

Evakuierungsanalyse

St Evakuus

Januar 2003
Projekt Nr.: P2003/01/01P

TraffGo GmbH
Grabenstrasse 132
47057 Duisburg
www.traffgo.com

Berichtskontrollblatt

Auftraggeber: Workshop „Evakuierungssimulation“ Datum: Dienstag 14.01.03 Ort: HOCHTIEF Construction AG		Bestell-Nr. / Auftragseingang: 18.12.02	
Titel: Evakuierungsanalyse des fiktiven Objekts St Evakuus			
Kurzbeschreibung: <p>Dieses Dokument beschreibt die Evakuierungsanalyse des fiktiven Gebäudes St Evakuus, welches von der HOCHTIEF Construction AG (nachfolgend HOCHTIEF genannt) als Beispiel für den Workshop „Evakuierungssimulation“ bereitgestellt wurde. Die Analyse wurde durch die TraffGo GmbH mit der Software PedGo durchgeführt.</p> <p>Zusätzlich zu dem von HOCHTIEF vorgeschlagenen Szenario wurden drei weitere Szenarien entwickelt, um die möglichen Ergebnisse abschätzen zu können. Für jedes Szenario wurden 500 Simulationen durchlaufen und statistisch ausgewertet.</p> <p>Alle getroffenen Annahmen sowie die Auswertung der Ergebnisse sind in diesem Dokument enthalten.</p>			
Abteilung: Fußgänger			
Bearbeiter	Tel.	Fax.	Email
Tim Meyer-König	0160-7928259	0203-379-6564	m-k@traffgo.com
Ausgabe Nr.: 1		Datum der Ausgabe: 14.01.03	
Schlüsselwörter		Status	
<ul style="list-style-type: none"> - Evakuierungsanalyse - St Evakuus - PedGo 		<input type="checkbox"/> Entwurf <input checked="" type="checkbox"/> abgeschlossen <input type="checkbox"/> TraffGo intern	
		Bericht Nr.: 1 Projekt Nr.: P2003/01/01P	

Inhalt

Berichtskontrollblatt	ii
Inhalt	iii
1 Warnhinweis	1
2 Einleitung.....	2
2.1 Stand der Technik	2
2.2 Prinzipien der Simulation	2
3 Szenarien	3
4 Modellieren des Generalplans	5
5 Parameter.....	5
6 Ergebnisse.....	7
6.1 Fall 1.1 (Reaktionsdauer 0-60 s).....	8
6.1.1 Mittelwertrechnung (500 Durchläufe)	8
6.1.2 Einzelwertrechnung	9
6.2 Fall 1.2 (Reaktionsdauer 0-10 s).....	10
6.2.1 Mittelwertrechnung (500 Durchläufe)	10
6.2.2 Einzelwertrechnung	11
6.3 Fall 1.3 (Reaktionsdauer 0-120 s).....	12
6.3.1 Mittelwertrechnung (500 Durchläufe)	12
6.3.2 Einzelwertrechnung	13
6.4 Fall 2 (außen).....	14
6.4.1 Mittelwertrechnung (500 Durchläufe)	14
6.4.2 Einzelwertrechnung	15
6.5 Fall 3 (innen).....	16
6.5.1 Mittelwertrechnung (500 Durchläufe)	16
6.5.2 Einzelwertrechnung	17
6.6 Fall 4 (Hauptausgang)	18
6.6.1 Mittelwertrechnung (500 Durchläufe)	18
6.6.2 Einzelwertrechnung	19
7 Diskussion der Ergebnisse.....	20
8 Weitere Informationen.....	20

1 Warnhinweis

Um eine Evakuierungssimulation wie mit PedGo schnell und effizient durchführen zu können, basieren die verwendeten Algorithmen auf einem vereinfachten Modell, welches nicht alle Einflüsse der Realität berücksichtigen kann. Im Wesentlichen wird die Realitätsnähe durch ein realistisches Fundamentaldiagramm (Abhängigkeit von der Laufgeschwindigkeit gegenüber der Personendichte) erzielt. Psychologische Aspekte, die zum Beispiel die Routenwahl und das Verhalten der Person beeinflussen sind bisher noch nicht wissenschaftlich fundiert untersucht worden und können nur durch statistische Verhaltensweisen implementiert werden. Da jedoch das Verhalten in der Realität durch den Einfluss von psychologischen Aspekten stark und unvorhersehbar variieren kann, können solche Effekte in der Simulation nicht berücksichtigt werden.

