationen im internationalen Katastrophenschutz

Der Hurrikan „Katrina“ zwang im August 2005 die Bewohner der Stadt New Orleans in den USA zur Flucht und hinterließ eine Spur der Verwüstung. Neben den direkten Folgen des Hurrikans, erwies sich die Evakuierung der Stadt als extrem problematisch. Aufgrund dieser Erfahrungen wurden in den USA Forschungsvorhaben aufgelegt, die sich mit Evakuierungssimulationen beschäftigen.

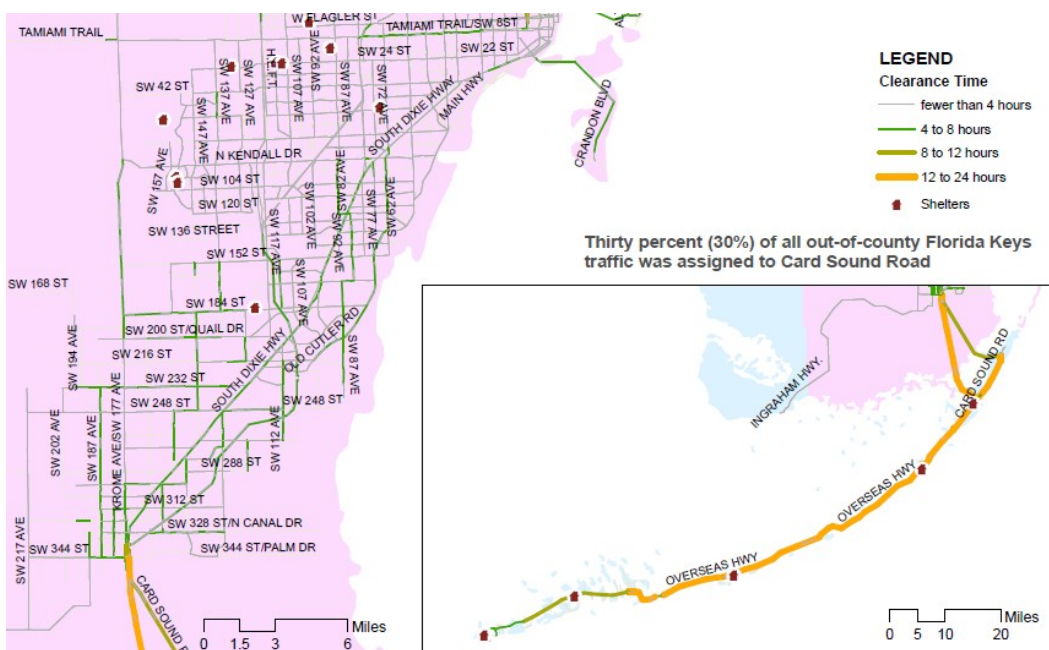


Abbildung 1: Kartenausschnitt Evakuierungswege South Florida (SFRPC 2006))

Exemplarisch wird eines heraus gegriffen. Es befasst sich mit der Region South Florida, die aufgrund ihrer Lage immer wieder von Wirbelstürmen betroffen ist.

⁶Kimms A. et. al. (2010): Evakuierungssimulation eines Duisburger Ortsteiles

Hier sind die Vorplanungen seit jeher sehr ausgefeilt. Jedoch soll die Verkehrsplanung durch dieses Projekt zukünftig verbessert und ständig aktualisiert werden. Es wurden verschiedene Szenarien beschrieben, bei denen Sturmstärken und Tourismus als Parameter verändert werden. Hieraus wurden Zeiten ermittelt, die benötigt werden, um bestimmte Landstriche zu evakuieren. Diese Ergebnisse wurden in Landkarten festgehalten und stehen den Behörden und der Bevölkerung zur Planung zur Verfügung.

Zur Berechnung der angegebenen Zeiten wurden umfangreiche Daten ausgewertet, die im Vorfeld bei verschiedenen Evakuierungen gesammelt werden konnten.

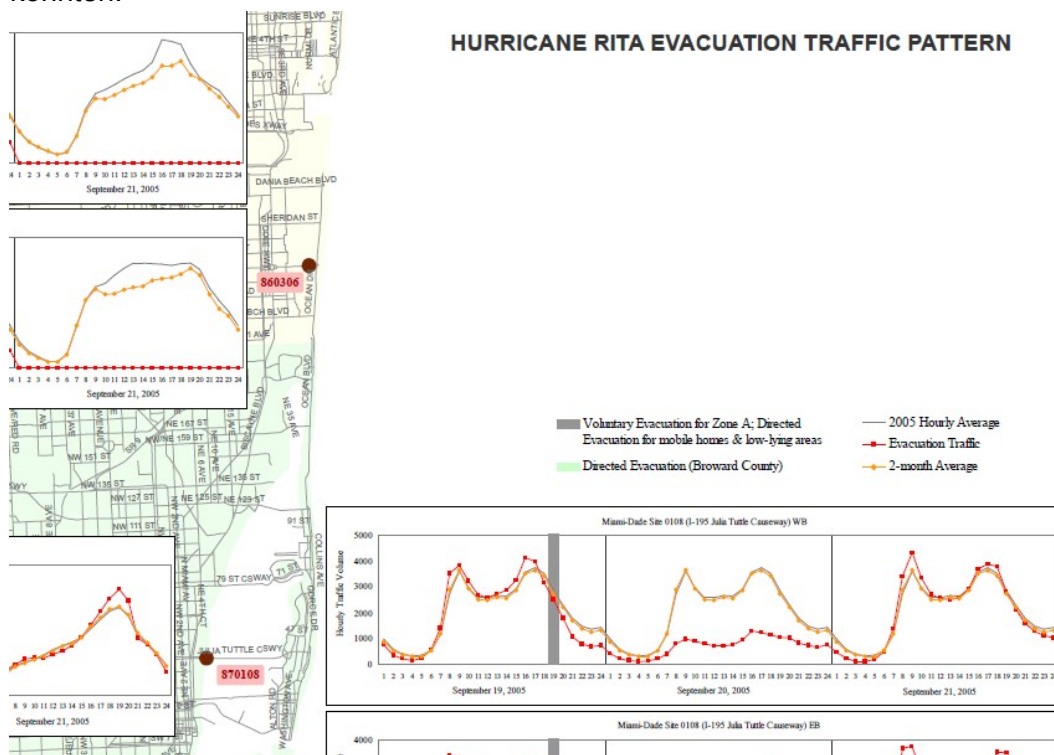


Abbildung 2: Kartenausschnitt Verkehrsdaten Hurricane RITA (SFRPC 2006)

Eine so umfangreiche Datensammlung ist zwar aus wissenschaftlicher Sicht sehr hilfreich, bei der Erarbeitung von Vorhersagen, zeigt aber insbesondere auch, wie belastend die Wirbelstürme für die Bevölkerung sind.⁷

Im Dezember 2004 wurden über 231.000 Menschen in acht asiatischen Ländern von einem Tsunami getötet. Bei einem Tsunami handelt es sich um eine außergewöhnlich hohe Welle, die sich aufgrund eines Seebebens bildet. Sie breitet sich vom Epizentrum her rasant in alle Richtungen aus. Die Vorwarnzeit bei einem Tsunami ist ohne ein technisches Frühwarnsystem relativ gering, da das wesentliche Warnsignal, das Zurückweichen des Wassers, erst kurz vor der Flutwelle bemerkbar sind. Dieses Naturschauspiel zieht zudem viele Menschen in seinen Bann, die dann nicht rechtzeitig die Flucht in höhere Regionen antreten. Vie-

⁷Vgl. SFRPC (2006): Regional Hurricane Evacuation Model Traffic Study, URL: <http://www.sfrpc.com/rhem.htm>

le Menschen, gerade auch in ärmeren Regionen, sind von Tsunamis bedroht. Aus diesem Grund wurde seitens der deutschen Forschungsgemeinschaft und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung ein Projekt namens LastMile ins Leben gerufen. Es kombiniert verschiedene Studien, die aufeinander aufbauen und erreichen sollen, die Selbstrettung der Bevölkerung in Padang im Westen Sumatras im Fall eines Tsunamis zu verbessern.⁸ Die dort zur Evakuierungssimulation eingesetzte Software MATSim ist Bestandteil dieser Arbeit.

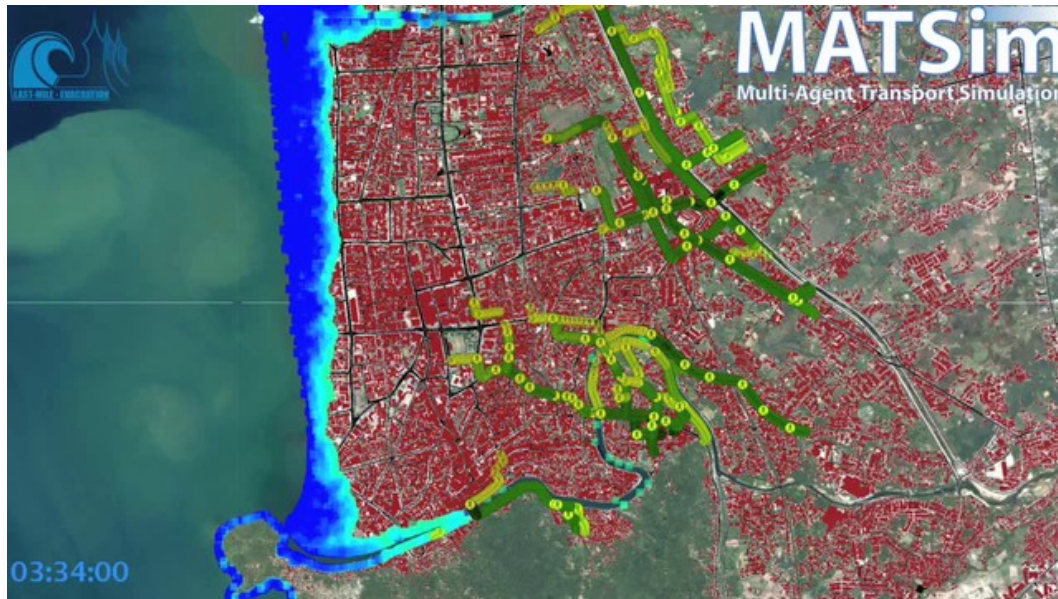


Abbildung 3: Visualisierung der Evakuierungssimulation Padang (MATSim.org)

Die obige Abbildung zeigt in Grün-Gelb dargestellt die Personenströme (Agenten) und in Hellblau bis Dunkelblau die herannahende Flutwelle. Die rötlich dargestellten Bereiche sind das Stadtgebiet von Padang.

2 Evakuierungssimulation am Beispiel eines Hamburger Ortsteiles

Die Freie und Hansestadt Hamburg ist mit ihren rund 1,7 Millionen Einwohnerinnen und Einwohnern die zweit größte Stadt Deutschlands. Generell kann es in Großstädten aufgrund ihrer dichten Besiedelung zu einer Situation kommen, die eine Evakuierung von Tausenden oder gar Hunderttausenden Menschen notwendig macht. Die Vorwarnzeiten können aufgrund der Besiedlungsdichte und der Nähe zur Industrie in einer Großstadt deutlich geringer sein, als in einer Flächenregion. Alle denkbaren Schadensszenarien können in einer Großstadt wie Hamburg eintreten.

Die zuständigen Katastrophenschutzbehörden der Großstädte sind in der Regel umfassender vorbereitet als Flächenlandkreise. Zudem bietet die Freie und Han-

⁸Vgl. BMBF (2005): Projekt: Last Mile, URL: www.last-mile-evacuation.de

sestadt Hamburg als Bundesland den Vorteil, neben der Gesetzgebung zum Katastrophenschutz auch für die praktische Umsetzung zuständig zu sein. Die Zusammenarbeit im Rahmen dieser Arbeit gestaltete sich aufgrund der kurzen Wege, der klaren Strukturen und der Aufgeschlossenheit aller beteiligter Personen und Institutionen als gewinnbringend.

Bevor ein Einstieg in die Evakuierungsanalyse möglich ist, muss die Terminologie erläutert werden. Im deutschsprachigen Raum gibt es, im Gegensatz zum englischsprachigen Raum, sprachlich und inhaltlich unterschiedliche Aussagen, wenn die Termini evakuieren, räumen und retten Verwendung finden.

Retten

Unter Retten ist das Befreien aus einer Zwangslage zu verstehen, z. B. aus einem Pkw nach einem Verkehrsunfall.

Räumen

Mit dem Begriff Räumen wird das Herbeiführen des kurzfristigen Verlassens eines Gebäudes, eines Straßenzuges, eines Ortsteiles usw. beschrieben, ohne den Lebensmittelpunkt zu verlegen. D. h., die Maßnahme ist nach einem überschaubaren Zeitraum beendet, z. B. bei einem Bombenfund.

Evakuieren

Der Wortlaut Evakuierung umschreibt das langfristige Verlassen eines Gebäudes, eines Straßenzuges, eines Ortsteiles usw., wobei der Lebensmittelpunkt verlegt wird, z. B. wird ein Ortsteil langfristig unbewohnbar und die Bevölkerung wird in Notunterkünften untergebracht.

Hieraus folgt, dass wir eigentlich keine Berechnung einer Evakuierungszeit, sondern die Räumungszeit ermitteln. Da sich allerdings im allgemeinen Sprachgebrauch die „Evakuierung“ durchgesetzt hat, soll dies einzig der Erklärung dienen, um Missverständnissen vorzubeugen.

2.1 Beschreibung des Katastrophen-Szenarios

Erdbeben, Flugzeugabstürze, Störfälle, Unfälle, Stürme, Hochwasserlagen, terroristische Bedrohungslagen usw., dies sind nur eine Handvoll Ereignisse, die zu einer Katastrophe führen könnten. Zunächst stellt sich die Frage nach der Definition Katastrophe, die in der Bundesrepublik Deutschland aufgrund des föderalen Aufbaus bundesland-spezifisch ist. Während das Bundesland Hamburg in der Tat ein Katastrophenschutzgesetz hat und von einer Katastrophe spricht, so kennt man in Nordrhein-Westfalen nur noch die „Großschadenlage“, die „versteckt“ im Feuerschutz- und Hilfeleistungsgesetz auftaucht. In der Regel sind jedoch bei allen Gesetzen ähnliche Szenarien gemeint, die eine Katastrophe oder Großschadenlage beschreiben. Ein Schadensereignis, das zur Abarbeitung einen erhöhten

Koordinierungsaufwand nach sich zieht und die in der Regel damit beauftragte Behörde oder Institution überfordert.⁹ Angesetzt wird also nicht bei der Art des Ereignisses, sondern vernünftigerweise allgemein beim Koordinierungsaufwand. Also kann in einem dünn besiedelten Landkreis eine Schadenslage das Ausrufen einer Katastrophe nach sich ziehen, während in einer benachbarten Großstadt ein solches Ereignis im Regelgeschäft abgewickelt wird.

2.1.1 Festlegen der Parameter

Für diese Diplomarbeit ist es erforderlich, eine definierte Schadenslage festzulegen, um die Evakuierungsanalyse darauf abstimmen zu können. Die eingangs aufgelisteten Schadensszenarien können grob nach Naturkatastrophen und von Menschen verursachten Katastrophen unterteilt werden.¹⁰ Zu allen denkbaren Schadensszenarien können die Eintrittswahrscheinlichkeit und das erwartete Ausmaß des Schadens bestimmt werden.

Da bei von Menschen verursachten Katastrophen viele Parameter eher schlecht vorhersagbar sind, wurden diese Ereignisse für die Diplomarbeit nicht betrachtet.

Der Bereich der Naturkatastrophen bietet auch Raum, über die Parametrierung zu diskutieren. Allerdings ist es so, dass Naturereignisse meist wiederkehrende Ereignisse sind, die relativ gut über Jahrzehnte beobachtet wurden. Sie eignen sich damit gut dazu, ein definiertes Schadensszenario im Rahmen der Diplomarbeit zu beschreiben.

Die Freie und Hansestadt Hamburg wird jedes Jahr mehrfach von sogenannten Sturmfluten bedroht. Dies ist meist in der Zeit vom 15. September bis 31. März der Fall. Einige Teile des Stadtgebietes sind auf einen „künstlichen“ Hochwasserschutz angewiesen, da sie sonst regelmäßig überflutet würden.¹¹ Somit stellt das Versagen eines Gliedes in der Kette dieser Hochwasserschutzanlagen die stärkste Bedrohung für die tiefer liegenden Ortsteile und die darin lebenden Menschen dar. Der plötzliche Eintritt des Ereignisses würde die geplante Evakuierung durch die Katastrophenschutzbehörde unmöglich machen. In einem solchen Fall würde die Bevölkerung aufgefordert, umgehend höher liegende Räume aufzusuchen. Eine Überflutung der Hochwasserschutzanlagen könnte zwar ähnliche Ausmaße annehmen, die Vorwarnzeit ist jedoch aufgrund moderner Hochwasservorhersagen deutlich länger und eine durch die Katastrophenschutzbehörde geplante

⁹Vgl. BBK (2010): Katastrophenschutzgesetze der Bundesländer

¹⁰Vgl. EU-Kommission (2009): Gemeinschaftskonzept zur Verhütung von Katastrophen

¹¹Vgl. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Inneres und Sport (2008): Sturmflutbroschüre

Evakuierung ist durchführbar. Sowohl der eine als auch der andere Fall ist durchgeplant und in Stabsrahmenübungen trainiert worden.

Für die Diplomarbeit wird ein drohender sogenannter hydraulischer Grundbruch angenommen, der aufgrund einer Durchweichung des Deiches nach einem Kettenhochwasser eintreten könnte und den Krisenstab vor eine wichtige Entscheidung stellt: evakuieren ja oder nein.

Der Katastrophenschutz in Hamburg sowie auch Wasserbauspezialisten sprechen von einem sogenannten Kettenhochwasser, wenn über einen Zeitraum von bis zu 56 Stunden ein Hochwasserpegel dauerhaft an den Deichen ansteht und auch bei Ebbe nicht vollständig absinkt. Zur Verdeutlichung ein Diagramm, das ein solches Kettenhochwasser beschreibt.¹²

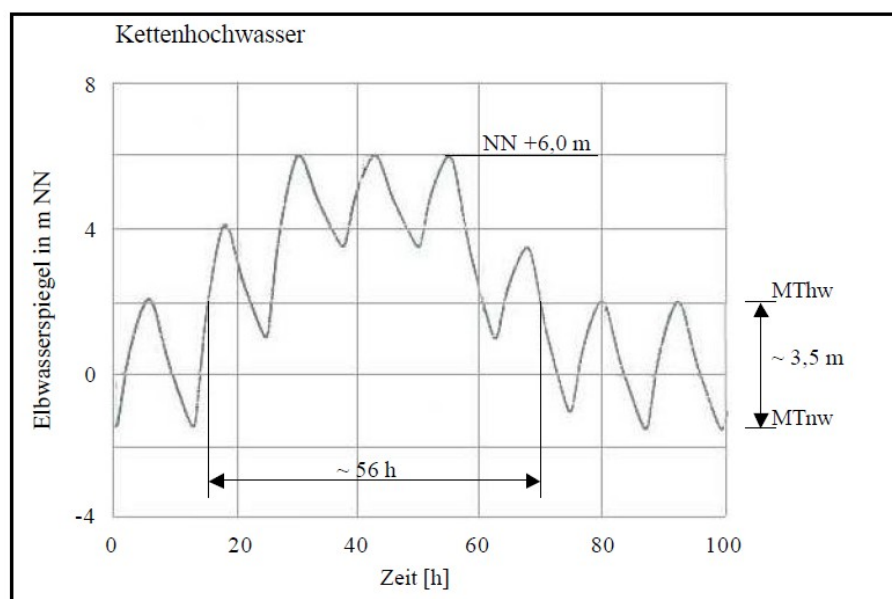


Abbildung 4: Diagramm Kettenhochwasser

Die Deichbauten in Hamburg sind in den vergangenen Jahrzehnten stetig verbessert worden. Die zurzeit verwendeten Deiche haben folgenden Aufbau¹³.