Somit stellt die Simulation einen idealisierten Fall dar, bei dem sich die Personen gemäß der Parameter und Routenvorgaben des Benutzers bewegen. TraffGo haftet somit nicht für sämtliche Ansprüche und Kosten infolge von Körperverletzung oder Tod sowie Sachbeschädigung oder –Verlust.

2 Einleitung

2.1 Stand der Technik

Die Planung von Fluchtwegen beim Entwurf und Bau von Gebäuden gewinnt zunehmend an Bedeutung. Dabei ist ein Wechsel von eher deskriptiven Methoden (Beschreibung rein geometrischer Eigenschaften der Fluchtwege) zu modernen Simulationsmodellen zu verzeichnen, die den gesamten zeitlichen Ablauf einer Evakuierung mit einbeziehen können.

Das in dieser Analyse verwendete Modell beruht auf den wissenschaftlichen Erkenntnissen des Forschungsvorhabens BYPASS [1], welches am Lehrstuhl *Physik von Transport und Verkehr* von Prof. Michael Scheckenberg an der *Gerhard-Mercator Universität Duisburg* durchgeführt wurde. Es wurde von der TraffGo GmbH in der Software PedGo implementiert.

Die Software wird unter anderem für die Evakuierungsanalyse von Fahrgastschiffen eingesetzt und ist hierzu nach den Maßgaben der *International Maritime Organization* (kurz IMO) durch die See-Berufsgenossenschaft zertifiziert.

2.2 Prinzipien der Simulation

Die Grundlagen der mikroskopischen Simulationsmethode beruhen auf der Darstellung einzelner Personen, die sich gemäß dem Evakuierungsplan zu den Ausgängen bewegen. Zu diesem Zweck wird der Generalplan in ein Gitter von quadratischen Zellen eingeteilt, die den minimal benötigten Raum einer Person im dichten Gedränge repräsentieren. Durch die Berücksichtigung aller Personen wird eine übersichtliche und realitätsnahe Darstellung des Ablaufs einer Musterung oder Evakuierung ermöglicht.

Nähere Details zum Modell sind in diversen Veröffentlichungen erläutert, die von der Homepage der TraffGo (www.traffgo.com) heruntergeladen werden können. Weiterhin enthält sie weiterführende Erläuterungen.

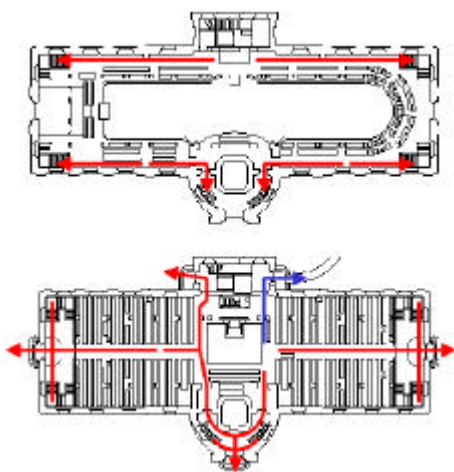
Da das Ergebnis einer Simulation statistisch verteilt ist, wird zunächst eine Mittelwertrechnung mit fünfhundert Simulationsdurchläufen durchgeführt. Hierdurch erhält man eine Gesamtübersicht der möglichen Ergebnisse. Danach wird die Rechnung wiederholt, die dem Mittelwert entspricht, um detaillierte Daten auszuwerten.

3 Szenarien

Zur Abschätzung der Evakuierungsdauer des fiktiven Objekts StEvakuus werden Simulationen mit Hilfe der Simulationssoftware PedGo der TraffGo GmbH für die folgenden Fälle durchgeführt. Die 5 Rollstuhlfahrer verlassen bei jedem Fall das Gebäude über den hinteren Ausgang und die Rampe.

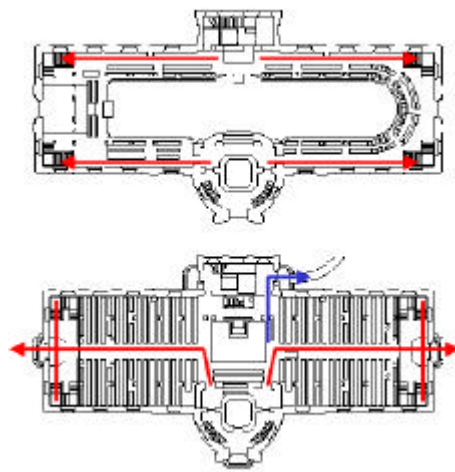
Fall 1:

Die Personen verlassen das Gebäude entsprechend der vorgesehenen Fluchtwege. Es werden die gleichverteilten Reaktionszeiten 0-10 s, 0-60 s und 0-120 s untersucht.



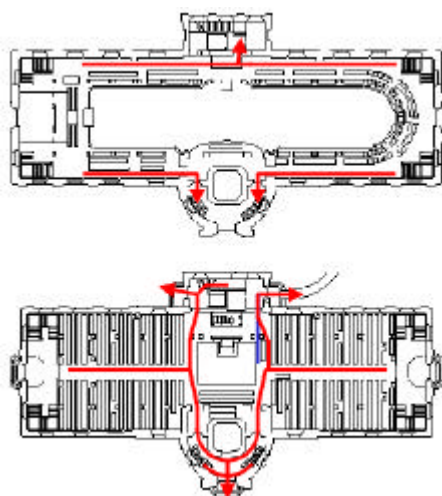
Fall 2:

Die Personen verlassen das Gebäude über die außen (links und rechts) liegenden Ausgänge.



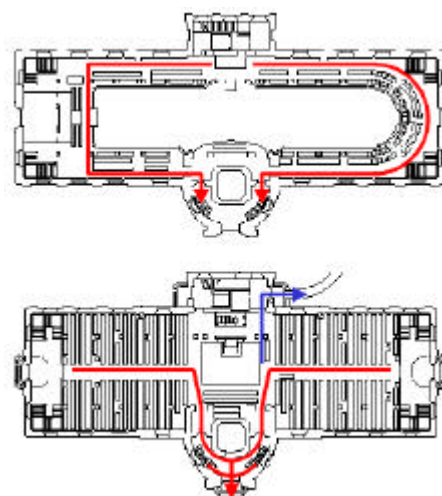
Fall 3:

Die Personen verlassen das Gebäude über die innen (oben und unten) liegenden Ausgänge.

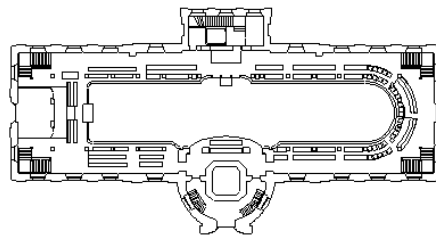


Fall 4:

Die Personen verlassen das Gebäude über den Hauptausgang (unten).

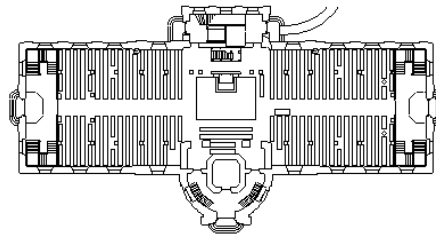


In der Rechnung werden alle von den Personen betretenen Flächen berücksichtigt. Gemäß der Vorgaben werden 1.019 Personen wie folgt im Gebäude verteilt:

**Empore:**

Bänke: 202

Chor: 24

**Erdgeschoß:**

Bänke: 788

Rollstühle: 5

Abb. 1: Anfangsverteilung der Personen für alle Fälle.

4 Modellieren des Generalplans

Die Aufteilung des Grundrisses in Zellen wurde anhand der gelieferten Dateien durchgeführt. Sie geben den Grundriss wieder. Korrekt modelliert werden nur die während der Evakuierung von den Personen betretenen Flächen.

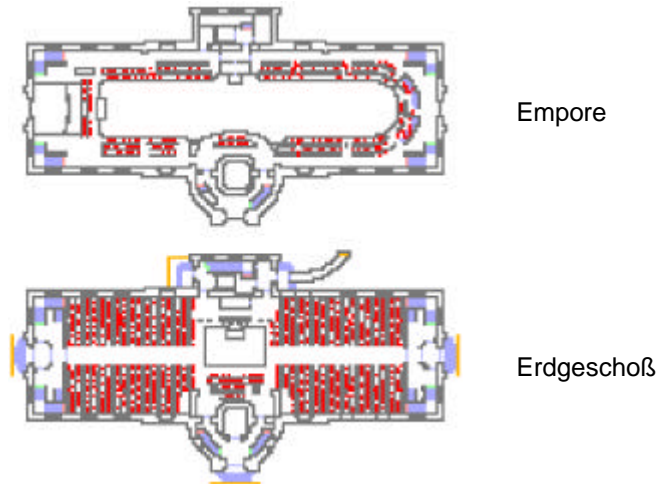


Abb. 2: Modellierter Grundriss mit Treppen und Personen.