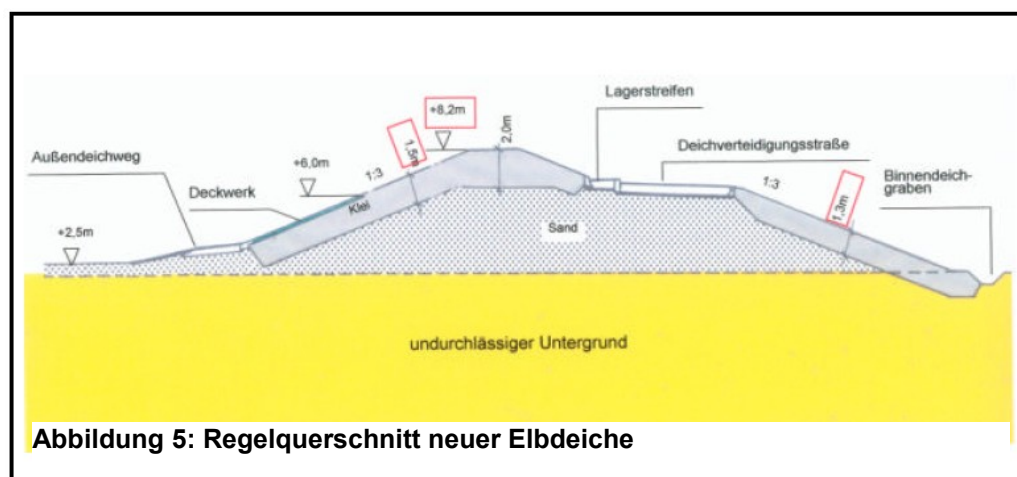


Abbildung 5: Regelquerschnitt neuer Elbdeiche

¹²Vgl. Rechtern, J. (2003): Standsicherheit von Deichbauten, S. 4ff.

¹³Ders., S. 4

Sie sind damit auf dem modernsten Stand der Technik und würden einem solchen Lastfall in der Regel standhalten.

Nachfolgend ist ein hydraulischer Grundbruch eines Deiches zeichnerisch dargestellt¹⁴.

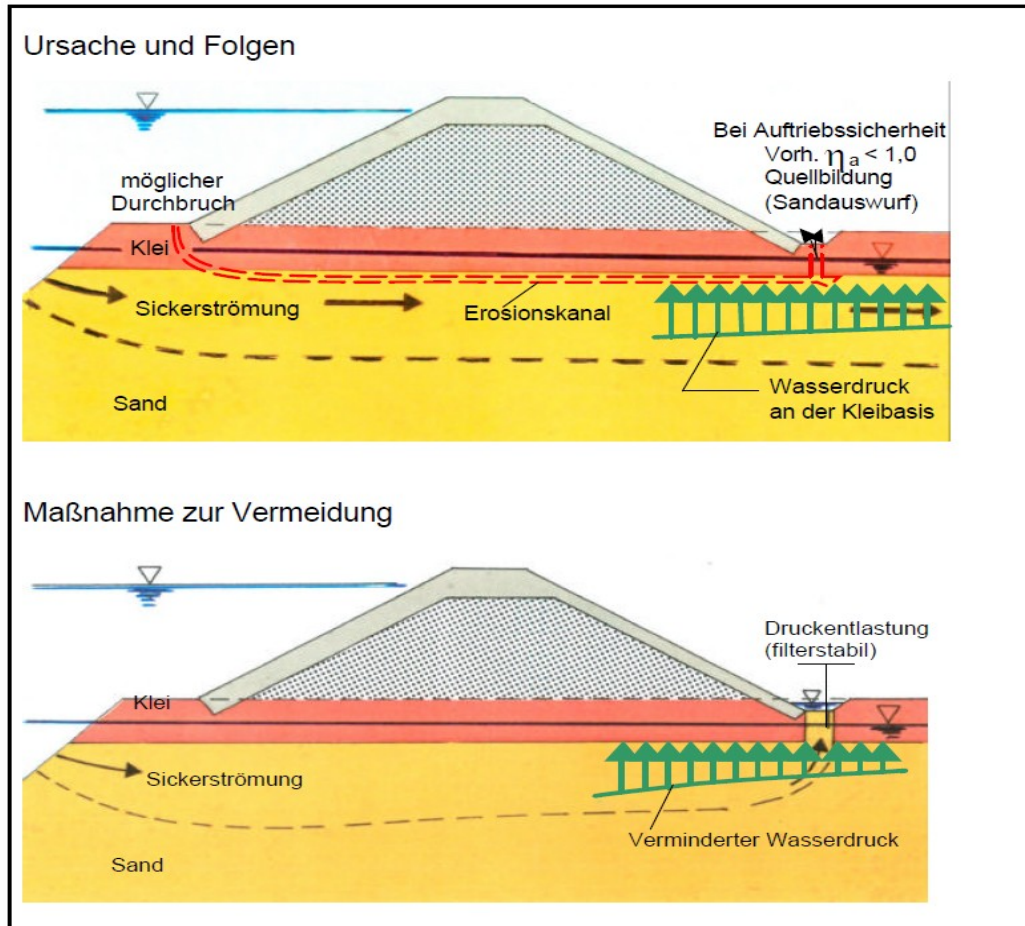


Abbildung 6: Hydraulischer Grundbruch

Die Folgen eines hydraulischen Grundbruchs sind insofern erheblich, als das Versagen des Deiches relativ schlagartig eintreten kann und der Deich in seiner kompletten Tiefe versagt. Zudem tritt das Ereignis bei anstehender Flut ein, so dass sofort erhebliche Wassermengen in das tiefer liegende Gebiet einströmen.

Die Katastrophenschutzbehörde in der Freien und Hansestadt Hamburg verfügt über ein Hochwassersimulationsprogramm (HWSim)¹⁵. Mit diesem Simulationsprogramm lassen sich alle erdenklichen Szenarien darstellen und durchspielen. Gemeinsam mit dem für den Katastrophenschutz in Hamburg-Mitte zuständigen Bezirksamt wurde als Szenario ein Deichgrundbruch auf einer Breite von 50 m bei einem Pegelstand von 6,30 m angenommen. Ebenfalls angenommen wurde ein prognostizierter maximaler Pegelstand von 7,00 m. Ein solcher Pegelstand

¹⁴Rechtern, J. (2003): Standsicherheit von Deichbauten, S. 16

¹⁵Vgl. Kaden, St. u. Reichert, S. (1999): Sturmflutsimulation für Hamburg

würde mit Ausnahme des direkten Hafengebietes nicht zu einer Überflutung der Deiche führen. Eine planmäßige Evakuierung wäre somit nicht in Gang gesetzt.

Wie sich ein solcher Deichgrundbruch auswirken würde, ist abhängig vom Bruchort. Hieraus ergeben sich die Parameter, die in der Hochwassersimulation einzupflegen sind. Zunächst muss demnach der Ortsteil ausgewählt werden, in dem der drohende Deichbruch und die anschließende Evakuierung simuliert werden sollen.

2.1.2 Auswahl des Ortsteiles

Im Jahre 1962 traf die Freie und Hansestadt Hamburg die bis dato schwerste Sturmflut. Besonders stark war der Ortsteil Wilhelmsburg betroffen. Die meisten der insgesamt 320 Toten dieser Katastrophe waren in diesem Ortsteil zu beklagen. Viele Flüchtlinge aus den Ostgebieten wohnten nach dem Zweiten Weltkrieg noch in einstöckigen Behelfsunterkünften, was das Fliehen in obere Stockwerke verhinderte.¹⁶



Abbildung 7: Sturmflut 1962 Ortsteil Wilhelmsburg (Fotos: Gerhard Pietsch)

Die zuständige Katastrophenschutzbehörde hat daher genau diesen Ortsteil vorgeschlagen. Die Situation als solches hat sich in den Jahren seit der Katastrophe wie folgt verändert und deutlich verbessert:

- Die Deiche wurden den aktuellen Gegebenheiten angepasst.
- Es wurde eine komplette Katastrophenschutzplanung erarbeitet.
- Fluchtburgen wurden gebaut.

¹⁶Vgl. Poser, H. (2010): Persönliches Gespräch am 13.11.2010

-
- Es wurden Evakuierungspläne erarbeitet.
 - Die Bevölkerung wird regelmäßig sensibilisiert.
 - Es finden Katastrophenschutzübungen statt.

Aber ein wesentlicher Sachverhalt lässt sich nicht ändern: die Lage. Mit einer Höhe knapp über dem Meeresspiegel und umgeben von Wasser ist das Gefährdungspotenzial bei einem Deichbruch sehr hoch. Diese für den Katastrophenschutz schwierige Lage des Ortsteiles ist für die Durchführung einer Evakuierungssimulation vorteilhaft, da nur eine überschaubare Anzahl an „Ausgängen“ vorhanden sind, die somit nicht zu komplex wird.



Abbildung 8: Die Elbinsel Wilhelmsburg (Foto: Landsat)

Wilhelmsburg ist flächenmäßig der größte Hamburger Ortsteil. Mit den angrenzenden Ortsteilen Veddel, Steinwerder und Kleiner Grasbrook liegt Wilhelmsburg umschlossen von Norder- und Süderelbe im Süden Hamburgs. Diese Ortsteile bilden mehrere Elbinseln, von denen Veddel und Wilhelmsburg separat eingedeicht sind. Der Ortsteil Wilhelmsburg wurde erst zum 1. März 2008 aus dem Bezirk Harburg ausgegliedert und dem Bezirk Hamburg-Mitte zugeordnet.

Das Gebiet des Ortsteils umfasst circa 35 Quadratkilometer. Mitten hindurch verläuft die Eisenbahntrasse Hamburg-Bremen. Direkt an dieser Strecke befindet sich ein S-Bahnhof, der von den Linien S3 und S31 angefahren wird. Die Fahrt in die Innenstadt dauert lediglich sechs Minuten.

Wilhelmsburg wird im Osten von der Bundesautobahn 1 in Nord-südrichtung durchquert. Die Wilhelmsburger Reichsstraße mit ihren Elbbrücken verbindet als B 4 / B 75 die Hamburger Innenstadt mit dem Bezirk Harburg. Die westlichen Hamburger Hafengebiete sowie die Bundesautobahn 7 sind per Pkw und Lkw über die Köhlbrandbrücke erreichbar. Im Südwesten ermöglicht die Kattwyk-Brücke eine Querung der Süderelbe. Eine nachrangige Bedeutung für den Straßenverkehr hat der Alte Elbtunnel, der Wilhelmsburg nach Norden hin zur Innenstadt anbindet. Der öffentliche Personennahverkehr wird durch verschiedene Buslinien des Hamburger Verkehrsverbundes sichergestellt.

Die stadtnahe Lage zieht insbesondere junge Menschen an. Ein Grund hierfür ist das Programm zur Förderung des studentischen Wohnens, eine Kooperation zwischen dem Hamburger Senat und Wohnungsbaugesellschaften. Wilhelmsburg ist aber auch ein Ortsteil mit einem sehr hohen Ausländeranteil. Der Ortsteil soll attraktiviert werden und sieht sich einem starken Wandel ausgesetzt. Unter dem Namen „Weltquartier“ führt die Internationale Bauausstellung (IBA) das wohl eindrucklichste Modellprojekt zur Umgestaltung des großen Ortsteils durch. Die ehemalige Arbeitersiedlung der Howaldt-Werften wird bis voraussichtlich Ende 2013 zu einem „Ideal weltgesellschaftlicher Nachbarschaft“ umgestaltet. Im Quartier werden 830 Wohnungen, teils nach Wünschen der Mieter, komplett saniert und in ihren Grundrissen den heutigen Bedürfnissen angepasst.

2.1.3 Durchführen einer Hochwassersimulation

Wie in der Beschreibung des Schadensszenarios bereits dargestellt, wurde für diese Diplomarbeit von der Hamburger Katastrophenschutzbehörde eine Hochwassersimulation mit der Software HW-SIM für den Ortsteil Wilhelmsburg durchgeführt. Folgende Parameter wurden hierbei angenommen:

- Beginn des Grundbruchs 18:00 Uhr
 - Deichgrundbruch auf einer Länge von 50 m
 - bei einem Pegelstand von 6,30 m
 - prognostizierter Pegelstand von max. 7,00 m um 18:30 Uhr
 - bei Deichkilometer 21,5 km
 - Basisabfluss Q_0 Elbe 2.200 m³/s
-

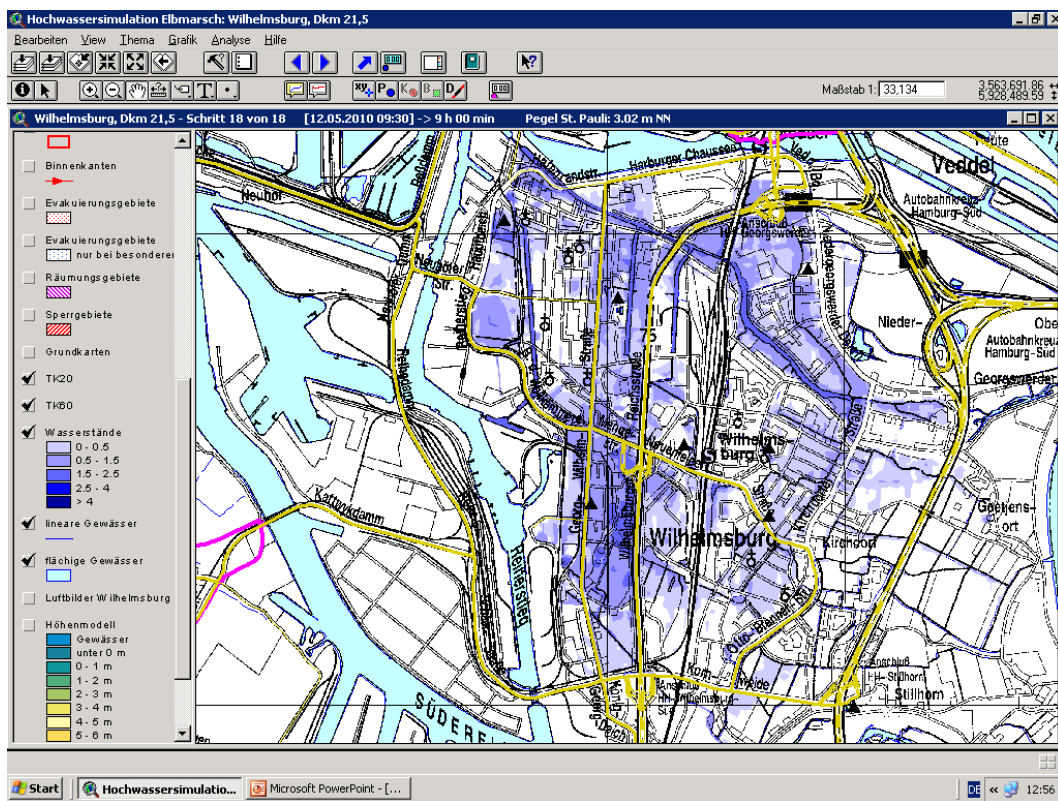


Abbildung 9: Ergebnis Hochwassersimulation 3,5 h nach Deichbruch

Die Simulation zeigt, dass aufgrund der Lage des erwarteten Deichbruchs weite Gebiete gefährdet sind, die vorwiegend Wohnbebauung beinhalten.

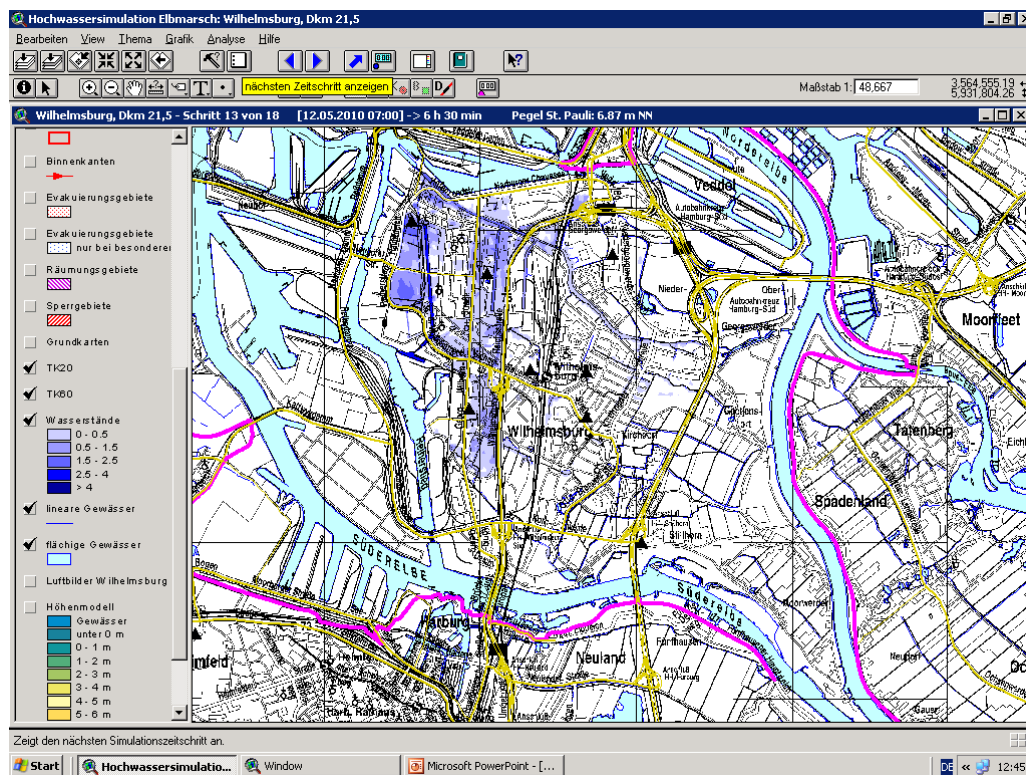


Abbildung 10: Ergebnis Hochwassersimulation 1,0 h nach Deichbruch

Besonders brisant erscheint, dass sich schon innerhalb der ersten halben Stunde nach dem erwarteten Deichbruch das Wasser massiv in den Wohngebieten im

Norden Wilhelmsburgs ausbreitet. Nach einer Stunde sind bereits weite Teile westlich der Wilhelmsburger Reichsstraße betroffen. In diesen Gebieten ist der Hauptteil der Wilhelmsburger Bevölkerung gemeldet. Die vorstehende Abbildung verdeutlicht diese Problematik anschaulich.

2.1.4 Entscheidungsfindung im Krisenstab

Der Krisenstab steht nun vor der Entscheidung, wie weiter vorgegangen wird, um den drohenden Schaden für die Bevölkerung so gering wie möglich zu halten.

Verdeutlichen wir uns die Situation anhand einer Matrix:

	Krisenstab hat entschieden, keine Evakuierung einzuleiten	Krisenstab hat entschieden zu evakuieren, die getroffenen Annahmen waren korrekt, Evakuierungszeit gut geschätzt	Krisenstab hat entschieden zu evakuieren und die getroffenen Annahmen waren nicht zutreffend, Evakuierungszeit unterschätzt
Schadensereignis tritt ein	Verantwortung für Personen und Sachschäden muss übernommen werden	Alles richtig gemacht!	Verantwortung für Personen- und Sachschäden muss übernommen werden. Schlimmstenfalls trifft das Ereignis die Bevölkerung auf der Flucht und die Personenschäden sind höher, als wenn sich die Bevölkerung in höhere Geschosse rettet.
Schadensereignis bleibt aus	„Alles richtig gemacht!?!?“	Verantwortung für Produktionsausfall, evt. Plünderungsschäden o. Ä. muss übernommen werden.	Verantwortung für Produktionsausfall, evt. Plünderungsschäden o. Ä. muss übernommen werden.

Abbildung 11: Entscheidungsmatrix Krisenstab

Das drohende Schadensszenario ist bewusst so gewählt, dass ein Krisenstab in Entscheidungsnot kommen soll. Üblicherweise ist es in Hamburg so, dass die wahrscheinlichen Schadensszenarien sehr gut vorbereitet sind und im Krisenstab geübt wurden. Auf dieser Planung baut auch die gesamte Sturmflutvorbereitung auf.

Wie in der obigen Entscheidungsmatrix zu sehen, steht der Krisenstab vor einer wesentlichen Entscheidung. In der vorliegenden Arbeit wird angenommen, dass der Krisenstab eine Entscheidungshilfe in Bezug auf die Frage haben möchte, ob es zeitlich möglich ist, die gesamte Bevölkerung inklusive der Gewerbegebiete des Ortsteiles Wilhelmsburg in einem Zeitfenster von vier Stunden zu evakuieren.

Den wesentlichen Anteil an der Entscheidungshilfe soll die Evakuierungssimulationssoftware MATSim haben, mit welcher der Evakuierungsverkehr simuliert werden soll.

2.2 Die Evakuierungsanalysesoftware MATSim

Bei der Evakuierungsanalysesoftware MATSim handelt es sich um ein wissenschaftliches Softwaretool, das von den Technischen Hochschulen Berlin und Zürich gemeinsam entwickelt wurde. Von Hause aus ist die Software zur Analyse und Simulation von Verkehrsströmen im Pkw und Lkw Bereich entwickelt worden. Sie wurde bereits in den Städten Zürich, Berlin und Toronto erfolgreich eingesetzt.