5 Parameter

Die Eigenschaften der Personen werden anhand einer statistischen Normalverteilung zugewiesen. Sie stellen einen durchschnittlichen Bevölkerungsquerschnitt dar. Ist die Standardabweichung im Verhältnis zum Wertebereich sehr groß, kann von einer Gleichverteilung ausgegangen werden.

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Staabw.	Einheit	Bemerkung
Laufgeschw.	2	5	3	1	Zellen/s	
Geduld	5000	5000	-	-	s	→ Keine Änderung der Routenwahl.
Schwanken	1	5	3	2	Zellen	
Reaktionszeit	0	60	30	300	s	
Trödelwahrsch.	0	30	15	5	%	
Trägheit	1	5	3	2	%	

Tab. 1: Parameter der normalen Personen für alle Fälle.

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Staabw.	Einheit	Bemerkung
Laufgeschw.	2	2	-	-	Zellen/s	
Geduld	5000	5000	-	-	s	→ Keine Änderung der Routenwahl.
Schwanken	1	1	-	-	Zellen	→ Kein Schwanken.
Reaktionszeit	0	60	30	300	s	
Trödelwahrsch.	0	50	25	250	%	
Trägheit	1	1	-	-	%	→ Folgen „Ideallinie“.

Tab. 2: Parameter der Personen in Rollstühlen für alle Fälle.

Für Fall 1 wurden zwei weitere Szenarien mit veränderten Reaktionszeiten untersucht.

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Staabw.	Einheit	Bemerkung
Fall 1.2						
Reaktionszeit.	0	10	5	50	s	
Fall 1.3						
Reaktionszeit.	0	120	60	600	s	

Tab. 3: Weitere Reaktionszeiten für alle Personen in Fall 1.

6 Ergebnisse

Zur statistischen Analyse des Objekts wird eine sogenannte Mittelwertrechnung durchgeführt, die aus 500 Simulationsdurchläufen besteht. Zur Auswertung und Visualisierung von Stauungen wird eine Simulation wiederholt, deren Evakuierungsdauer länger als 95% der ermittelten Fälle ist. Neben der Visualisierung werden auch einzelne Personen betreffende Daten ausgewertet.

Der zeitliche Ablauf der Evakuierung mit der Bildung und Auflösung von Staus ist anhand der Bilder im Anhang zu erkennen.

Staus werden besonders deutlich durch Dichteplots dargestellt, die eine Zusammenfassung des gesamten Evakuierungsablaufs wiedergeben. Um das Ergebnis richtig deuten zu können, ist es entscheidend, die Hintergründe der Berechnung zu verstehen: Wegen des diskreten Gitters bietet es sich an, die Personendichte für eine Zelle über sie und ihre Nachbarzellen zu bestimmen (gemäß Abb. 3). Hieraus ergibt sich ein Wert mit der Einheit: Personen pro Quadratmeter.

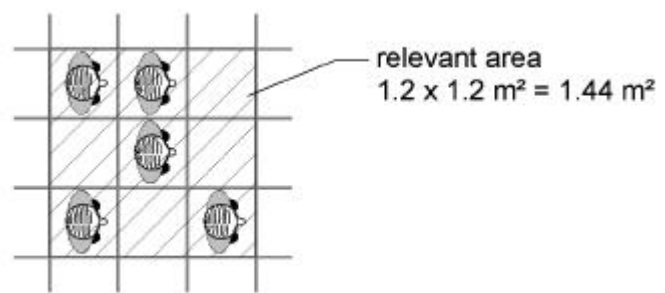


Abb. 3: Beispiel zur Verdeutlichung der Dichteberechnung im zellularen Gitter. In diesem Beispiel beträgt die Dichte etwa $3,5 \text{ P/m}^2$.

Um wirklich signifikante Staus hervorzuheben wird deshalb wie folgt vorgegangen: Ein signifikanter Stau tritt auf, wenn die Personendichte 3 P/m^2 oder höher ist. Nach jedem Zeitschritt in der Simulation wird deshalb für alle Zellen die Dichte berechnet. Ist sie gleich oder größer als der o.g. Schwellenwert, so wird der Zähler der jeweiligen Zelle um eins erhöht. Am Ende der Evakuierung kann somit bestimmt werden, wie häufig der Schwellenwert pro Zelle überschritten wurde. Dieser Wert wird anhand des grün-roten Farbverlaufs angezeigt.