Der Einsatz dieser Software im Bereich Personenströme und Fußgängerverkehr wird erstmals in einer zurzeit noch nicht veröffentlichten Dissertation im Rahmen eines Forschungsprojekts des Bundesministeriums für Bildung und Forschung und der Deutschen Forschungsgemeinschaft erfolgreich erprobt. Zukünftig soll das Ausmaß eines Tsunamis, insbesondere der Personenschäden minimiert werden.¹⁷ Das Projekt bezog sich auf die philippinische Stadt Padang in West-Sumatra, die 2004 sehr stark von einem Tsunami betroffen war. Mithilfe einer Evakuierungssimulation wurde ein vorher definiertes Schadensszenario analysiert und mit den Ergebnissen wurden Strategien entwickelt, die es ermöglichen, die Selbstrettung der Bevölkerung zu realisieren. Im Gesamtprojekt „Last.Mile“ wurden fünf verschiedene Arbeitspakete durch Spezialisten bearbeitet und die Ergebnisse wurden vernetzt:

- AP1000: Sozialökonomische Vulnerabilitätsstudie
- AP2000: Überschwemmungsszenarien und Strömungsanalyse
- AP3000: Physikalische Vulnerabilitätsstudie, Stabilität der Bebauung im Falle eines Tsunamis
- AP4000: Evakuierungsanalyse, Einsatz der Software MATSim
- AB5000: Analyse der Küsten-Topografie

Im Rahmen der Diplomarbeit wird die Software zur Simulation des Evakuierungsverkehrs eingesetzt. Im Mittelpunkt steht der Motorindividualverkehr, der in Folge der Evakuierung der Bevölkerung entstehen würde. Ursprünglich war geplant, die Evakuierungssimulation ausschließlich für Fußgänger durchzuführen. Dies ist jedoch aufgrund der zu langen Wege vor Ort und der praktischen Erfahrung aus der Sicht des Katastrophenschutzes nicht sinnvoll.

¹⁷Vgl. Schlurmann, T. et. al. (2010)

2.2.1 Grundlagen der Evakuierungssimulationssoftware

Bei dem Softwaretool MATSim handelt es sich um eine makroskopische Analyse des Verhaltens der einzelnen Agenten. Diese sogenannten Agenten (engl. agents) sind die Personen, Pkw oder Lkw, die sich durch das Evakuierungsnetzwerk bewegen. Jeder dieser Agenten möchte sich auf dem kürzesten Weg aus diesem Evakuierungsnetzwerk zu einem Ausgang bewegen. Die Software ist in der Lage unterschiedlich viele Iterationen, also mathematische Durchläufe mit Schlussfolgerungen aus den vorangegangenen Iterationen, zu berechnen. Die Agenten lernen, dass der kürzeste Weg (Iteration 0) nicht immer der schnellste ist. Sie versuchen, von Iteration zu Iteration ein besseres Ergebnis zu erzielen. Am Ende erreicht die Software so ein rechnerisches Optimum, die kürzestmögliche Evakuierungszeit.

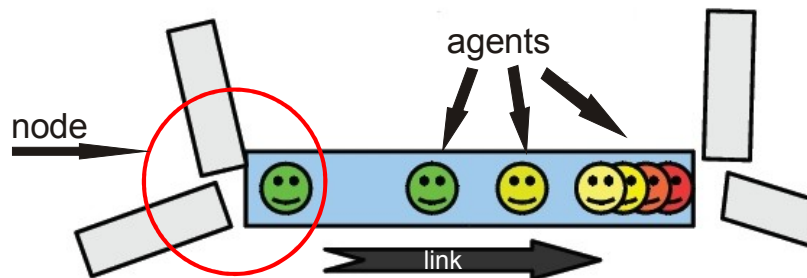


Abbildung 12: Darstellung Queue-Modell

Das Evakuierungsnetzwerk ist aufgebaut aus Knoten (engl. nodes) und Kanten (engl. links). Entlang dieser Knoten und Kanten bewegen sich die Agenten. Die Kanten sind mit bestimmten Parametern versehen, wie zum Beispiel die Länge und die mögliche maximale Geschwindigkeit. Aus diesen Vorgaben ergeben sich die Kapazität einer Straße und die Durchlassfähigkeit. Der mathematische Kern der Verkehrsfluss-Simulation basiert auf einem Queue-Modell, das nach dem FIFO-Prinzip arbeitet. Wie auf einer richtigen Straße auch, werden die Agenten (Pkw), die zuerst in die Straße eingefahren sind, auch zuerst die Straße wieder verlassen. Jeder Link (Straße) hat eine gewisse Kapazität an Agenten die er aufnehmen kann. Ist diese Kapazität erschöpft, so kann kein Agent mehr auf den Link gelangen und es kommt zu einem Stau. Auch das entspricht einer realen Abbildung des Straßenverkehrs.¹⁸

Die an dieser Stelle sehr komprimiert dargestellten Grundlagen werden nicht hergeleitet, da der mathematische Kern des Programms über viele Jahre validiert wurde und in der Praxis erprobt ist.

¹⁸Vgl. Lämmel, G. (2008): Multi agent based large-scale evacuation simulation, S.5 ff.

2.2.2 Beschreibung der Softwaretools

Das Softwaretool ist in der Programmiersprache JAVA geschrieben, die von der Firma Sun Microsystems entwickelt wurde. Ein wesentlicher Vorteil liegt in der Plattformunabhängigkeit. Das heißt, unabhängig davon welches Betriebssystem auf dem ausführenden Rechner installiert ist, kann das Softwaretool immer auf einer JAVA-Plattform ausgeführt werden, die prinzipiell für jedes Betriebssystem existiert. Ein- und Ausgabedateien werden weitestgehend im .xml-Format erzeugt bzw. eingelesen. Der Vorteil hierbei ist eine klare und nachvollziehbare Syntax. Die Dateien, die in anderen Formaten ausgegeben werden, dienen der bildlichen und textlichen Ergebnisdarstellung und werden in den üblichen Dateiformaten (.txt, .png) ausgegeben. Einzig das Movieformat (.mvi) ist nicht direkt für die heute üblichen Darstellungsprogramme lesbar. Hier soll zukünftig Abhilfe geschaffen werden.

Die Ausführung der Software MATSim allein ist ohne Weiteres nicht möglich. Planmäßig greifen die Entwickler der Software MATSim auf verschiedene frei verfügbare Softwaretools zurück:

1. Ausgeführt wird die Software MATSim in einer JAVA-Entwicklungssoftware namens eclipse.¹⁹ Die grafische Aufbereitung der gewonnenen Daten erfolgt ebenfalls durch ein in der eclipse-Umgebung auszuführendes Darstellungstool namens OTFVis, das ebenfalls in JAVA programmiert wurde.
2. Die Geoinformationsdaten werden in der Software QuantumGIS dargestellt und georeferenziert^{20, 21}
3. Straßennetzwerke können automatisiert zurzeit ausschließlich aus OpenStreetMap exportiert, mit QuantumGIS bearbeitet und anschließend mit einem Zusatzprogramm, dem EvacuationNetworkGenerator, in MATSim importiert werden.²²

Eine eigene Benutzeroberfläche für die Software gibt es nicht. Diese ist seitens der TU Berlin nicht vorgesehen, da es sich um ein rein universitäres Programm handelt, das nicht zum direkten Einsatz in Behörden oder Katastrophenschutzstäben gedacht ist. Bei der Entwicklung der Software wird insbesondere auf wissenschaftlich richtige Ansätze und Rechenergebnisse Wert gelegt.

¹⁹Vgl. eclipse (2010): URL: www.eclipse.org

²⁰Unter Georeferenzierung versteht man das Anpassen der raumbezogenen Daten an ein einheitliches Koordinatensystem, wie z. B. UTM-System (engl. Universal Transverse Mercator).

²¹Vgl. Quantum-GIS (2010): URL: www.qgis.org

²²Vgl. OpenStreetMap (2010): URL: www.openstreetmap.org

Im Bereich der Personenstromanalyse hat die zurzeit existierende und frei verfügbare Version von MATSim eine Schwierigkeit, die beachtet werden muss. Da das Programm auf den Motorindividualverkehr, also Pkw und Lkw Verkehr, ausgelegt ist, werden nicht die komplett verfügbaren Flächen im Straßenraum in die Berechnungen mit einbezogen, sondern nur eine gewisse Anzahl von Fahrspuren. Diese Anzahl der Fahrspuren und deren Ausbau werden aus der frei verfügbaren Online-Karte OpenStreetMap²³ generiert. Die Gehwege werden nicht im Netzwerk dargestellt. Sollen nun Personenströme simuliert werden, so geht dies nur auf den Wegen, die auch für den Motorindividualverkehr vorgesehen sind. Wird eine solche Betrachtung gewünscht, kommt es in jedem Fall zu einer gewissen Rechenungenauigkeit. Für das Simulationsergebnis bedeutet dies allerdings eine konservative Betrachtung, da nicht alle vorhandenen Räume voll ausgeschöpft wurden.

Eine parallele Betrachtung von Pkw bzw. Lkw und Personen ist derzeit nicht möglich. Aus der Sicht des Verfassers ist eine solche Betrachtung von besonderer Bedeutung, denn beide Verkehre existieren immer parallel und nie isoliert. Zudem beeinflussen sie sich gegenseitig: Wenn z. B. eine bestimmte Zahl an Einwohnerinnen und Einwohnern zu Fuß evakuieren, schränkt dies evt. den für die Pkw zur Verfügung stehenden Straßenraum in erheblichem Maße ein und umgekehrt. Es hat erheblichen Einfluss auf die mögliche Evakuierungszeit.



Abbildung 13: Satellitenbild Wilhelmsburger Reichsstraße (google maps)

Wie aus den oben dargestellten Bildern deutlich ersichtlich, wäre eine der Hauptevakuierungsrouten teilweise gar nicht für den parallelen Betrieb von Fußgänger- und Motorindividualverkehr ausgelegt und würde im Evakuie-

²³OpenStreetMap (2010): www.openstreetmap.org

rungsfall eine parallele Nutzung nicht zulassen. Bei der oben abgebildeten Menschenmenge handelt es sich lt. Veranstalterangaben um gerade einmal 2.000 Menschen.²⁴

Außerdem müsste in eine zukunftsfähige Simulationssoftware auch einfließen, wie sich der „normale“ Alltagsverkehr auf die Evakuierungsrouten auswirkt. Wie einer Erhebung der Behörde für Stadtentwicklung zu entnehmen ist, befahren allein bis zu 75.000 Kfz/d die Hauptevakuierungsrouten „Wilhelmsburger Reichsstraße“ B 254. Ungeachtet einer zu ermittelnden Tagesgangkennlinie sind dies durchschnittlich über 52 Kfz/min. Diese Kfz, darunter bis zu 18 % Schwerlastverkehr, schränken ebenfalls massiv den Verkehrsraum ein, wenn sie nicht umgeleitet werden, und zudem würde eine planlose Evakuierung unweigerlich zu Unfällen führen.

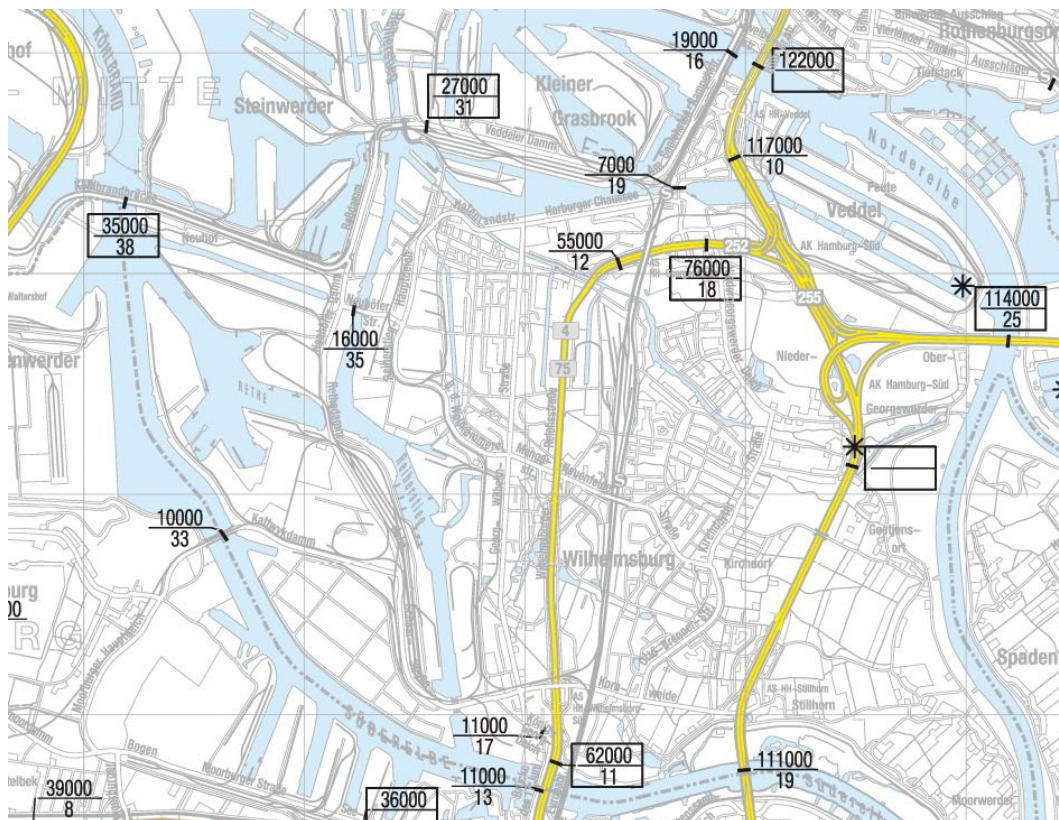


Abbildung 15: Durchschnittliche tägliche Kfz-Verkehrsstärken

Da der Evakuierungssoftware die Bedieneroberfläche fehlt, müssen alle Änderungen wie z. B. Wegbreiten, Sperrungen und Geschwindigkeiten direkt in den einzelnen XML-Dateien vorgenommen werden. Dies erfordert neben Entwicklergeist viel Zeit zum Suchen und Ändern der **richtigen** Stellen. Hierzu ist ein weiteres Open-Source-Software-Tool, Notepad++, erforderlich.²⁵

²⁴Zukunft Elbinsel Wilhelmsburg e. V. (2010): <http://www.insel-im-fluss.de/AbdurchdieMitte/Demo-Okt31/demo-09-10-31.htm>

²⁵Vgl. Notepad++(2010): URL: <http://notepad-plus-plus.org/de/node/56>

Plausibilitätsprüfungen des errechneten Ergebnisses gibt es nicht. Problematisch hieran ist, dass ganz gleich welche Geschwindigkeiten oder Wegbreiten angenommen werden, diese vom Programm verarbeitet werden und falsche Ergebnisse liefern, ohne dass es auffällt. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden die Dateien, welche die Grundlage der Simulation darstellen, nicht manipuliert. Das Ausschalten der nicht benötigten Ausfallstraßen konnte in den OpenStreetMap-Daten realisiert werden.

2.2.3 Technische Voraussetzungen

Die Software MATSim mit ihren gesamten Softwaretools ist bereits auf einem Netbook mit Intel Atom-Prozessor und 1 GB RAM problemlos lauffähig. Bei größeren Szenarien ist ein größerer Arbeitsspeicher hilfreich, damit die Berechnungszeiten nicht zu ausgedehnt werden.

Für die grafische Aufbereitung - insbesondere die Darstellung eines Videos, das die Evakuierung zeigt, - muss häufig auf Desktop-PCs zurück gegriffen werden. Die in den Notebooks und Netbooks verwendeten Grafikkarten werden von der Software vielfach nicht unterstützt. Dies ist im Zuge der weiten Verbreitung mobiler Rechner durchaus hinderlich und sollte seitens der Softwareersteller verbessert werden.

2.3 Eingangsvoraussetzungen für die Evakuierungsberechnung

In diesem Kapitel werden alle Berechnungsparameter beschrieben, wie sie idealtypisch sein sollen - idealtypisch deshalb, da nicht alle der beschriebenen Parameter in der Simulation unterzubringen waren. An den Stellen, an denen es zu Abweichungen kommt, wird dies in jedem Fall explizit erwähnt und die Alternative beschrieben. Die vorliegenden Geoinformationsdaten werden ebenfalls als Parameter für die Evakuierungsberechnung beschrieben.

In den folgenden Kapiteln wird die Evakuierungsberechnung auf zwei Wegen erfolgen: Die Personenströme werden in Textform händisch abgearbeitet und der Motorindividualverkehr mittels Softwareanalyse.

2.3.1 Annahmen für Personen- und Motorindividualverkehr

Wie bereits beschrieben, war für die Berechnung eine 100-prozentige Evakuierung zu Fuß vorgesehen. Nach mehreren Besprechungen mit den Verantwortlichen in der Katastrophenschutzbehörde und einer Inaugenscheinnahme des Ortsteiles musste von dieser Annahme abgewichen werden, da sie unrealistisch ist. Die für die Bevölkerung zu bewältigenden Wege sind in der Regel zu lang, um sie zu Fuß zurückzulegen. Ebenso ist die Bindung an den eigenen Pkw so hoch,

dass es unwahrscheinlich sein wird, dass der Großteil der Bevölkerung diesen zurücklassen würde. Aufgrund der Struktur des Ortsteiles ist die Dichte von zur Verfügung stehenden Pkw (277 Pkw pro 1.000 EW) jedoch deutlich geringer als im hamburgischen Durchschnitt (409 Pkw pro 1.000 EW)²⁶. Daher kann keinesfalls davon ausgegangen werden, dass nahezu alle Einwohner mit eigenen Pkw evakuiert würden. Da das Simulationsprogramm MATSim keine parallele Evakuierung von Personen- und Motorindividualverkehr simulieren kann, werden beide Verkehre unabhängig voneinander betrachtet.

Aufgrund der Uhrzeit des drohenden Deichbruchs sind nahezu alle Bewohnerinnen und Bewohner des Ortsteiles zu Hause, die Schulen und Kindertagesstätten sind bereits geschlossen. Demzufolge wird die Anzahl der zu evakuierenden Personen auf die pro Baublock²⁷ Gemeldeten festgelegt.²⁸

Im Evakuierungsgebiet befinden sich ein Krankenhaus und mehrere Altenpflegeheime, die jedoch über eigene Notfallpläne verfügen. Aus diesem Grund brauchen diese Objekte nicht bei der Analyse berücksichtigt werden.

Im Verhältnis zur Gesamtbevölkerung Hamburgs ist in Wilhelmsburg mit etwa 354 ambulant Pflegebedürftigen zu rechnen. Dabei sind insbesondere die zu erwartenden ca. 35 Pflegebedürftigen in Pflegestufe 3 (schwerst pflegebedürftig) kritisch zu betrachten. Hier greifen Planungen der Hamburger Feuerwehr, die für die Patienten und Angehörigen bzw. ambulanten Pflegedienste Ansprechpartner ist.²⁹

Im Verhältnis zur Gesamtbevölkerung Hamburgs ist in Wilhelmsburg mit etwa 1.800 schwerbehinderten Personen zu rechnen. Hier sind von besonderem Belang durchschnittlich ca. 6 Menschen mit Querschnittlähmung, ca. 125 sehbehinderte Menschen sowie eine nicht genau zu beziffernde Zahl gehbehinderter Menschen. Sofern der Betreuungsbedarf dieser Menschen nicht abgedeckt ist, wird

²⁶Vgl. Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2010): Statistisches Jahrbuch 2009/2010

²⁷Baublücke sind für die Stadt Hamburg festgelegte Bauabschnitte. Definitionsgemäß ist ein Baublock die kleinste Einheit, die auf öffentlichen Straßen einmal umlaufen werden kann. Sollte der Baublock z. B. an ein Gewässer grenzen, so zählt das Gewässer zu den öffentlichen Straßen.

²⁸Das Statistische Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein hat für diese Arbeit aktuelle Daten zur Verfügung gestellt. Hier sind die gemeldeten Personen pro Baublock ersichtlich.

²⁹Vgl. Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2010): Statistisches Jahrbuch 2009/2010, S. 61

ebenfalls ein entsprechender Auftrag an die Hamburger Feuerwehr in der Regel in Form eines Notrufes ergehen.³⁰

Die in den Punkten vorher genannten Personenkreise mit besonderem Betreuungsbedarf werden bei der normalen Evakuierungsberechnung nicht gesondert heraus gerechnet, ebenso wenig evt. Urlauber und Auspendler.

Es wird angenommen, dass 100 % der Bevölkerung dem Aufruf zur Evakuierung nachkommen. Diese Annahme erfolgt wohl wissend, dass eine unbekannte Anzahl Personen in den oberen Geschossen verbleiben würde. Allerdings sind Schadensszenarien denkbar, in denen die Gesamtbevölkerung tatsächlich die Elbinsel verlassen müsste.

Zusätzliche Parameter für den Motorindividualverkehr:

Die Verteilung der Personen innerhalb des Ortsteiles bezieht sich auf die in den Baublöcken gemeldeten Personen. Hieraus definiert sich die Dichte der zu Evakuierenden bzw. die Dichte der privateigenen Pkw.

Bezogen auf die Baublöcke werden die Personen bzw. privateigenen Pkw gleichmäßig auf die an den Baublock angrenzenden Straßen verteilt.

Bei den zur Verfügung stehenden privateigenen Pkw wird eine Dichte von 277 Pkw pro 1.000 EW angenommen³¹.

Die Verteilung der privat-eigenen Pkw erfolgt gleichmäßig auf die in den Baublöcken gemeldeten Personen.

Zusätzlich wird nach Rücksprache mit der hamburgischen Katastrophenschutzbehörde von insgesamt 3.000 Einpendler ausgegangen, die noch an ihren Arbeitsplätzen sind. Als Startpunkte werden angenommen: Reiherstieg, Schmidts Breite, Rubbertstraße, Pollhornbogen und der südliche Teil der Georg-Wilhelm-Straße. An jedem dieser Punkte starten 600 Pkw.

Die Innenbehörde der Freien und Hansestadt Hamburg geht in ihrer Evakuierungsrichtlinie von mindestens 50 % der Bevölkerung aus, die sich selbst mit pri-

³⁰Vgl. Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2010): Statistisches Jahrbuch 2009/2010, S. 59

³¹Vgl. ders., S. 144

vateigenem Pkw oder dem regulär verkehrenden ÖPNV evakuieren.³² Allerdings ist anzumerken, dass die Richtlinie bereits 1987 einen deutlich höheren Bestand an privat-eigenen Pkw vermerkte, als dies aktuell in Wilhelmsburg der Fall ist. In der Praxis hat sich allerdings gezeigt, dass gerade in Ortsteilen mit einem hohen Ausländeranteil, wie dies in Wilhelmsburg der Fall ist, die Hilfe untereinander sehr ausgeprägt ist.³³ Wilhelmsburg liegt mit einem Ausländeranteil von 33,7 % mehr als doppelt so hoch, wie der Hamburger Durchschnitt.³⁴ Im Rahmen der Diplomarbeit wird angenommen, dass diese Erkenntnis den geringeren Bestand an privateigenen Pkw überkompensiert und sich 2,5 Personen pro Pkw selbst evakuieren bzw. mit dem ÖPNV in Sicherheit bringen. Bezogen auf die Gesamtzahl von 50.601 gemeldeten Personen und die o. a. Dichte der privateigenen Pkw heißt dies, dass 35.041 Personen, etwa 70 %, mit einer Evakuierungsmöglichkeit versorgt sind. Bei der Evakuierungsanalyse wird davon ausgegangen, dass dieser Personenkreis analog der üblichen Bevölkerungsstruktur des Ortsteiles zusammengesetzt ist.

Für die Evakuierung stehen lediglich vier Ausfallstraßen zur Verfügung, die in höher gelegene Bereiche führen. Diese sind in der Anlage I dargestellt.

Das Straßennetz wird aus der OpenSource-Anwendung OpenStreetMap generiert. Das generierte Netz kann unmittelbar in MATSim verwendet werden. Die zur Verfügung stehenden Straßenkategorien, Anzahl der Fahrspuren und Fahrtrichtungen und somit auch der vorhandenen Kapazitäten können ebenfalls aus OpenStreetMap übernommen werden.

Grundsätzlich werden nur die zur Verfügung stehenden Fahrtrichtungen und die Anzahl der Fahrspuren genutzt. Es wird nicht angenommen, dass alle Fahrspuren unabhängig der Fahrtrichtung in Evakuierungsrichtung genutzt werden. Dies ist insbesondere darum wichtig, weil für Busverkehre, Hilfsorganisationen, Feuerwehr, Polizei usw. sonst die unbedingt notwendige Zufahrt unmöglich würde.

Bei der Evakuierungssimulation wird von einem 100 %igen gleichzeitigen Start aller Pkw ausgegangen. Dies bringt im Rechenergebnis ein Minimum, das sagt:

³²Vgl. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Inneres und Sport (1987): Evakuierungsrichtlinie, S. 11

³³Vgl. Schmidt, J.: Vortrag anlässlich des Workshops „Katastrophenmanagement in urbanen Regionen“, 27.09.2010, Universität Duisburg

³⁴Vgl. Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2010): Statistisches Jahrbuch 2009/2010, S. 18

„Schneller geht es aller Voraussicht nach nicht!“ In der Praxis wäre es möglich und denkbar eine Startverzögerung zu planen und über eine sogenannte „Erlang-Verteilung“ in die Simulation einfließen zu lassen. Dies wurde bereits von Forschern der Universität Duisburg praktiziert. Ob dies im Ergebnis sinnvoll ist, muss noch in Fachkreisen diskutiert werden.³⁵

Bei allen Ein- und Ausfallstraßen des Ortsteiles Wilhelmsburg handelt es sich um stark frequentierte Verkehrsverbindungen, wie am Beispiel der Wilhelmsburger Reichsstraße mit täglich bis zu 75.000 Pkw zu sehen ist. In der Simulation wird davon ausgegangen, dass alle Zufahrten in den Ortsteil großräumig abgesperrt werden und die Verkehre entsprechend umgeleitet werden. Dies ist bereits Bestandteil der bestehenden Evakuierungsplanungen seitens der Hamburger Katastrophenschutzbehörde. Die Simulation startet somit auf unbelasteten Straßen.

2.3.2 Beschreibung der vorhandenen Geoinformationsdaten

Die von der Statistik Nord für die Diplomarbeit zur Verfügung gestellten Daten sind sehr gut zu gebrauchen. Sie umfassen eine baublockgenaue Verteilung der Bevölkerung, eine georeferenzierte Darstellung der Baublöcke und der statistischen Gebiete. In einem ersten Versuch konnten die Daten, mit minimalen Abänderungen der Syntax, in einem geführten Tutorial an der TU Berlin eingelesen werden. Mit dieser sehr genauen Verteilung der Bevölkerung wurde eine Simulation der Fußgängerströme durchgeführt. Diese wurde wie eingangs beschrieben, zugunsten einer Simulation des Motorindividualverkehrs nicht weiterverfolgt und verworfen.

Eine Anpassung der Daten auf den Motorindividualverkehr, also eine „pro Kopf“-Verteilung der in Wilhelmsburg angemeldeten Kfz. wäre durchführbar.

Hierauf musste zugunsten einer gleichmäßigen Verteilung verzichtet werden, da ein neues Release diese für die Diplomarbeit gefundene Individuallösung zum jetzigen Zeitpunkt ausschließt.

2.4 Evakuierung der Fußgänger

Abzüglich der in den privateigenen Pkw Evakuierten verbleiben insgesamt 15.560 Personen, die anderweitig evakuiert bzw. in Sicherheit gebracht werden müssen.

Die Planung hierzu sieht wie folgt aus:

Die seitens der Hamburger Katastrophenschutzbehörde geplanten Fluchtburgen und Bushaltestellen sind so gelegen, dass sie unter *normalen* Bedingungen aus

³⁵Kimms, A., Maassen, K.-C. (2009): Optimisation and Simulation of Traffic Flows in Case of Evacuating Urban Areas

den Wohngebieten in 15 Minuten erreichbar sind. Es sind Strecken von maximal 1 km zu überwinden.³⁶ Dies kann im Einzelfall natürlich eine Herausforderung für ältere oder gehbehinderte Menschen sein. Auch das Notgepäck wird eine zusätzliche Belastung für alle Fußgänger darstellen. Allerdings ist es auch unproblematisch, wenn im Einzelfall z. B. eine Stunde benötigt wird, sofern der Weg zur Haltestelle oder Fluchtburg nicht erst drei Stunden nach der Alarmierung angetreten wird.

In den vorhandenen acht Fluchtburgen bestehen Kapazitäten von insgesamt mindestens 4.250 Personen. Die Fluchtburgen werden als Anlaufstellen geplant und zu 100 % ausgelastet.

11.310 Personen müssen somit in einem zusätzlichen Evakuierungsverkehr transportiert werden. Hierzu hat die Hamburger Katastrophenschutzbehörde in ihrem Evakuierungsplan vier Buslinien und die Anpassung von Taktzeiten im S-Bahn-Verkehr vorgesehen.³⁷ Allerdings basieren diese Planungen auf einer deutlich geringeren Anzahl an zu evakuierenden Personen. Da die Planungen in der Bevölkerung bekannt sind, wird in dieser Arbeit darauf aufgebaut und ausschließlich der unter den vorgenannten Bedingungen zu erwartende Bedarf ermittelt. Besonderes Augenmerk kommt der Abschätzung der benötigten Transportkapazitäten zu.

Alle verbleibenden 11.310 Personen müssen mit der S-Bahn transportiert werden, da sie anderweitig nicht in einen sicheren Bereich gelangen können. Alle Not-Buslinien fahren nur zu den S-Bahnhöfen. Von hier aus müssen alle Personen mit der S-Bahn weiter transportiert werden. Einzig die Linie 3 fährt den S-Bahnhof Harburg an, der bereits im sicheren Bereich liegt. Aber auch hier müssen die Personen weiter transportiert werden und es stehen im Bereich der S-Bahn nur die Linien S3 und S31 zur Verfügung, welche auch die S-Bahnhöfe Wilhelmsburg und Veddel versorgen.

Wenn wir davon ausgehen, dass ca. 20 % der Personen direkt zum S-Bahnhof gehen, müssen ca. 80 %, also 9.048 Personen die S-Bahn-Stationen mit den vier eingerichteten Buslinien erreichen.

³⁶Vgl. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Inneres und Sport (2008): Sturmflutmerkblatt für Wilhelmsburg

³⁷Vgl. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Inneres und Sport (2009): Evakuierung der Bevölkerung in Wilhelmsburg, S. 6

Unter den gegebenen Voraussetzungen wird im Folgenden die Abschätzung der benötigten Transportkapazität vorgenommen. Diese erfolgt differenziert nach Transportmitteln:

Gelenkbusse

Ein wesentliches Ergebnis einer von der Feuerwehr Köln durchgeführten realitätsnahen Evakuierungsübung besagt, dass sich die Kapazitäten der eingesetzten Verkehrsmittel drastisch reduzieren. Bezogen auf das Übungsergebnis bedeutet dies, dass ein üblicherweise mit bis zu 160 Personen zu besetzender Gelenkbus nur durchschnittlich 31 Personen transportieren konnte. Das lag vorwiegend daran, dass alle zu evakuierenden Personen die nötigsten Dinge mitbringen, inklusive Haustieren.³⁸ Bei der Abschätzung im Rahmen dieser Arbeit wird das Übungsergebnis zugrunde gelegt. Dies scheint auch plausibel zu sein, denn der Bevölkerung wird speziell in Hamburg in den Sturmflutmerkblättern nahegelegt, sich mit dem Nötigsten im Handgepäck zu versorgen. Insbesondere warme Kleidung, Schlafsack, Decke, Lebensmittel und Trinkwasser für 1-2 Tage müssen transportiert werden.³⁹ Günstigstenfalls bedeutet dies für jeden Erwachsenen einen Trekkingrucksack voll Notgepäck mit einem Gewicht bis zu 12 kg. Nicht berücksichtigt sind Kinderwagen, Gehhilfen, Haustiere und alles was man sonst noch braucht. Außerdem werden die wenigsten einen Trekkingrucksack haben, sondern Koffer und Taschen mitbringen.

Solobusse

Die maximale Kapazität eines solchen Fahrzeugs liegt bei rd. 110 Personen. Bei Zugrundelegung der Kölner Übungsergebnisse heißt dies, dass eine Kapazität von durchschnittlich 21 Personen zu erwarten ist.

S-Bahnen

Auf den Strecken S3 und S31 werden die unten dargestellten Züge als Vollzüge (Doppelzüge) eingesetzt. Sie haben pro Kurzzug (einfacher Zug) eine Maximalkapazität von 514 Personen⁴⁰. Daraus ergeben sich die Maximalkapazität eines Doppelzuges von 1028 Personen und eine unter den gegebenen Umständen zu erwartende Kapazität von durchschnittlich nur noch rd. 200 Personen. Ein Einsatz als Langzug (Dreifachzug) ist möglich. Diese Zugvariante ist zwischen dem

³⁸Vgl Schmidt, J.: Vortrag anlässlich des Workshops „Katastrophenmanagement in urbanen Regionen“, 27.09.2010, Universität Duisburg

³⁹Vgl. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Inneres und Sport (2008): Sturmflutmerkblatt für Wilhelmsburg

⁴⁰Vgl. Wikipedia (2020): S-Bahnzüge, Typ: DBAG BR 474

.....

HVV und der Katastrophenschutzbehörde im Falle einer Evakuierung vereinbart. Es wird aber an dieser Stelle mit der konservativeren Variante Vollzug gerechnet.



Abbildung 16: Fahrzeug Linie S31 Typ: DBAG BR 474 (Foto: Metro Centric)

Es ergibt sich die unten stehende Kapazitätsberechnung für die einzelnen Linien:

Evakuierungsverkehr Buslinien	Linie 1	Linie 2	Linie 3	Linie 4	Summe
Fahrzeit in Minuten ohne Fahrgastwechselzeit	15	15	46	4	
Zeit in Minuten / Durchlauf zum nächsten S-Bahnhof	7,5	15	46	8	
Anzahl Busse Phase 1 (1. Stunde)	3	2	5	3	13
Anzahl Busse Phase 2 (2.-3. Stunde)	3	4	10	6	23
Kapazität Personen / Gelenkbus	31	31	31	31	
Kapazität Personen / Stunde Phase 1	744	248	202	698	1892
Kapazität Personen / Stunde Phase 2	744	496	404	1395	3039
Evakuierungsverkehr S-Bahn	S3	S31	Summe		
Kapazität Personen / Vollzug	200	200			
Züge / Stunde und Fahrtrichtung bei Takt- halbierung ⁴¹	6	6			
Fahrtrichtungen Anzahl	2	2			
Kapazität Personen pro Stunde	2400	2400	4800		

Tabelle 1: Berechnung Transportkapazitäten S-Bahn / Bus

Legt man die ermittelten Transportkapazitäten zugrunde und nimmt eine sofortige Takthalbierung im S-Bahnverkehr als gegeben an, so können innerhalb der

⁴¹ Vgl. Hamburger Verkehrsverbund GmbH (HVV) (2010): Fahrplanaushänge S-Bahn-Station Wilhelmsburg

.....

ersten vier Stunden alle Personen transportiert werden. Bei den Buslinien müssen grundsätzlich alle eingesetzten Busse Gelenkbusse sein, um die Kapazitäten erbringen zu können. Unter den gegebenen Voraussetzungen ist es möglich, innerhalb von vier Stunden rd. 11.000 Personen mit den Bussen und rd. 19.200 Personen mit der S-Bahn zu transportieren.

2.5 Evakuierung des Motorindividualverkehrs mit der Software MATSim

Der Kern dieser Arbeit ist die Evakuierungsberechnung, die in diesem Kapitel beschrieben und durch eine einfache Plausibilitätsprüfung abgerundet wird.

Der gesamte Ablauf der Evakuierungssimulation ist ein nachvollziehbares Tutorial, welches auf der Homepage der MATSim-Programmierer zur Verfügung steht.⁴² Für die Software wurde im Laufe der Bearbeitung der Diplomarbeit ein neues Release veröffentlicht, das wesentliche Schritte vereinfacht.

Die gesamte Simulation wurde von dem Verfasser der Arbeit eigenhändig und ohne Hilfe der Programmierer durchgeführt. Die nachfolgenden Abschnitte stehen für je einen Arbeitsschritt von der Netzwerkerzeugung bis zur Visualisierung.

2.5.1 Erzeugung des Netzwerkes aus OpenStreetMap

In der Simulationssoftware MATSim steht standardmäßig der Import aus der freien Kartensoftware OpenStreetMap zur Verfügung.⁴³ Es muss eine Exportdatei in OpenStreetMap generiert werden, die das Zielgebiet beinhaltet.

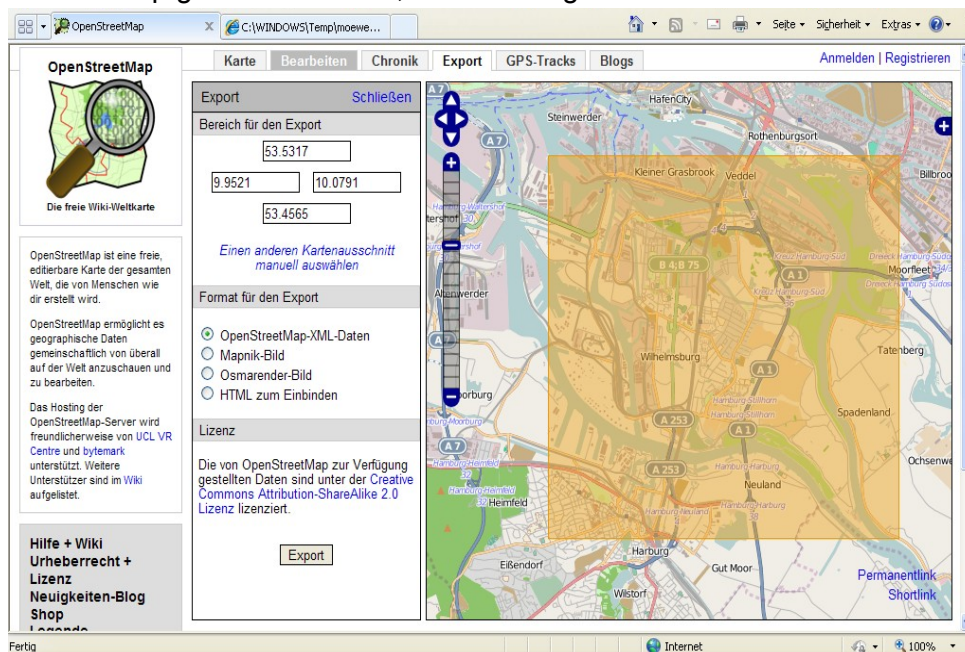


Abbildung 17: Screenshot - Datenexport aus OpenStreetMap

⁴²Vgl. MATSim (2010): GIS based evacuation simulation Tutorial, URL: <http://www.mat-sim.org/node/526>

⁴³Vgl. OpenStreetMap (2010): www.openstreetmap.org/export

Hierzu wurde im Reiter Export ein Kartenausschnitt ausgewählt, der den Ortsteil Wilhelmsburg satt umschließt. Der Export erfolgt in eine XML-Datei mit dem Namen map.osm. Diese exportierten Daten beinhalten üblicherweise alle zur Erzeugung eines Netzwerkes notwendigen Informationen. Da es sich aber um eine „Community“ handelt, die die Daten einpflegt und überwacht, ist nicht absolut sicher, dass alle notwendigen Daten vorhanden sind. Eventuell ist zukünftig zusätzlich ein Import aus kostenpflichtigen Kartenprogrammen wie NAVTEQ, TeleAtlas (TomTom), o. Ä. denkbar.

2.5.2 Erzeugen der Evakuierungs-Netzwerk-Datei

In MATSim steht ein Netzwerk-Generator zur Verfügung, der aus den OpenStreetMap-Daten ein Evakuierungs-Netzwerk erzeugt, das im weiteren Verlauf von anderen Programmen benötigt wird. Bei diesem Unterpunkt ist es im Rahmen des zweiten Arbeitsaufenthalts an der TU Berlin zu einem Fehler gekommen, der zunächst den Anschein erweckte, dass die Daten aus OpenStreetMap nicht einwandfrei sind. Das durch das im Tutorial angegebene Tool, Netzwerk aus OSM, erzeugte Netzwerk, war unvollständig und in der vorliegenden Form nicht brauchbar. Abhilfe konnte geschaffen werden durch ein gleichwertiges Tool, den NetworkEvacuationGenerator, aus einem anderen Tutorial.