6.1 Fall 1.1 (Reaktionsdauer 0-60 s)

6.1.1 Mittelwertrechnung (500 Durchläufe)

Nach 500 Simulationsdurchläufen ergeben sich die folgenden Zeiten:

Mittelwert [min:s]:	5:07
Standardabweichung [min:s]:	0:05
Minimum [min:s]:	4:52
Maximum [min:s]:	5:26
95% < [min:s]:	5:16

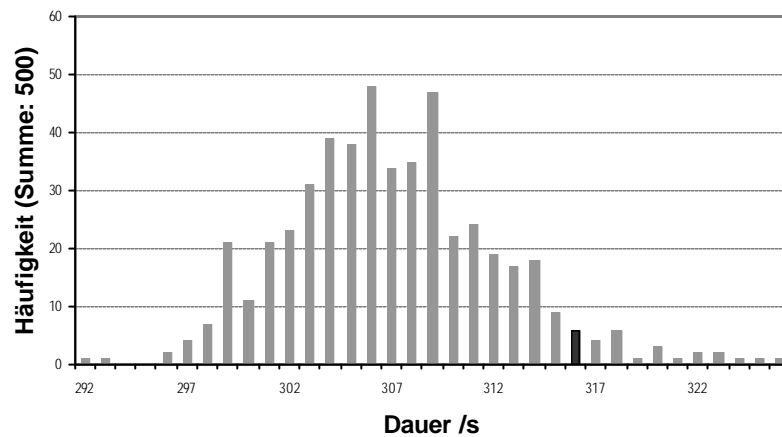


Abb. 4: Die Verteilung der ermittelten Evakuierungsdauern. Die Zeit, die größer oder gleich 95% der ermittelten Fälle ist, wurde schwarz markiert und gilt als signifikant.

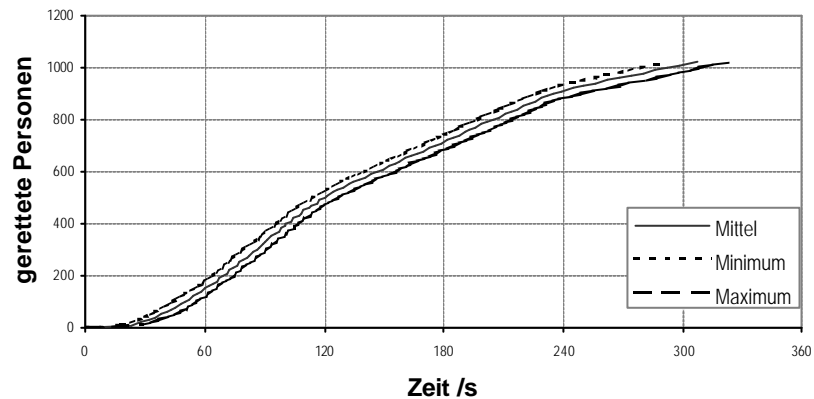


Abb. 5: Die Evakuierungskurven geben an, wie viele Personen zu welcher Zeit gerettet wurden.

6.1.2 Einzelwertrechnung

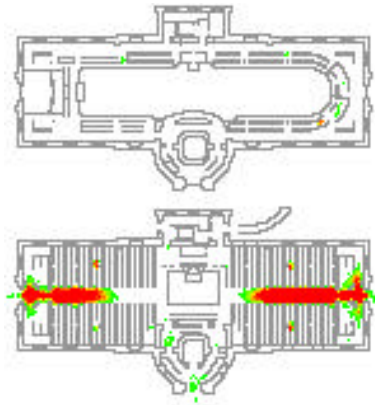


Abb. 6: Dichteplot. Auf allen rot dargestellten Feldern traten signifikante Staus auf.

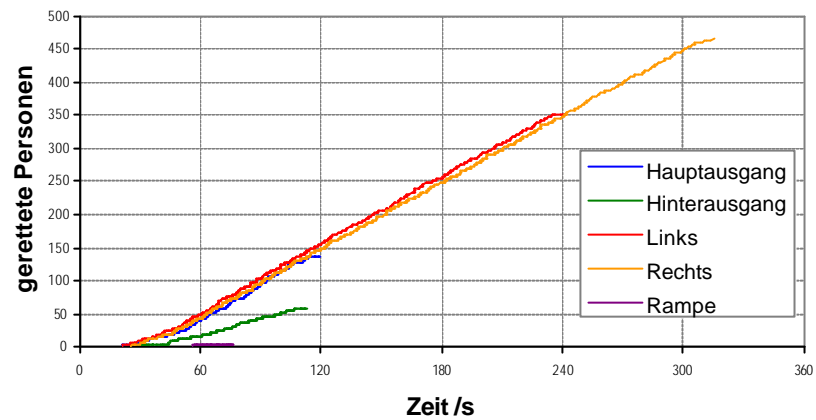


Abb. 7: Die Evakuierungskurven der Ausgänge.