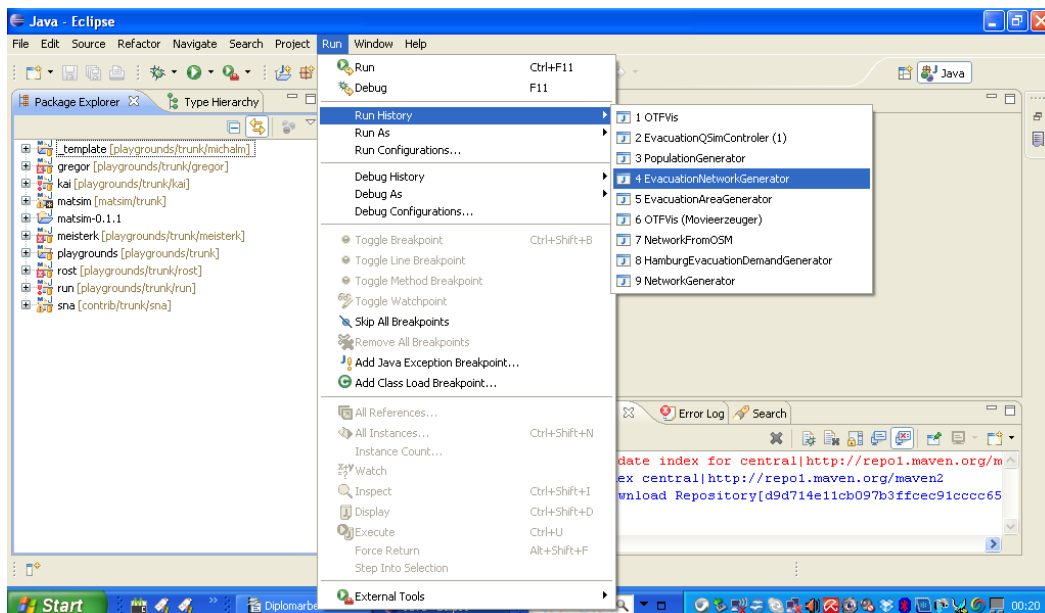


Abbildung 18: Screenshot - Ausführen EvacuationNetworkGenerator

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft das generierte Netzwerk, allerdings schon in der erst im nächsten Kapitel genau angepassten Form, mit den vier links (Kanten), die zur sink (Senke) gehen. Die Senke ist der Zielpunkt, in dem sich alle Ausgänge aus dem Evakuierungsnetzwerk sammeln. Angezeigt werden kann das Netzwerk mit dem Tool OTFVis.



Abbildung 19: Screenshot - Darstellung Evakuierungsnetzwerk

2.5.3 Erzeugen des Evakuierungsgebietes

Die von OpenStreetMap heruntergeladenen Daten bilden immer einen rechteckigen Kartenausschnitt ab, sodass der Bereich der Evakuierung genauer definiert werden muss. Hierzu wird das OpenSource-Programm Q-GIS verwendet. Auch dieses Programm verfügt über eine Schnittstelle, die OpenStreetMap-Daten einlesen kann. Zunächst werden die Daten über diese Schnittstelle importiert.

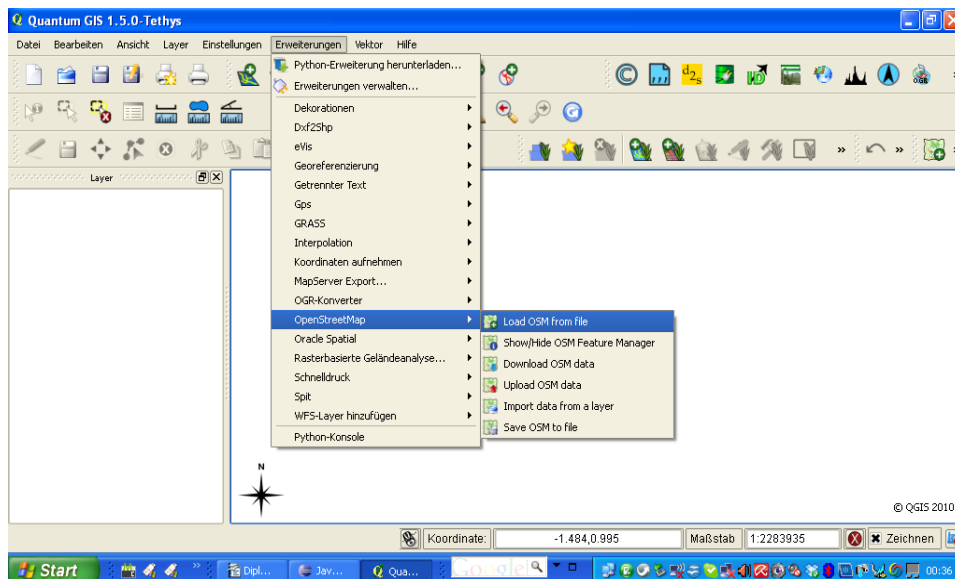


Abbildung 20: Screenshot - OSM Datenimport bei Q-GIS

In der Darstellung der importierten Karte ist unmittelbar eine Verzerrung zu erkennen, die auf den notwendigen Abgleich mit dem gültigen Koordinatenbezugs-system (KBS) hinweist. Wird dieser Abgleich in den Projekteinstellungen auf

WGS 84 / UTM 33N durchgeführt und ein Häkchen bei „On-The-Fly“-KBS-Transformation gesetzt, so kann auf den Layer gezoomt werden und die dargestellte Karte sieht regelgerecht aus.

Es wird nun ein Shape-File-Layer erzeugt, der ein Polygon beinhalten soll. Dieses Polygon wird mit dem Programm erstellt und umschließt genau die Bereiche, die zum Evakuierungsgebiet gehören.

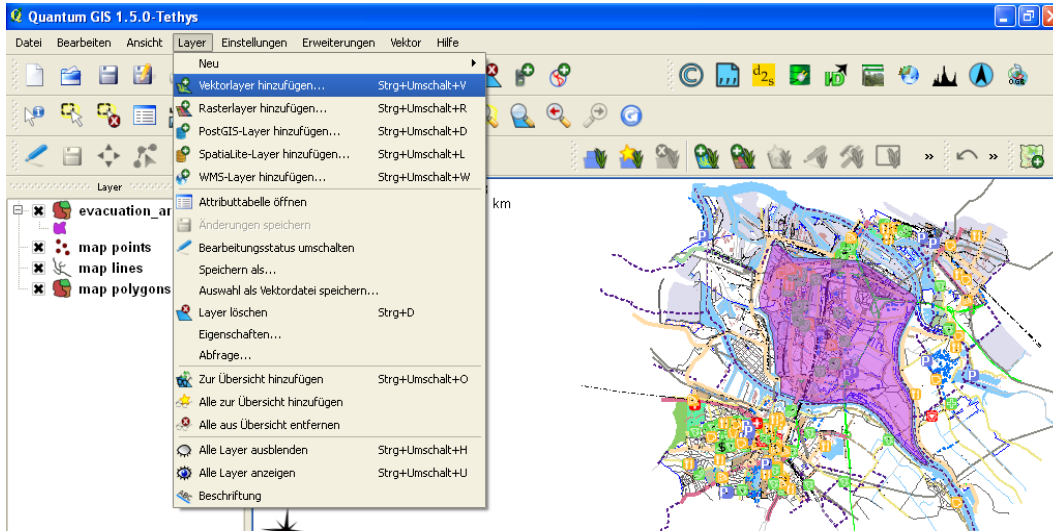


Abbildung 21: Screenshot - Erstellen eines Vectorlayers in Q-GIS

Damit MATSim aus diesem Shape-File die richtigen Informationen entnehmen kann, müssen alle Straßen, über die evakuiert werden soll, vom Polygon geschnitten sein. Diese „offenen Kanten“ sind die Evakuierungsrouten. Alle Straßen, die komplett innerhalb des Polygons liegen, werden über die „offenen Kanten“ evakuiert. Alle Straßen außerhalb des Polygons liegen im sicheren Bereich und werden nicht weiter betrachtet.

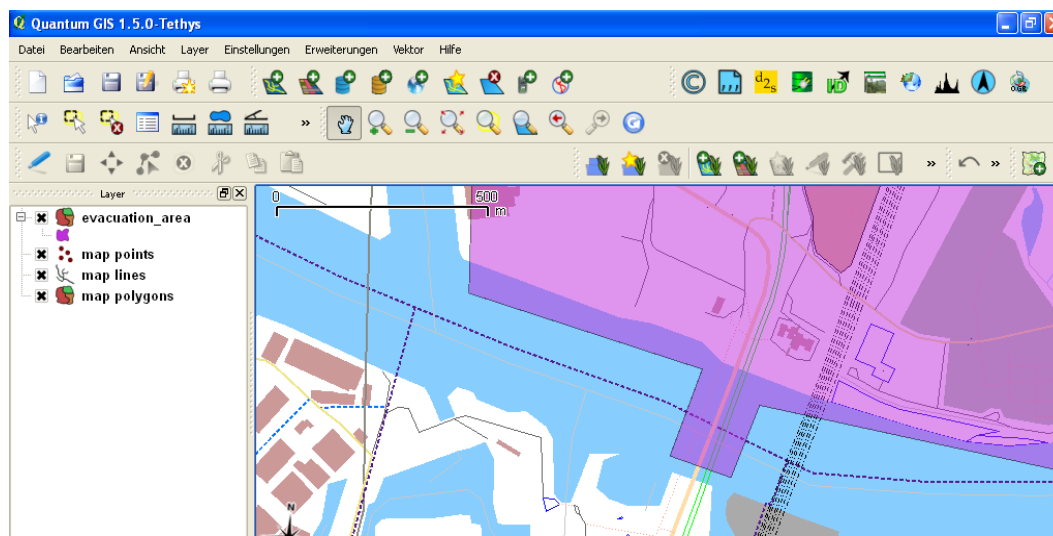


Abbildung 22: Screenshot - Detailansicht des Polygon in Q-GIS

Bei dieser Arbeit ist mit äußerster Sorgfalt vorzugehen, da Fehler unmittelbare Auswirkungen auf das Ergebnis haben. Schneidet man trotz größter Vorsicht zu weit innen oder außen, stehen Evakuierungswege plötzlich nicht mehr zur Verfügung.

Die besondere Schwierigkeit besteht darin, dass dieser Fehler frühestens bei der Visualisierung auffällt. Visualisiert man das Ergebnis nicht, so ist der Fehler nicht feststellbar.

Alle offenen Kanten, also Evakuierungswege, haben einen abschließenden Link zu der sogenannten Senke, in der alle Agents, in unserem Fall Pkw ihr Ziel erreicht haben.

Im vorliegenden Beispiel gibt es eine weitere Besonderheit, die mit dem Standard-Tutorial nicht unmittelbar abgebildet werden kann. Die Elbinsel Wilhelmsburg verfügt über acht Brücken, die mit Pkw befahren werden könnten. Allerdings können aufgrund der Hochwassersituation nur vier Brücken in sichere Bereiche genutzt werden. Die übrigen vier Brücken können nicht standardmäßig als Evakuierungswege ausgeschaltet werden.

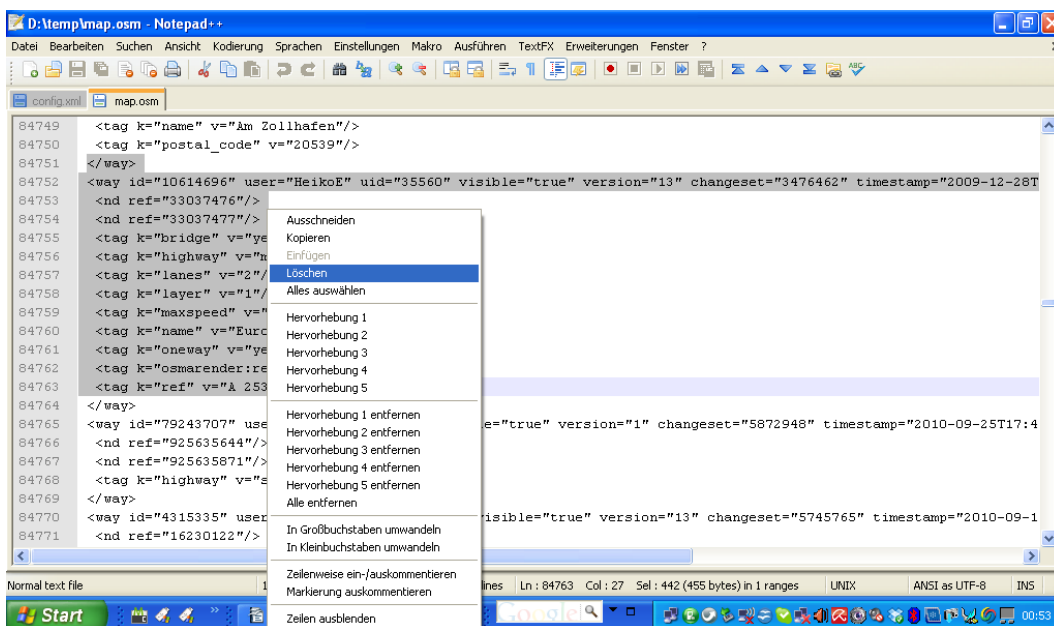


Abbildung 23: Screenshot - gezieltes Löschen von OSM-Daten

Hierzu muss über Umwege der exakte Link aus der Netzwerkdatei oder die im QGIS-Programm angezeigten, zur Brücke gehörenden Daten aus der Attributtabelle gelöscht werden.

Im vorliegenden Beispiel ist dies mit dem Löschen der zu den Brücken gehörenden Daten aus der OpenStreetMap-Exportdatei gelungen.

Zusätzlich wurden Simulationen mit allen zur Verfügung stehenden Brücken und mit nur drei verfügbaren Brücken durchgeführt, um Vergleiche anstellen zu können, Schlüsse für den Katastrophenschutz zu ziehen und evt. Fehler besser er-

kennen zu können. Bei nur drei Brücken wurde von einer Unbefahrbarkeit der parallel verlaufenden Brücken „Brücke des 17. Juni“ und „Europabrücke“ ausgegangen. Diese beiden Brücken werden in der Analyse als ein Ausgang gewertet, da sie den gleichen Anfangs- und Endpunkt haben. In der Simulation ist jede Brücke mit jeder Fahrspur eine Kante zur Senke und es addieren sich die Kapazitäten.

2.5.4 Generieren der Population

In der vorliegenden Version verfügt das Evakuierungsprogramm MATSim über ein Tool, das alle zu Evakuierenden gleichmäßig auf die innerhalb der Evakuierungsgebietes zur Verfügung stehenden „Kanten“ verteilt. Unter „Kanten“ sind in diesem Fall die Straßen zu verstehen, die evakuiert werden sollen.

Die deutlich präzisere Betrachtung bezogen auf die baublockgenaue Verteilung der zu Evakuierenden ist zum jetzigen Zeitpunkt standardmäßig nicht möglich. In einer ersten Berechnung mit Fußgängern wurde seitens der TU Berlin die Software speziell angepasst, dies war zum Zeitpunkt der zweiten Simulation wegen des sehr großen Aufwandes nicht mehr möglich. Also erfolgt die weitere Betrachtung unter einer Gleichverteilung von insgesamt 17.000 Fahrzeugen, die sich aus den Fahrzeugen der in Wilhelmsburg Gemeldeten sowie den Pendler-Fahrzeugen zusammensetzen.

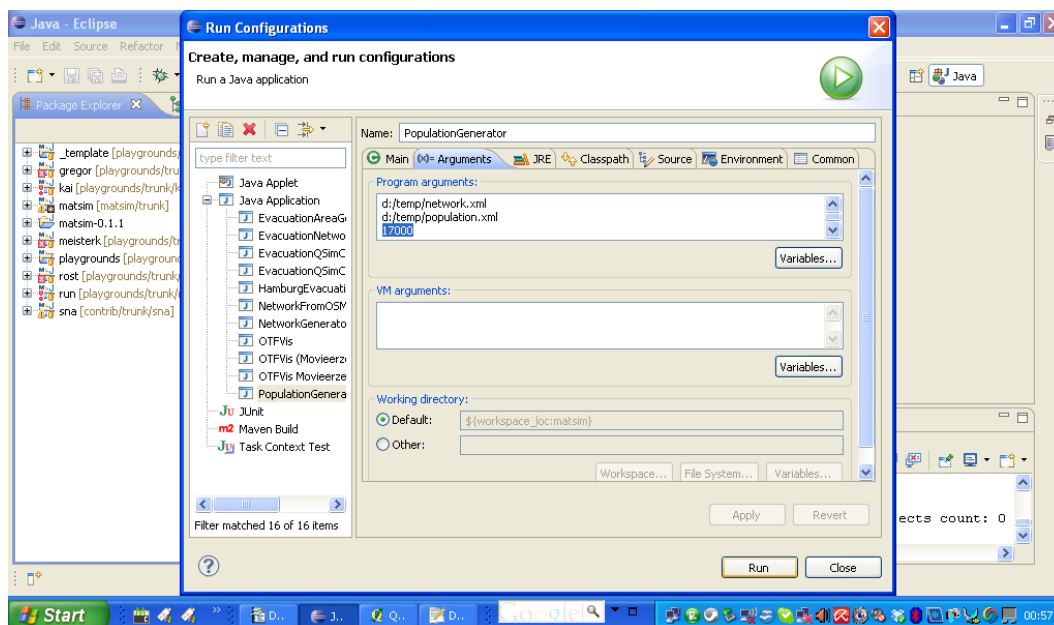


Abbildung 24: Screenshot - Erstellen der Population von 17000 agents

Welchen Einfluss diese Gleichverteilung im Gegensatz zur exakten, baublockgenauen Verteilung hat, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden. Es gibt keine Vergleichsmöglichkeit.

Das Tool wurde mit den notwendigen Parametern versorgt und ausgeführt.

Zusätzlich wurden Simulationen mit 13.000 und 25.000 Fahrzeugen durchgeführt, um anhand von Vergleichen, Schlüsse für den Katastrophenschutz zu ziehen und evt. Fehler besser erkennen zu können.

2.5.5 Simulation der Evakuierung

Nachdem alle Schritte bis zur Simulation durchlaufen sind, weist das Tutorial darauf hin, dass eine Konfigurationsdatei config.xml zu erstellen und anzupassen ist. In dieser Datei wird neben verschiedenen Pfaden die Anzahl der durchzuführen-

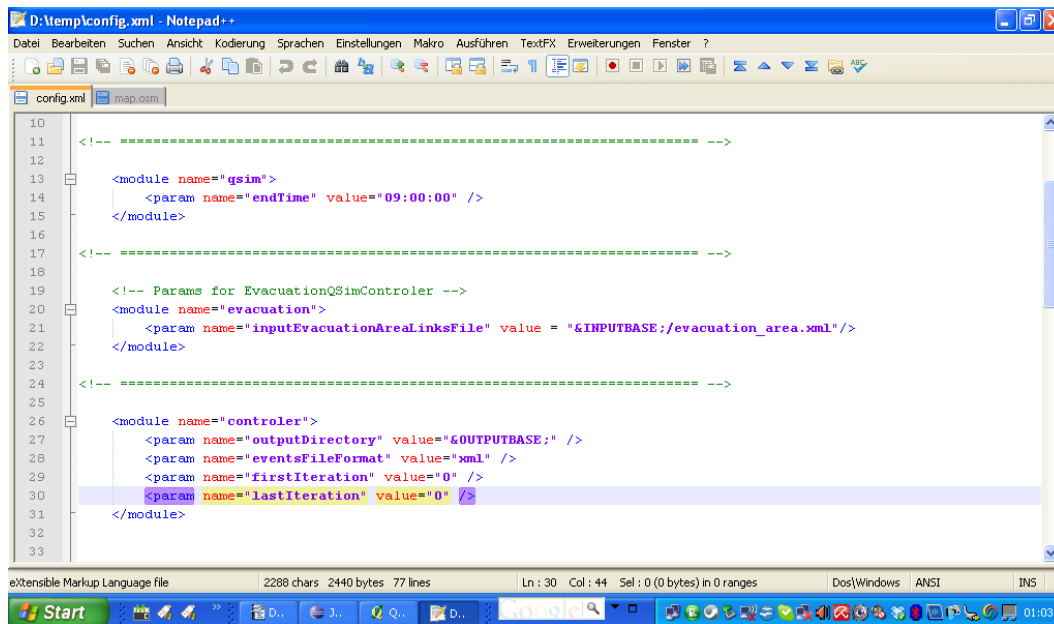


Abbildung 25: Screenshot - config.xml Einstellung der Iterationen den Iterationen eingestellt, ein Thema, das in einem eigenen Abschnitt behandelt wird. Nach erfolgreichem Abschluss der Vorbereitung wird die eigentliche Simulation mit dem Tool EvacuationQSimController durchgeführt.

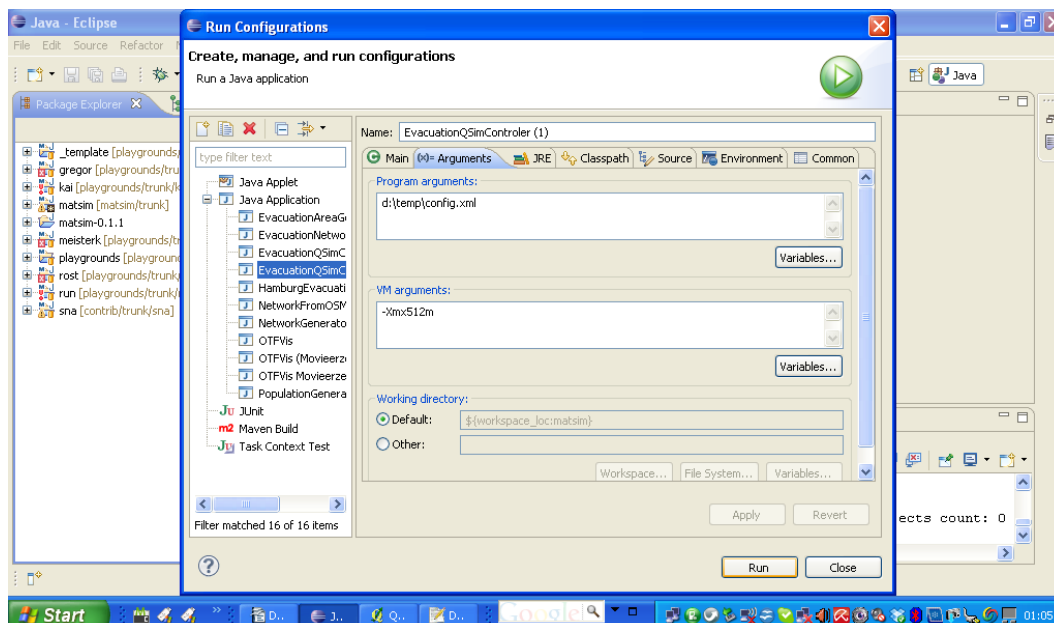


Abbildung 26: Screenshot - Ausführen des EvacuationQSimControllers

Dieser erstellt in einem vorher festgelegten Output-Verzeichnis die Ergebnis-Dateien. Um kontrollieren zu können, ob verwertbare Ergebnisse vorliegen, liegt für jede Iteration ein Histogramm im Output-Verzeichnis. Aus diesem Histogramm sind die Abfahrtsverteilung, die Ankunftsverteilung sowie die auf dem Weg befindlichen Fahrzeuge ersichtlich. Es ist die Anzahl der Fahrzeuge auf der y-Achse und die Zeit in Stunden auf der x-Achse aufgetragen.

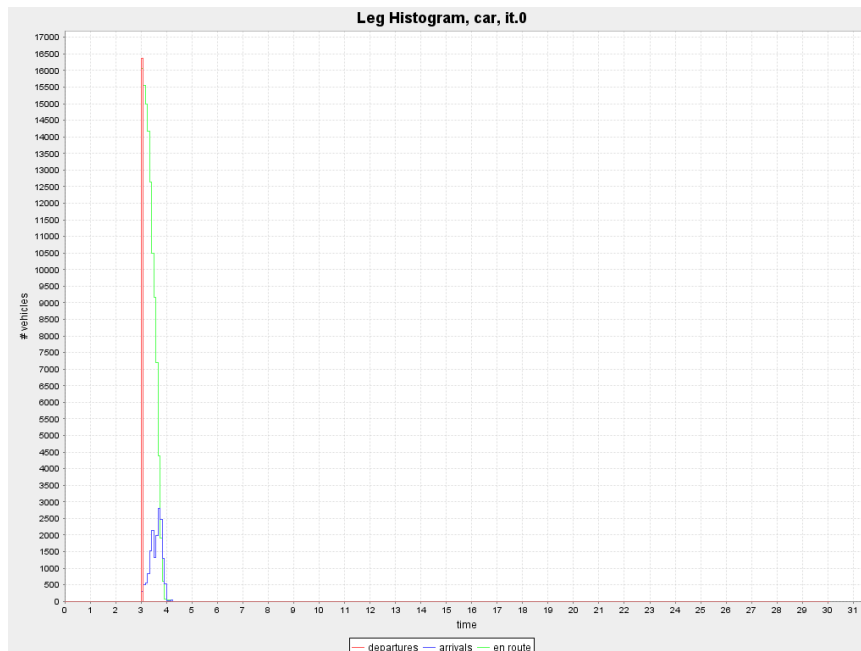


Abbildung 27: LEG-Histogramm 17000 agents 4 exits 1 iteration

Die Darstellung im Histogramm reicht allerdings nicht aus um alle Schlüsse ziehen zu können. Alle Ergebnisse liegen in einer Textdatei vor, die in ein Tabellenkalkulationsprogramm importiert und ausgewertet werden können.

Lfd. Nr.	Iterationen	Exits/Anzahl der Ausfahrten	Agents/Anzahl der Pkw
1	1	4	17000
2	1	Alle	17000
3	1	3	17000
4	10	4	17000
5	10	Alle	17000
6	1	4	25000
7	1	Alle	25000
8	1	4	13000
9	1	Alle	13000
10	10	4	13000
11	10	Alle	13000

Tabelle 2: Durchgeführte Simulationsvarianten

Alle ausführlichen Ergebnisdateien liegen dieser Arbeit auf einer CD-ROM bei.

2.5.6 Anzahl der Iterationen

In der Simulation lässt sich die Anzahl der Iterationen einstellen. Eine Iteration ist ein Simulationsdurchlauf. In der ersten Iteration versuchen die zu Evakuierenden den kürzesten Weg zu nehmen. Dies führt in der Regel zu einer Ungleichverteilung auf die zur Verfügung stehenden Ausgänge und hat in der Regel zur Folge, dass die Evakuierungszeiten länger sind. Mit jeder weiteren Iteration wählen die zu Evakuierenden nicht mehr den kürzesten Weg, sondern den schnellsten. Üblicherweise werden mit MATSim 10 Iterationen berechnet um die bestmögliche Verteilung auf die zur Verfügung stehenden Ausgänge und damit ein Zeitminimum zu erreichen. Aus diesem Vorgehen stellt sich automatisch die praktische Frage: Welches ist die realistischere Zeit?

Wenn wir morgens den Weg zur Arbeit einschlagen, tun wir genau das, was die Simulation tut. Am ersten Arbeitstag haben wir die Karte bemüht und stehen auf dem kürzesten Weg im Stau. An den Folgetagen probieren wir andere Wege, bis wir aus unserer Sicht das Optimum erreicht haben.

Im Falle einer Evakuierung liegt die Wahrheit sicherlich dazwischen, denn üben kann man eine solche Situation nicht. Also wird ein Teil den kürzesten Weg und ein Teil, evt. aufgrund von Erfahrungen im Berufsverkehr, den schnellsten Weg wählen. Es liegt beim Planer, die errechneten Zahlen zu vergleichen. Sollten die Abweichungen zwischen den beiden Möglichkeiten extrem hoch sein, so ist zu erwarten, dass eine gezielte Verkehrslenkung Vorteile bringen würde. Im vorliegenden Beispiel sind die errechneten Zahlen nahezu gleich. Das ist an den deckungsgleichen Linien in der u. a. Abbildung zu erkennen.

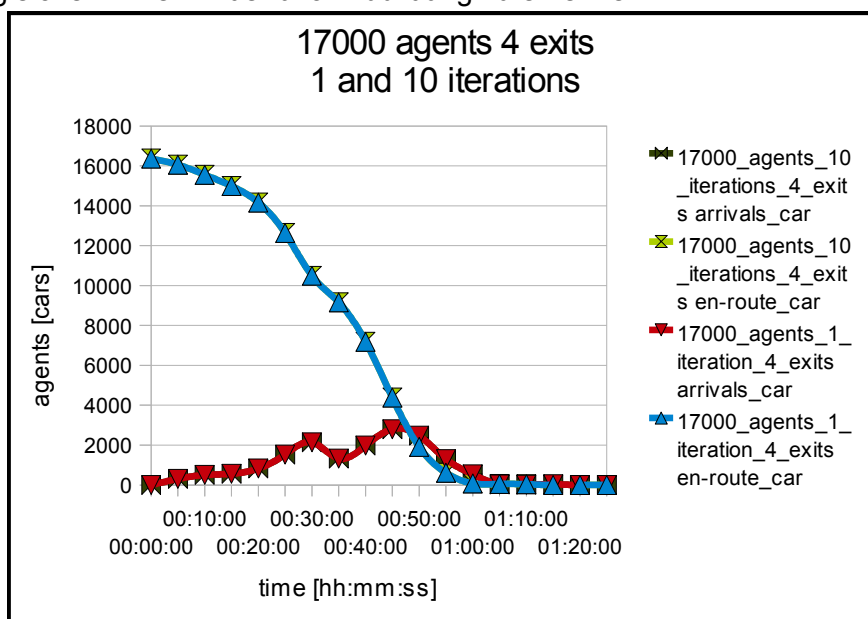


Abbildung 28: Gegenüberstellung 1 und 10 Iterationen bei 17.000 Pkw

Offensichtlich ist aufgrund der Kapazität der aus Wilhelmsburg führenden Straßen eine Änderung der Fahrstrecke zu einem anderen Ausgang nicht ziel führend. Oder die Wege bis zur anderen Innenseite sind zu weit und damit unattraktiv. In Anbetracht dieses markanten Ergebnisses werden im weiteren Verlauf ausschließlich noch die jeweils ersten Iterationen betrachtet.

2.5.7 Visualisierung der Simulationsergebnisse

Visualisierung als Movie

Zur Visualisierung der Simulationsergebnisse steht das Tool OTFVis zur Verfügung. Vorher muss aus den Simulationsergebnissen eine Moviedatei .mvi erzeugt werden. Hierzu wird der sogenannte OTFVis-Movieerzeuger in JAVA-eclipse gestartet. Dieses Programm greift selbstständig auf die Simulationsergebnisse zurück und erzeugt eine Moviedatei.

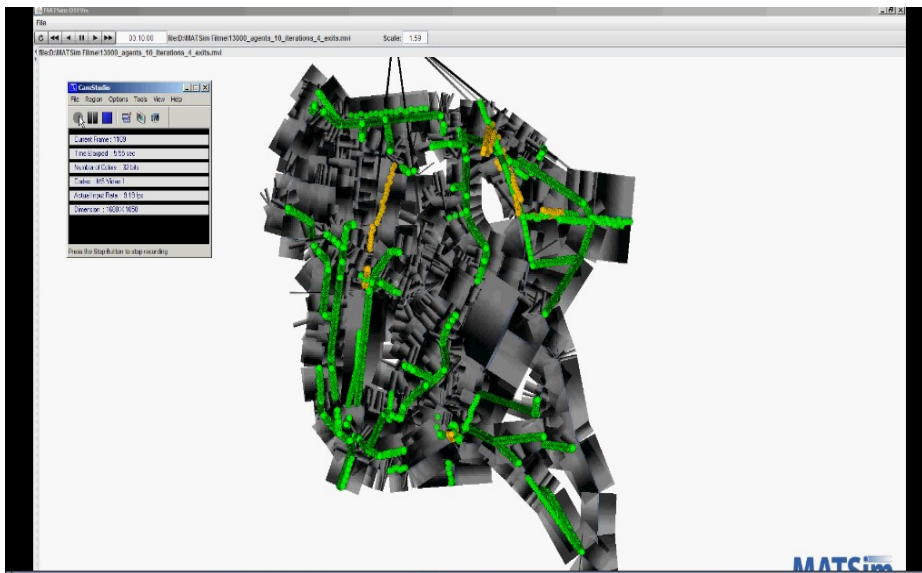


Abbildung 29: Screenshot - OTFVis-Darstellung der movi.mvi-Datei

Die Visualisierung der Ergebnisse mit OTFVis sieht dann wie oben zu sehen aus. In diesem Beispiel fallen die breiten grau-schwarzen Balken auf, die anstelle des Netzwerkes zu erkennen sind. Diese begründen sich durch die Darstellungsschwierigkeiten der Notebook-Grafikkarten. Auf dem (üblicherweise) in Grau dargestellten Netzwerk stehen alle zu evakuierenden Pkw in den Farben Grün, Gelb oder Rot. Die Farbe wechselt je nach Staudichte auf Gelb oder Rot bzw. bei freier Fahrt auf Grün.

Anhand der Visualisierung besteht die Möglichkeit der Kontrolle, ob alle Kanten, die zur Evakuierung geplant waren, tatsächlich genutzt werden. Anhand der obigen Abbildung lässt sich erkennen, wie sich die Agenten (Pkw) auf die Evakuierungskanten zu bewegen und wie es sich leicht davor staut.

Visualisierung in Diagrammen

Die errechneten Daten können mit jedem gängigen Tabellenkalkulationsprogramm eingelesen, bearbeitet und als Diagramm dargestellt werden. Die Bearbeitung der Daten für diese Arbeit erfolgte in OpenOffice⁴⁴, einem OpenSource Programm, das ähnlich arbeitet, wie das kommerzielle Produkt MicroSoft Office.

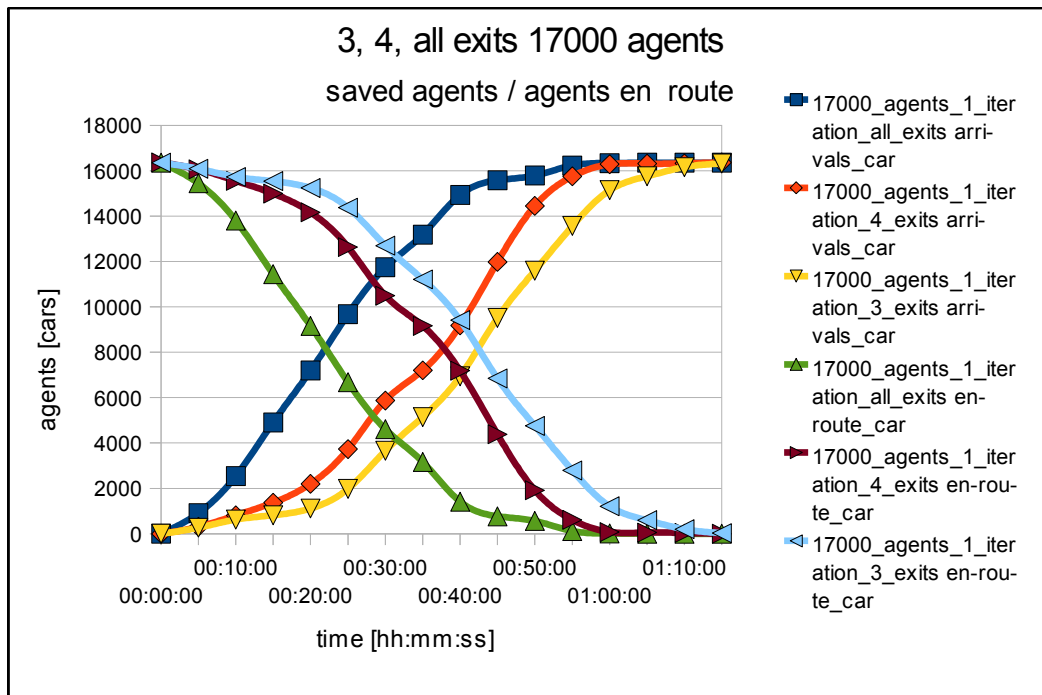


Abbildung 30: Evakuierungsverlauf 17.000 Pkw / 3, 4, alle Ausfallstraßen

Das für die Ergebnisaufbereitung wichtigste Diagramm ist die Gegenüberstellung aller Simulationsvarianten mit 17.000 Pkw, denn diese Anzahl an Fahrzeugen kam den Eingangsparametern am nächsten. Es ist deutlich zu erkennen, dass es mindestens 1 Stunde dauert, bis bei vier Ausgängen alle Pkw die Elbinsel verlassen haben. Die im vorstehenden Satz etwas seltsame negative Schreibweise soll darauf hinweisen, dass das Programm erreichbare Minimum errechnet, also: „Schneller geht es nicht.“

Wenn sich also in diesem Ergebnis abzeichnen würde, dass eine Evakuierung nicht unter vier Stunden zu schaffen wäre, könnte man an dieser Stelle schon den Schluss ziehen, dass eine Evakuierung in der vorgegebenen Zeit nicht möglich wäre.

Da das in diesem Fall nicht zutrifft, muss das Ergebnis bewertet werden. Dies erfolgt im entsprechenden Kapitel.

⁴⁴OpenOffice (2010): Open Source Office Anwendung, URL: www.openoffice.org

Das Diagramm zeigt auch, dass selbst bei Ausfall einer weiteren Brücke die Evakuierung nicht unmittelbar unmöglich ist. Erforderlich wären minimal 1 Stunde und 10 Minuten.

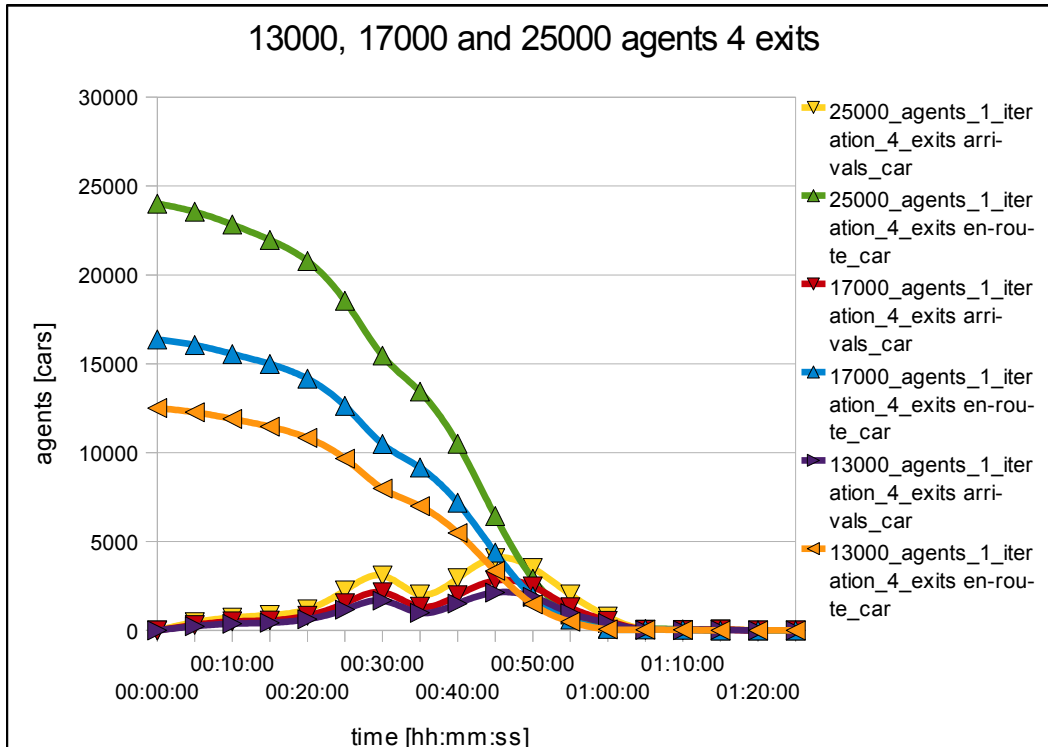


Abbildung 31: Evakuierungsverlauf 13000, 17000, 25000 Pkw / 4 Ausfallstraßen

Die Simulationen mit 13.000, 17.000 und 25.000 Pkw zeigen, dass auch für den Fall, dass deutlich mehr Fahrzeuge zu evakuiert werden müssten, keine massive Verlängerung in der Mindestevakuierungsdauer für den Ortsteil Wilhelmsburg eintritt.