6.2 Fall 1.2 (Reaktionsdauer 0-10 s)

6.2.1 Mittelwertrechnung (500 Durchläufe)

Nach 500 Simulationsdurchläufen ergeben sich die folgenden Zeiten:

Mittelwert [min:s]:	4:55
Standardabweichung [min:s]:	0:05
Minimum [min:s]:	4:43
Maximum [min:s]:	5:10
95% < [min:s]:	5:03

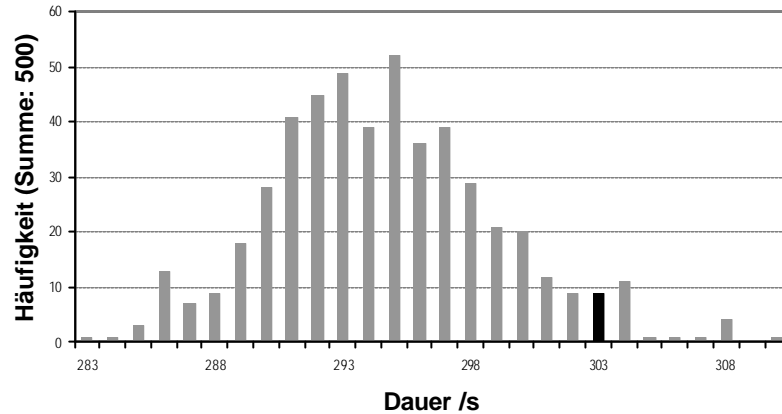


Abb. 8: Die Verteilung der ermittelten Evakuierungsdauern. Die Zeit, die größer oder gleich 95% der ermittelten Fälle ist, wurde schwarz markiert und gilt als signifikant.

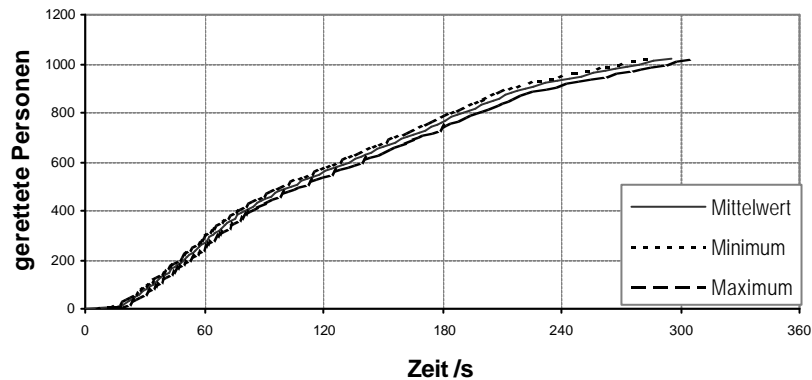


Abb. 9: Die Evakuierungskurven geben an, wie viele Personen zu welcher Zeit gerettet wurden.

6.2.2 Einzelwertrechnung

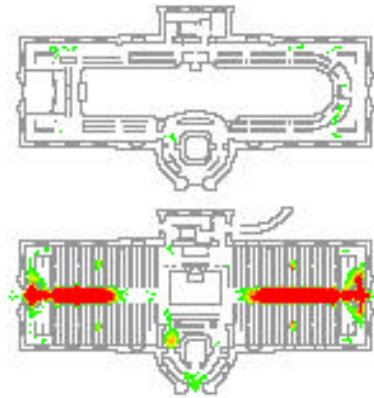


Abb. 10: Dichteplot. Auf allen rot dargestellten Feldern traten signifikante Staus auf.

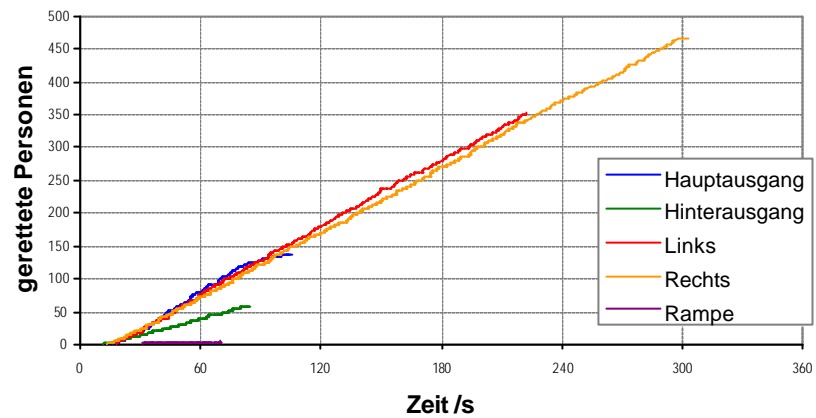


Abb. 11: Die Evakuierungskurven der Ausgänge.