Visualisierung als Tabelle

Die Daten können in der u.a. Form dargestellt und ausgewertet werden. Bei den vielen verschiedenen Varianten, die simuliert wurden, soll der Tabellenausschnitt exemplarisch darstellen, wie die Rohdaten vorliegen. Alle Rohdaten und Tabellen

time	time	departures_all	arrivals_all	stuck_all	en-route_all	departures_car	arrivals_car	stuck_car	en-route_car
00:00:00	0	16363	305	0	16058	16363	305	0	16058
00:05:00	300	0	505	0	15553	0	505	0	15553
00:10:00	600	0	560	0	14993	0	560	0	14993
00:15:00	900	0	829	0	14164	0	829	0	14164
00:20:00	1200	0	1530	0	12634	0	1530	0	12634
00:25:00	1500	0	2144	0	10490	0	2144	0	10490
00:30:00	1800	0	1328	0	9162	0	1328	0	9162
00:35:00	2100	0	1977	0	7185	0	1977	0	7185
00:40:00	2400	0	2800	0	4385	0	2800	0	4385
00:45:00	2700	0	2472	0	1913	0	2472	0	1913
00:50:00	3000	0	1301	0	612	0	1301	0	612
00:55:00	3300	0	533	0	79	0	533	0	79
01:00:00	3600	0	26	0	53	0	26	0	53
01:05:00	3900	0	15	0	38	0	15	0	38
01:10:00	4200	0	38	0	0	0	38	0	0
01:15:00	4500	0	0	0	0	0	0	0	0
01:20:00	4800	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 3: Ausschnitt aus einer Ergebnistabelle

befinden sich ebenfalls auf der beiliegenden CD-ROM.

Auffällig bei den Daten ist, dass unter departures_all nie alle Agenten starten. Im oben stehenden Beispiel sind es 16.363 von 17.000 Pkw. Hierzu gibt es zwei Vermutungen. Zum einen könnte das erzeugte Netzwerk wiederum Netzwerke enthalten, die in sich geschlossen sind und keinen Anschluss zum Ausgang haben. Zum anderen könnten teilweise Agenten auf den Kanten verteilt werden, die direkt zur Senke gehen und damit zu Beginn der Simulation sofort „gerettet“ sind. Das ist keine elegante Lösung und rechnerisch nicht ganz richtig, aber für die Simulation nicht entscheidend. Denn bei insgesamt 17.000 Agenten, fallen die ca. 600 Fehlenden nicht stark ins Gewicht.

Zur Prüfung der Plausibilität werden einfache Annahmen zur Durchlassfähigkeit an den Ausfallstraßen getroffen. Diese werden anschließend mit den vorliegenden Ergebnissen verglichen. Danach wird dann abgeschätzt, ob die Simulationsergebnisse der Realität entsprechen können. Zum Evakuierungsgebiet liegen Verkehrszählungen vor, aus denen ersichtlich ist, wie stark die Ein- und Ausfallstraßen frequentiert werden.⁴⁵

Ausfallstraße	Kapazität		
	2 Fahrrichtungen Kfz/d	1 Fahrtrichtung Kfz/d	1 Fahrtrichtung Kfz/h
BAB 255 Rtg. Norden	117000	58500	2438
BAB 1 Rtg. Westen	114000	57000	2375
BAB 1 Rtg Süden	111000	55500	2313
Europabrücke/ Brücke des 4. Juni	73000	36500	1521
Summe	415000	207500	8647

Tabelle 4: Kapazität der Ausfallstraßen

Im 24 stündigen Durchschnitt haben die zur Verfügung stehenden vier Ausfallstraße eine Mindestkapazität von rund 8.600 Kfz/h. Die Maximalkapazität wird allerdings weit darüber liegen, denn sonst käme der Verkehr schon im normalen Tagesgeschäft zum Erliegen.

Bei der Zugrundelegung der Daten der Verkehrsstärkenzählung, können die zu evakuierenden 17.000 Fahrzeuge in weniger als zwei Stunden von den vier Ausfallstraßen aufgenommen werden. Die Evakuierungssimulation bietet daher aus der Sicht des Verfassers ein plausibles Ergebnis.

⁴⁵Vgl. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (2007): Durchschnittliche tägliche Kfz-Verkehrsstärken an Werktagen (montags bis freitags)

3 Wertung der Ergebnisse der Evakuierungssimulation

Die Wertung der Ergebnisse der Evakuierungssimulation erfolgt in drei Teilen. Zuerst wird dem Katastrophenschutz Rechnung getragen, denn unter den vorgegebenen Parametern ist die reine minimal mögliche Evakuierungszeit von zentralem Interesse bei der Entscheidungsfindung. Danach erfolgt eine technische Ergebnisanalyse. Hier werden noch einmal die wesentlichen technischen Aspekte zusammengetragen. Abgerundet wird die Wertung der Ergebnisse durch einen Blick auf den Kostenfaktor.

3.1 Wertung aus Katastrophenschutzgesichtspunkten

Um die Ergebnisse werten zu können und den Mitgliedern des Krisenstabes eine Entscheidungshilfe an die Hand geben zu können, ist es erst einmal sehr wichtig, das Ziel zu kennen. Aufgrund der vorgegebenen Zeitschiene ergibt sich ein Zeitfenster von 3 Stunden für die reine Evakuierung plus einer Reserve von einer Stunde.

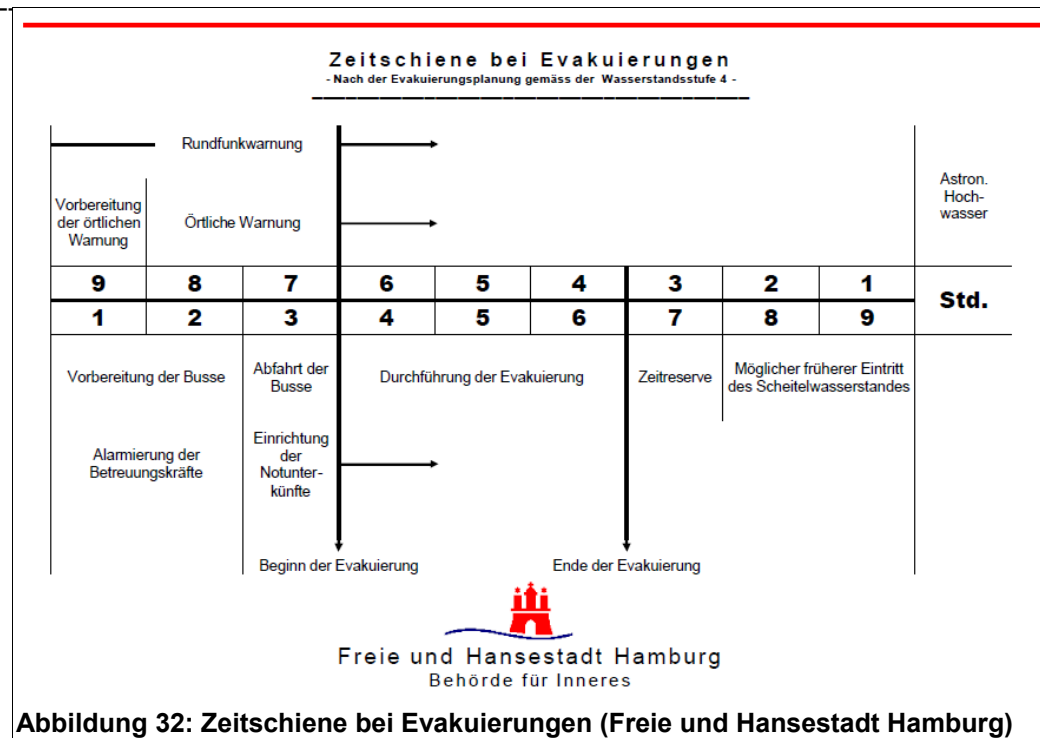
Die sogenannte Pre-Movement-Zeit, also die Zeit:

- in der die Bevölkerung gewarnt werden muss,
- die Warnung verstanden werden muss,
- den Entschluss zu gehen fassen muss,
- die Vorbereitungen trifft (Koffer packen usw.)
- usw.,

bis zum tatsächlichen Verlassen der Wohnung, wird mit zwei Stunden vorgeplant. Die Vorbereitung der Warnung der Bevölkerung ist mit einer Stunde bemessen. Schlussendlich müssen nur drei Stunden plus eine Stunde für die reine Evakuierung betrachtet werden.

Hierbei erweist sich die Evakuierung der 17.000 Kfz als am unproblematischsten. Denn wenn mindestens 1 Stunde und 10 Minuten benötigt werden, um alle Kfz in Sicherheit zu bringen, so bleiben bis zum geplanten regulären Abschluss der Evakuierung noch fast zwei Stunden Reservezeit. Auch wenn die Startzeiten verteilt sind, gibt es voraussichtlich keine Probleme.

Etwas anders verhält es sich bei den Fußgängern. Um alle Personen transportieren zu können, werden insbesondere im Bereich der Busse die vier Stunden nahezu ausgeschöpft. Zusätzlich könnte es etwas knapper werden, da die Fahrgastwechselzeiten nicht berücksichtigt wurden. Die notwendigen Kapazitäten der S-Bahnen reichen unter den angenommenen Parametern aus.



Ich würde dem Krisenstab empfehlen, die Evakuierung der Elbinsel Wilhelmsburg zu veranlassen. Voraussetzungen sind, dass alle beschriebenen Parameter eingehalten und zusätzlich die Buslinien, um entsprechend mehr Fahrzeuge, aufgestockt werden.

3.2 Wertung der Arbeitsergebnisse aus technischer Sicht

Im Zeitraum der Diplomarbeit wurde ein neues Release der Evakuierungssimulationssoftware MATSim aufgelegt, welches das gesamte Arbeiten mit der Software deutlich erleichtert. Zudem ermöglicht die neueste Version des notwendigen GIS-Programms, Q-GIS, OpenStreetMap-Daten direkt zu importieren.

Das von den MATSim-Programmierern verfasste Tutorial ist verständlich. Ein einfaches Szenario lässt sich auf diesem Wege eigenständig erstellen und simulieren.

Die notwendigen technischen Voraussetzungen sind, wie im Verlauf der Arbeit beschrieben, eigentlich in jedem modernen Büro gegeben. Die Simulation selbst ist in wenigen Minuten abgeschlossen, sodass ein Einsatz in Echtzeit durchaus denkbar ist.

Die wissenschaftlichen Ergebnisse, die in MATSim Verwendung finden, sind validiert. Unter der Voraussetzung, dass die Eingabeparameter richtig sind, wird das Programm eine belastbare Mindestzeit, die eine Evakuierung in jedem Falle be-

nötigen würde, ermitteln. Diese Zeit kann durchaus in der Stabsarbeit zur Entscheidungsfindung beitragen.

Um die Software unmittelbar in den Katastrophenschutzbehörden einsetzen zu können, sind umfassende Anpassungen nötig. Diese werden im Einzelnen in einer Ideensammlung (Lastenheft) nochmals aufgelistet.

Die Inputschnittstelle zum OpenStreetMap-System ist technisch sehr ausgefeilt, aber die Ergebnisse hängen wesentlich von der Qualität des Netzwerkes ab. Bei Bedarf sollte zusätzlich auf ein kommerzielles Datenangebot einschlägiger Anbieter wie NAVTEQ, TeleAtlas (TomTom), o. Ä. zurückgegriffen werden können.

Die vorliegenden Informationen aus den Daten der Statistik Nord konnten in dem vorliegenden Release der Software nicht mehr eingelesen werden. Dies hat zur Folge, dass eine realitätsfernere homogene Verteilung angenommen werden musste. Inwieweit dies tatsächlich Auswirkungen auf das Ergebnis hat, kann nicht ermittelt werden. Es ist jedoch ein subjektiver Schwachpunkt, der dem praktischen Anwender auffällt.

3.3 Betrachtung der Evakuierungssimulation aus Kostengesichtspunkten

Eine Wertung der Arbeitsergebnisse aus Kostengesichtspunkten ist im klassischen Sinne an dieser Stelle nicht möglich. Denn entgegen den Erwartungen des Verfassers war eine direkte Nutzung des Programms zur Erstellung einer Personenstromanalyse bzw. Evakuierungsanalyse nicht möglich.

Daher wird Folgendes betrachtet:

1. Alle Vorgaben und Ergebnisse, die MATSim im jetzigen Release bietet, sind für den Kunden, also den Krisenstab, ausreichend.
2. Das Evakuierungsgebiet umfasst nicht mehr als 50.000 Einwohner, d. h. eine etwa mittlere bis große kreisangehörige Stadt.
3. Das Netzwerk aus OpenStreetMap reicht aus.
4. Die Anzahl der Agenten kann aus den frei zur Verfügung stehenden statistischen Daten ermittelt werden.
5. Die Verteilung der Agenten kann homogen erfolgen.
6. Es werden nicht mehr als vier Änderungen der Straßendaten benötigt.

Unter den oben genannten Voraussetzungen werden insgesamt zweimal zwei Tage benötigt, um den Anwender zu schulen und ein Computersystem so einzurichten, dass eine Simulation durchgeführt werden kann. Dann kann mit einer ersten Simulation bereits nach ca. zwei Stunden gerechnet werden.

Wenn vereinfacht pro Arbeitstag 8 Stunden Arbeitszeit angenommen werden, dann ergibt sich bis zur ersten brauchbaren Simulation ein Zeitaufwand in Höhe von 34 Stunden. Pro Stunde ist bei einem tariflich Beschäftigten im öffentlichen Dienst in der Entgeltgruppe 11 TVöD, vergleichbar Ingenieuren (FH) aus dem technischen Bereich, mit einem Arbeitgeber-Stundensatz von 41,80 € zu rechnen. Die Ausbildung kann nicht autodidaktisch erfolgen, also muss noch ein entsprechender Dozent für die 4tägige Schulung kalkuliert werden. Hierfür muss ein Stundensatz von 48,20 € angenommen werden, dies entspricht der Entgeltgruppe 13 TvöD, vergleichbar höherer technischer Dienst.⁴⁶ Die Ausbildung macht in kleinen Gruppen bis max. fünf Personen Sinn, die Dozentenkosten verteilen sich dann entsprechend. Für diese Kalkulation ist die Grundlage eine Face-to-face Ausbildung (ein Ausbilder/ein Trainee). Zudem sind Reisekosten zu erstatten. Im vorliegenden Beispiel nehmen wir an, dass eine Person von Hamburg nach Berlin reist und dort zweimal übernachtet.

Beschreibung	Kalkulierte Kosten
Personalkosten Trainee	34 h x 41,80 €/h = 1.421,20 €
Personalkosten Ausbilder	32 h x 48,20 €/h = 1.542,40 €
Bahnfahrt 2. Klasse ICE Berlin Hbf/Hamburg Hbf und Rückfahrt, Normalpreis	2 x 2 x 70,00€ = 280,00 €
Übernachtung in Hamburg (EZ) geschätzt	2 x 60,00 € = 120,00 €
Kosten für die Software (entweder vorhanden oder OpenSource)	0,00 €
Kosten für Daten	0,00 €
Kosten für Hardware (einfacher PC, mit 17-Zoll-Monitor)	Unter 1.000,00 €
Kosten für Internetzugang (in der Regel bereits bestehende Flatrate)	0,00 €
Summe	4.363,60 €

Tabelle 5: Kostenberechnung Evakuierungssimulation

Ein Einstieg in die Evakuierungssimulation ist demnach für ca. 4.400,- € zu realisieren. Auch wenn dieser Betrag zunächst nicht hoch erscheint, so muss doch im Zuge immer knapperer Kassen ausreichend begründet werden, dass eine solche Investition lohnenswert und von hohem Nutzen ist. Hierbei wird es vermutlich den größeren Kommunen am ehesten gelingen, die notwendigen Investitionen zu tätigen.

⁴⁶Vgl. KGSt (2008): Kosten eines Arbeitsplatzes (Stand: 2008/2009), Anlage I

4 Resümee und Ausblick

Abschließend werden noch einmal die wesentlichsten Ergebnisse subsumiert und in einer Ideensammlung (Lastenheft) alle Einzelpunkte, die eine gute Simulationssoftware ausmachen, zusammengefasst.

4.1 Evakuierungsanalysen im Katastrophenschutz

Jeden Leiter bzw. jede Leiterin eines Krisenstabes interessiert, wie lange es dauern würde, einen bestimmten Bereich einer Stadt oder einer Region zu evakuieren. Dies ist neben allen messbaren Parametern wie Lauf- oder Fahrgeschwindigkeit, maximale Dichte, Straßenbreiten usw. an einen unvorhersehbaren Parameter, das menschliche Verhalten, gekoppelt. Verschiedene Studien beschäftigen sich mit diesem Thema. Belastbare Studienergebnisse sollten zukünftig daher unbedingt in eine weiterentwickelte Evakuierungsanalysesoftware einfließen.

Die Zielsetzung bis dahin sollte, den rein physikalischen Vorgang „Evakuierung“ so berechenbar wie möglich zu machen. Moderne Geoinformationssysteme bieten gute Daten zur Berechnung an.

Schnittstellen zu Systemen, die sich mit der Warnung der Bevölkerung beschäftigen, sollten unbedingt realisiert werden. In den meisten Landkreisen gibt es derzeit keine Warnmöglichkeiten mehr, da sukzessive Sirenen abgebaut wurden und die Bevölkerung vielfach nicht mehr sensibilisiert ist, wie mit Sirenenwarnsignalen umzugehen ist. Modernere Systeme müssen entwickelt und geschaffen werden, um technischen Neuerungen gerecht zu werden. Aus heutiger Sicht ist es ein unhaltbarer Zustand, dass Lautsprecherfahrzeuge durch ein Gebiet fahren und die Bevölkerung auffordern, Fenster und Türen geschlossen zu halten, woraufhin die meisten sofort die Fenster öffnen, da sie aufgrund moderner 2-fach- oder 3-fach-Verglasung nicht hören können, was durchgesagt wird. Direkte Warnungen auf Mobiltelefone oder satellitengestützte Warnmöglichkeiten sollten zukünftig diese Maßnahmen weitestgehend ablösen. Im Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) gibt es in diesem Zusammenhang ein eigenes Referat, das sich mit dieser Thematik beschäftigt.⁴⁷

Eine Evakuierungssimulationssoftware könnte ein gutes Bindeglied zwischen der Informationssoftware zur Warnung der Bevölkerung, den Einsatzleitrechnern der integrierten Leitstellen und der Polizei sowie einer Lagekartendarstellung für den Katastrophenstab sein. Die Evakuierungssimulationssoftware könnte Geoinfor-

⁴⁷Vgl. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) (2010): Warnsysteme

mationsdaten an die zur Warnung der Bevölkerung eingesetzte Software liefern. Ebenso könnte das bearbeitete Evakuierungsgebiet in die Lagedarstellung der Einsatzleitrechner exportiert werden.

Auch im Vorfeld von Ereignissen oder auch Großveranstaltungen können mit Simulationsprogrammen Schwachstellen aufgedeckt und planerisch berücksichtigt werden. Durch die Simulation verschiedener Konzepte, wie Lenkung der Personen oder Verteilung von Fluchtburgen oder Notunterkünften im Stadtgebiet könnte die bestmögliche Variante herausgefunden werden.

Dies gilt ausnahmslos für Großveranstaltungen, wobei die Eingabeparameter insofern belastbar sein müssen, als nicht aufgrund irgendwelcher Interessen Zahlen ungenau angegeben werden dürfen. Sehr gut gelungen ist dies beim „Weltjugendtag 2005“ in Kerpen, wo bei der Abschlussveranstaltung auf dem „Marienfeld“ ca. 1,4 Mio. Jugendliche aus aller Welt erwartet wurden. Durch geschickte Lenkung der Massen nach Abschluss der Veranstaltung konnte eine ermittelte Schwachstelle, der Bahnhof in Kerpen-Horrem, entlastet werden.

Voraussetzung ist allerdings, dass eine Simulationssoftware, ganz gleich wie sie aussieht oder aufgebaut ist, ein verlässliches und allgemein akzeptiertes System bildet, das nachprüfbare Daten liefert.

4.2 Ideensammlung (Lastenheft) für ein Evakuierungs-Analyse-System (EAS)

Ein Lastenheft im klassischen Sinne würde den Rahmen dieser Diplomarbeit sprengen. Daher wurde für diese abschließende Aufgabe auf eine Kreativitätstechnik zurück gegriffen, die das Potential hat auch komplexe Sachverhalte übersichtlich darzustellen. In der unten dargestellten MindMap wurden alle Ideen für eine zukunftsfähige Analyse-Software eingearbeitet.