6.3 Fall 1.3 (Reaktionsdauer 0-120 s)

6.3.1 Mittelwertrechnung (500 Durchläufe)

Nach 500 Simulationsdurchläufen ergeben sich die folgenden Zeiten:

Mittelwert [min:s]:	5:27
Standardabweichung [min:s]:	0:06
Minimum [min:s]:	5:08
Maximum [min:s]:	5:48
95% < [min:s]:	5:38

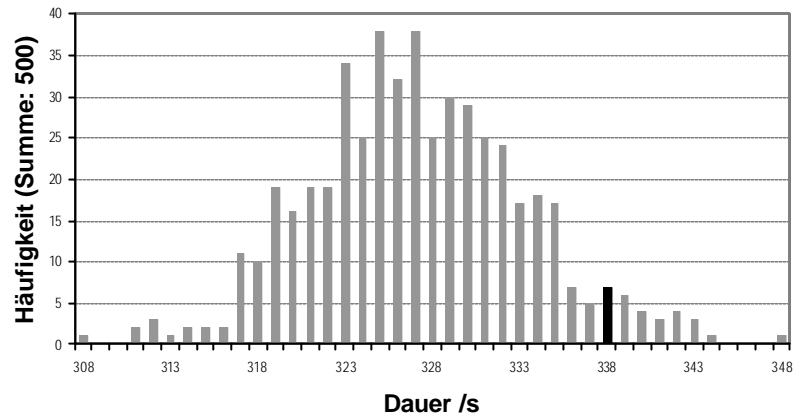


Abb. 12: Die Verteilung der ermittelten Evakuierungsdauern. Die Zeit, die größer oder gleich 95% der ermittelten Fälle ist, wurde schwarz markiert und gilt als signifikant.

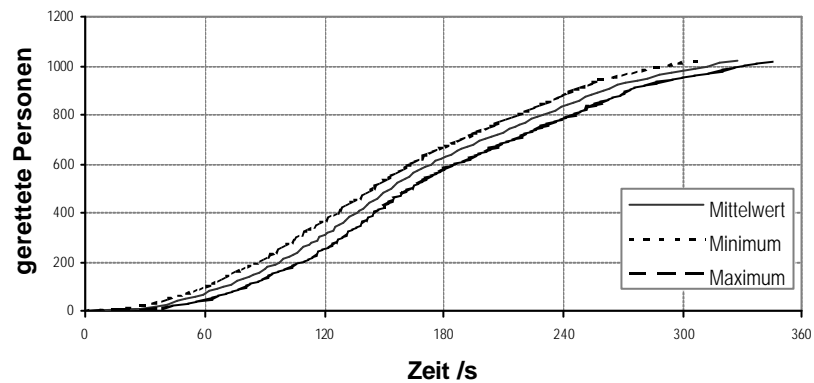


Abb. 13: Die Evakuierungskurven geben an, wie viele Personen zu welcher Zeit gerettet wurden.

6.3.2 Einzelwertrechnung

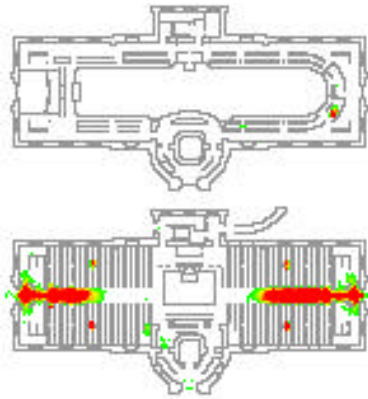


Abb. 14: Dichteplot. Auf allen rot dargestellten Feldern traten signifikante Staus auf.