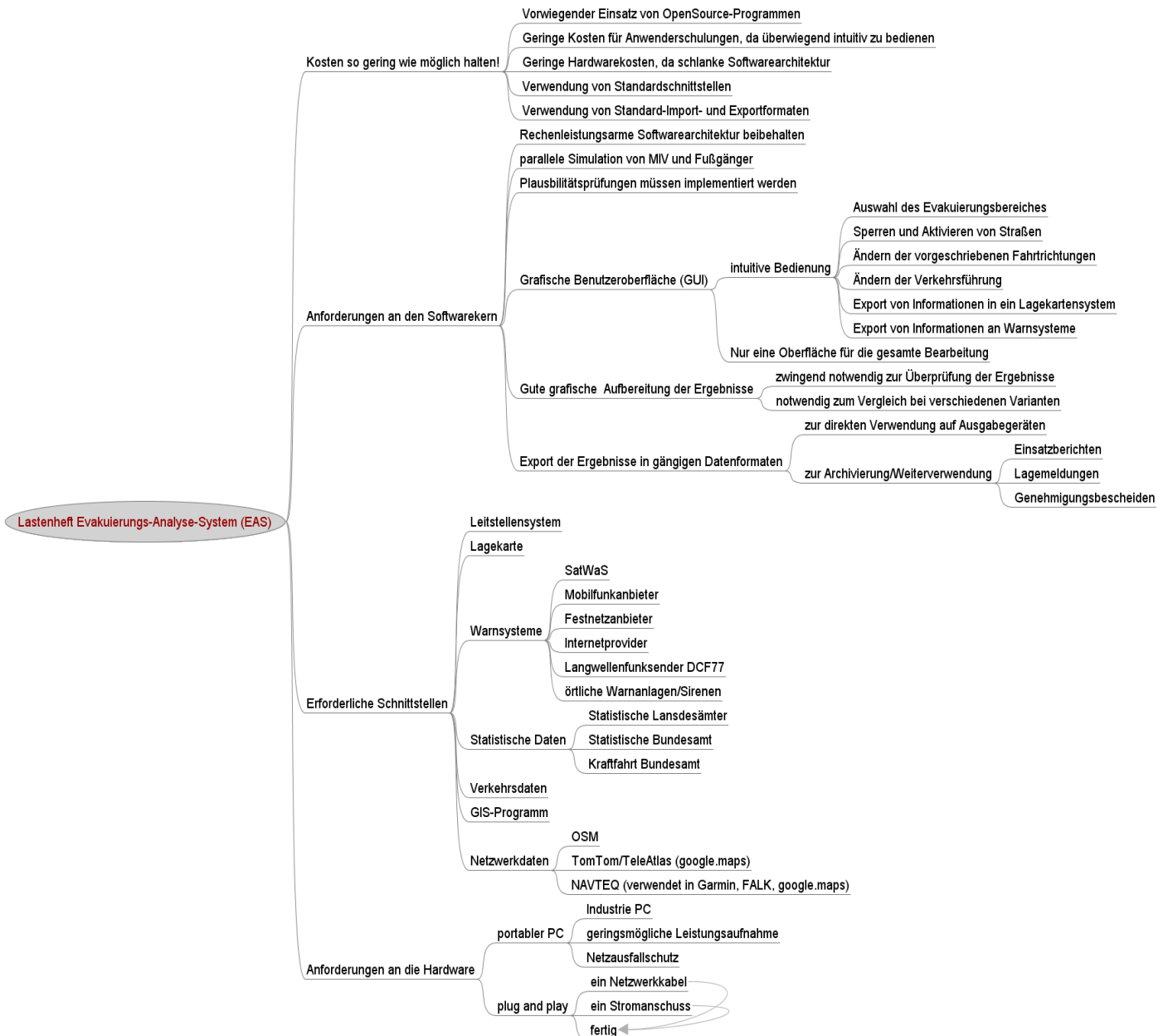


Abbildung 33: MindMap Lastenheft Evakuierungs-Analyse-System (EAS)

5 Verzeichnisse

5.1 Literatur- und Quellenverzeichnis

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) (2010): URL: www.bbk.bund.de [Stand: 04.06.2010]

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) (2010): Warnsysteme, URL: http://www.bbk.bund.de/cln_007/nn_399440/DE/02_Themen/11_Zivilschutztechnik/04_Warnsyst/Warnsyst_node.html_nnn=true [Stand: 30.11.2010]

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2010): Innovationsplattform Schutz und Rettung von Menschen, URL: <http://www.bmbf.de/de/14285.php> [Stand: 01.11.2010]

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2010): KMU-innovativ: Forschung für die zivile Sicherheit, URL: <http://www.bmbf.de/de/14168.php> [Stand: 08.03.2010]

DHI WASY GmbH (2010): Software für Hochwassersimulation „HWSim“: URL: <http://www.wasy.de/Loesungen/Hochwassersimulation.html> [Stand: 04.06.2010]

eclipse OpenSource-Programm (2010): JAVA-Entwicklersoftware: URL: www.eclipse.org [Stand: 07.11.2010]

EU-Kommission (2009): Gemeinschaftskonzept zur Verhütung von Naturkatastrophen und von Menschen verursachten Katastrophen, Bezeichnung des Dokuments: KOM(2009) 82 endg.; Ratsdok. 7075/1/09, URL: http://www.bbk.bund.de/cln_027/nn_398536/DE/06_Fachinformationsstelle/02_Rechtsgrundlagen/01_EU/Gemeinschaftskonzept_20Verh_C3_BCtung_20Katastrophen.templateId=raw.property=publicationFile.pdf/Gemeinschaftskonzept%20Verhütung%20Katastrophen.pdf (Stand: 04.06.2010)

Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Inneres und Sport (2008): Sturmflutbroschüre, URL: <http://www.hamburg.de/contentblob/569738/data/sturmflutbroschuere.pdf> [Stand: 05.03.2010]

Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Inneres und Sport (2008): Sturmflutmerkblatt Wilhelmsburg, URL: <http://www.hamburg.de/contentblob/562890/data/sturmflutmerkblatt-wilhelmsburg-2008.pdf> [Stand: 05.03.2010]

Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Inneres und Sport (BIS) (2009): Bezirksamt Hamburg-Mitte, Evakuierung der Bevölkerung im Deichverteidigungsgebiet II – Wilhelmsburg

Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Inneres und Sport (BIS) (2007): Bezirksamt Hamburg-Mitte, Einsatzplan Sturmflut, Fluchtburgen in Wilhelmsburg

Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Inneres und Sport (BIS) (2007): Bezirksamt Hamburg-Mitte, Einsatzplan Sturmflut, Notunterkünfte in Wilhelmsburg

Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Inneres und Sport (BIS) (1987): Besondere Richtlinie für die Planung und Durchführung von Evakuierungen-Evakuierungsrichtlinie

Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (2007): Durchschnittliche tägliche Kfz-Verkehrsstärken an Werktagen (montags bis freitags), URL: <http://www.hamburg.de/contentblob/388406/data/verkehrsbelastung-dtvw-karte-pdf.pdf> [Stand: 12.08.2010]

Hamacher, H.-W. (2003): Evakuierungsplanung, Katastrophenvorhersage und -management, Präsentation im Rahmen der Modellierung in interdisziplinären Studien Programm (MISP), URL: <http://www.uni-kl.de/MISP/Vortraege/HamachT-land.pdf> [Stand: 01.11.2010]

Hamburger Verkehrsverbund GmbH (HVV) (2010): Fahrplanaushänge S-Bah-Station Wilhelmsburg, URL: <http://geofox.hvv.de/jsf/stationSchedule.seam.jsessionid=-CB9203C01F9A03FD94AA645EA4EBD83C.tomcat1> [Stand: 11.10.2010]

Hamburgisches Katastrophenschutzgesetz (HmbKatSG) (2001): URL: http://www.bbk.bund.de/clin_007/nn_398542/DE/06_Fachinformationsstelle/02_Rechtsgrundlagen/04_Bundeslaender/KatSG_20Hamburg.templateId=raw.property=publicationFile.pdf/KatSG%20Hamburg.pdf [Stand: 03.06.2010]

Kaden, St. u. Reichert, S. (1999): Sturmflutsimulation für Hamburg, DHI WASY; URL: http://www.wasy.de/_media/660D415CC84B4962A945AB58A2BBB1B-6.pdf [Stand: 04.06.2010]

Kommunale Gemeinschaftsstelle für Verwaltungsmanagement (KGSt) (2008): Kosten eines Arbeitsplatzes (Stand 2008/2009), Materialien Nr. 7/2008, Az. 104533, Eigenverlag, Köln

Kimms, A., Maassen, K.-C. (2009): Optimisation and Simulation of Traffic Flows in Case of Evacuating Urban Areas, Mercator School of Management, Universität Duisburg-Essen (per Mail erhalten vom Verfasser am 11.10.2010)

Kimms, A. et. al. (2010): Evakuierungssimulation eines Duisburger Ortsteiles, Vortrag im Rahmen des Workshops „Katastrophenmanagement in urbanen Regionen“ am 27.09.2010, Universität Duisburg-Essen

Klingsch, W.W.F. et. al. (2010): Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008, DOI 10.1007 / 978-3-642-04504-2, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

Lämmel, G., Nagel, K. (2008): Workingpaper: Multi agent based large-scale evacuation simulation, TU Berlin, URL: <https://svn.vsp.tu-berlin.de/repos/public-svn/publications/vspwp/2008/08-13/> [Stand: 10.11.2010]

Nagel, K. et. al. (2010): MATSim - Multi-Agent Transport Simulation Toolkit, TU Berlin und ETH Zürich, URL: <http://www.MATSim.org/> [Stand: 03.03.2010]

Nagel, K. (2010): Univ.-Prof. Dr., Fachgebietsleiter Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik, persönliches Gespräch am 25.06.2010

OpenOffice (2010): Open Source Office Anwendung, URL: www.openoffice.org [Stand: 14.11.2010]

OpenStreetMap (2010): Die freie Wiki-Weltkarte – Ortsteil Wilhelmsburg, URL: <http://www.openstreetmap.org/> [Stand: 05.03.2010]

Notepad++ (2010): Freier Quellcode Editor, URL: <http://notepad-plus-plus.org/de/node/56> [Stand: 07.11.2010]

PedNet (2007): Pedestrian and Evacuation Dynamics NETwork, URL: <http://www.ped-net.org/index.php?id=8&L=1> [Stand: 05.03.2010]

Poser, H. (2010): stv. Referatsleiter Katastrophenschutz, Innenbehörde der Freien und Hansestadt Hamburg, persönliche Gespräche am 20.08.2010 und 12.11.2010

Quantum-GIS OpenSource-Software (2010): Quelloffenes Geografisches Informationssystem (GIS): URL: www.qgis.org [Stand: 07.11.2010]

Rechtern, J. (2003): Standsicherheitsnachweise für Deichbauten, European Forum on Underground Construction (EFUC), URL: <http://www.efuc.org/old/sudenburg-03/papers/3-Rechtern.pdf> [Stand: 04.06.2010]

Schlurmann, T. et. al. (2010): Last-mile-Evacuation, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, URL: <http://www.last-mile-evacuation.de> [Stand: 03.03.2010]

Schmidt, J. (2010): Dr., Leiter der Stabsstelle Krisenmanagement der Berufsfeuerwehr Köln, Vortrag im Rahmen des Workshops „Katastrophenmanagement in urbanen Regionen“ am 27.09.2010, Universität Duisburg-Essen

South Florida Regional Planning Council (SFPRC) (2006): Regional Hurricane Evacuation Model Traffic Study, URL: <http://www.sfrpc.com/rhem.htm> [Stand: 01.11.2010]

Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein AöR (2009): Statistisches Jahrbuch Hamburg 2009/2010, URL: http://www.statistik-nord.de/uploads/tx_standocuments/JB09HH_gesamt.pdf [Stand: 30.09.2010]

TraffGO HT (2010): Software für Evakuierungsanalysen „PedGo“, URL: <http://www.traffgo-ht.com/de/index.html> [Stand: 05.03.2010]

Weidmann, U. (1993): Transporttechnische Eigenschaften des Fußgängerverkehrs, Schriftenreihe des IVT Nr. 90, 2. erg. Auflage, Zürich

Wikipedia (2010): S-Bahn-Zug, Typ: DBAG BR 474, URL: http://de.wikipedia.org/wiki/DBAG-Baureihe_474 [Stand: 08.10.2010]

Wikipedia (2010): S-Bahn Hamburg, Fahrzeuge, URL: http://de.wikipedia.org/wiki/S-Bahn_Hamburg#Fahrzeuge [Stand: 08.10.2010]

Zukunft Elbinsel Wilhelmsburg e. V. (2010): Verein zur Entwicklung der Elbinseln Hamburgs, URL: <http://www.insel-im-fluss.de/AbdurchdieMitte/index.htm> [Stand 12.08.2010]

5.2 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
AG	Aktiengesellschaft
AöR	Anstalt öffentlichen Rechts
AP	Arbeitspaket
Aufl.	Auflage
B	Bundesstraße
BAB	Bundesautobahn
BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BF	Berufsfeuerwehr
BIS	Behörde für Inneres und Sport
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BR	Baureihe

bzw.	beziehungsweise
bezgl.	bezüglich
ca.	circa (um, etwa, ungefähr)
CEN	Comité Européen de Normalisation
d	day (engl. Tag)
DBAG	Deutsche Bahn Aktiengesellschaft
Dr.	Doktor (akademischer Grad)
EAS	Evakuierungs-Analyse-System
et. al.	Und andere
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
Engl.	Englisch
EU	Europäische Union
evt.	eventuell
e. V.	eingetragener Verein
ff.	fort folgende
FH	Fachhochschule
FIFO	First in first out
GIS	Geografisches Informationssystem
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GRIPS	GIS based risk assessment and incident preparation with MA simulation
h	hour (engl. Stunde)
HVV	Hamburger Verkehrsverbund GmbH
Ing.	Ingenieur
KBS	Koordinatenbezugssystem
Kfz	Kraftfahrzeug
KMU	Klein- und Mittelständische Unternehmen
Lfd.	Laufende
Lkw	Lastkraftwagen
Matr.Nr.	Matrikelnummer

min.	Minuten
Mio.	Millionen
Nr.	Nummer
o. Ä.	oder Ähnliches
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OSM	OpenStreetMap
phil.	philosophiae
Pkw	Personenkraftwagen
rd.	rund
S.	Seite
Sat.	Satelliten
SatWaS	Satellitengestütztes Warnsystem
SFRPC	South Florida Regional Planning Council
sog.	sogenannt
stv.	stellvertretender
TU	Technische Universität
u.	und
u. a.	unter anderem
URL	Uniform Ressource Locator
usw.	und so weiter
vgl.	vergleiche
WJT	Weltjugendtag
WWW	World Wide Web
z. B.	zum Beispiel
zw.	zwischen

5.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berechnung Transportkapazitäten S-Bahn / Bus.....	30
Tabelle 2: Durchgeführte Simulationsvarianten.....	38
Tabelle 3: Ausschnitt aus einer Ergebnistabelle.....	42
Tabelle 4: Kapazität der Ausfallstraßen.....	43
Tabelle 5: Kostenberechnung Evakuierungssimulation.....	47

5.4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kartenausschnitt Evakuierungswege South Florida (SFRPC 2006).....	6
Abbildung 2: Kartenausschnitt Verkehrsdaten Hurricane RITA (SFRPC 2006).....	7
Abbildung 3: Visualisierung der Evakuierungssimulation Padang (MATSim.org).....	8
Abbildung 4: Diagramm Kettenhochwasser.....	11
Abbildung 5: Regelquerschnitt neuer Elbdeiche.....	11
Abbildung 6: Hydraulischer Grundbruch.....	12
Abbildung 7: Sturmflut 1962 Stadtteil Wilhelmsburg (Fotos: Gerhard Pietsch).....	13
Abbildung 8: Die Elbinsel Wilhelmsburg (Foto: Landsat).....	14
Abbildung 9: Ergebnis Hochwassersimulation 3,5 h nach Deichbruch.....	16
Abbildung 10: Ergebnis Hochwassersimulation 1,0 h nach Deichbruch.....	16
Abbildung 11: Entscheidungsmatrix Krisenstab.....	17
Abbildung 12: Darstellung Queue-Modell.....	19
Abbildung 13: Satellitenbild Wilhelmsburger Reichsstraße (google maps).....	21
Abbildung 14: Wilhelmsburger Reichsstraße anlässlich einer Demo (31.10.2009).....	21
Abbildung 15: Durchschnittliche tägliche Kfz-Verkehrsstärken.....	22
Abbildung 16: Fahrzeug Linie S31 Typ: DBAG BR 474 (Foto: Metro Centric).....	30
Abbildung 17: Screenshot - Datenexport aus OpenStreetMap.....	31
Abbildung 18: Screenshot - Ausführen EvacuationNetworkGenerator.....	32
Abbildung 19: Screenshot - Darstellung Evakuierungsnetzwerk.....	33
Abbildung 20: Screenshot - OSM Datenimport bei Q-GIS.....	33
Abbildung 21: Screenshot - Erstellen eines Vectorlayers in Q-GIS.....	34
Abbildung 22: Screenshot - Detailansicht des Polygon in Q-GIS.....	34
Abbildung 23: Screenshot - gezieltes Löschen von OSM-Daten.....	35

Abbildung 24: Screenshot - Erstellen der Population von 17000 agents.....	36
Abbildung 25: Screenshot - config.xml Einstellung der Iterationen.....	37
Abbildung 26: Screenshot - Ausführen des EvacuationQSimControllers.....	37
Abbildung 27: LEG-Histogramm 17000 agents 4 exits 1 iteration.....	38
Abbildung 28: Gegenüberstellung 1 und 10 Iterationen bei 17.000 Pkw.....	39
Abbildung 29: Screenshot - OTFVis-Darstellung der movi.mvi-Datei.....	40
Abbildung 30: Evakuierungsverlauf 17.000 Pkw / 3, 4, alle Ausfallstraßen.....	41
Abbildung 31: Evakuierungsverlauf 13000, 17000, 25000 Pkw / 4 Ausfallstraßen.....	42
Abbildung 32: Zeitschiene bei Evakuierungen (Freie und Hansestadt Hamburg).....	44
Abbildung 33: MindMap Lastenheft Evakuierungs-Analyse-System (EAS).....	50
Abbildung 34: Satellitenbild BAB 255 (google maps).....	60
Abbildung 35: Satellitenbild BAB 1 Richtung Moorfleet (google maps).....	60
Abbildung 36: Satellitenbild BAB 1 Richtung Neuland (google maps).....	61
Abbildung 37: Sat.bild Elbbrücken zw. Wilhelmsburg u. Harburg (google maps).....	61

6 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter der Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Dirk Durst

Anlage I: Ausfallstraßen aus dem Evakuierungsgebiet



Abbildung 34: Satellitenbild BAB 255 (google maps)



Abbildung 35: Satellitenbild BAB 1 Richtung Moorfleet (google maps)

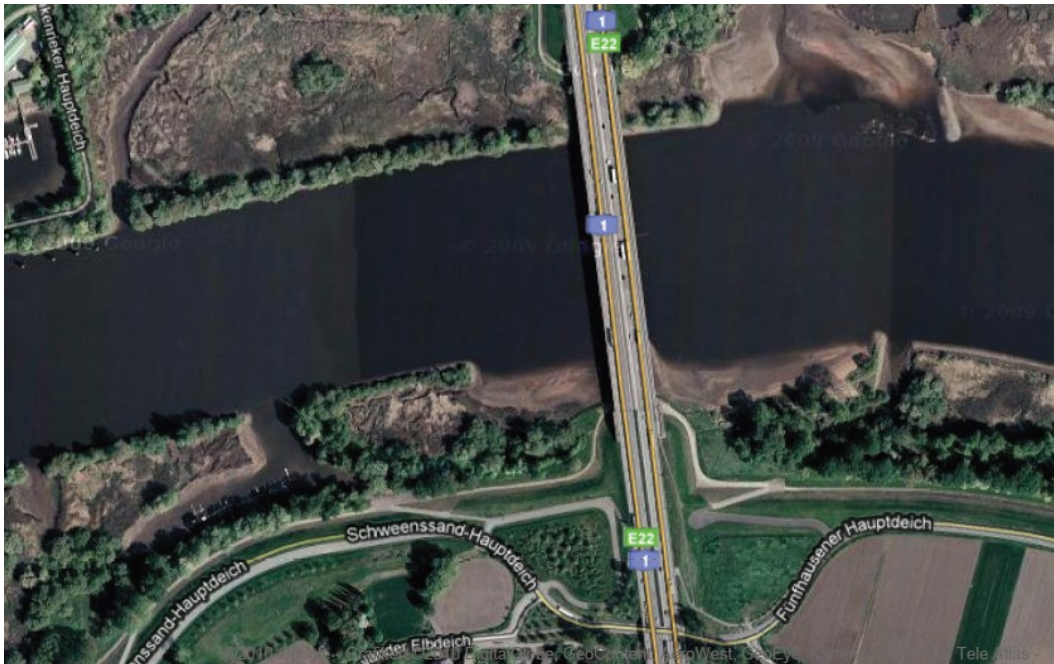


Abbildung 36: Satellitenbild BAB 1 Richtung Neuland (google maps)



Abbildung 37: Sat.bild Elbbrücken zw. Wilhelmsburg u. Harburg (google maps)