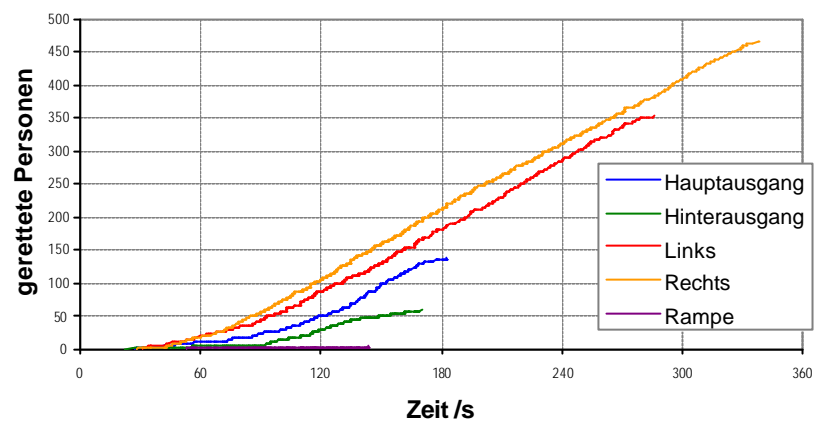


Abb. 15: Die Evakuierungskurven der Ausgänge.

6.4 Fall 2 (außen)

6.4.1 Mittelwertrechnung (500 Durchläufe)

Nach 500 Simulationsdurchläufen ergeben sich die folgenden Zeiten:

Mittelwert [min:s]:	5:35
Standardabweichung [min:s]:	0:07
Minimum [min:s]:	5:21
Maximum [min:s]:	7:16
95% < [min:s]:	5:42

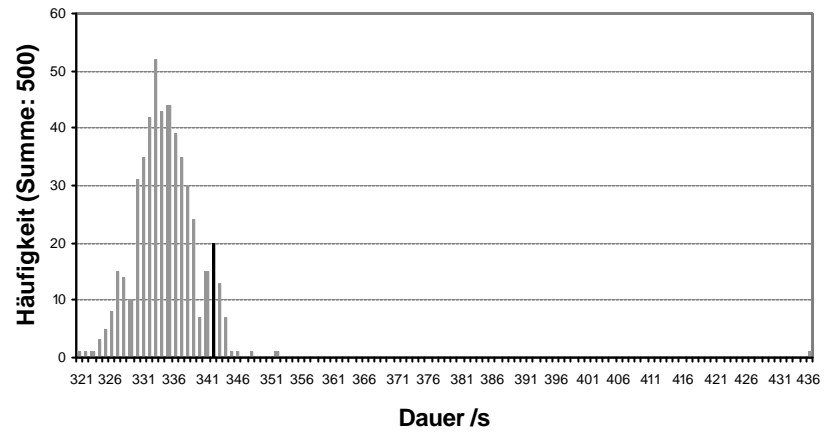


Abb. 16: Die Verteilung der ermittelten Evakuierungsdauern. Die Zeit, die größer oder gleich 95% der ermittelten Fälle ist, wurde schwarz markiert und gilt als signifikant.

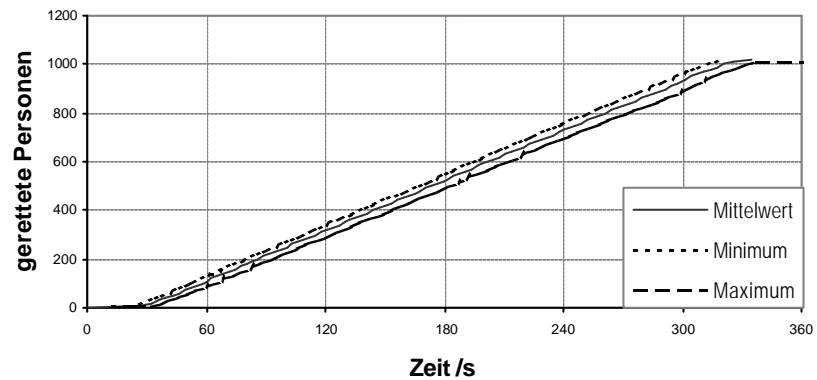


Abb. 17: Die Evakuierungskurven geben an, wie viele Personen zu welcher Zeit gerettet wurden.

6.4.2 Einzelwertrechnung

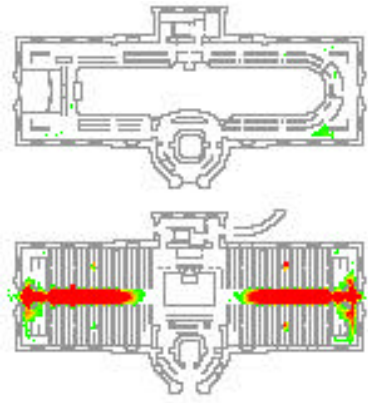


Abb. 18: Dichteplot. Auf allen rot dargestellten Feldern traten signifikante Staus auf.

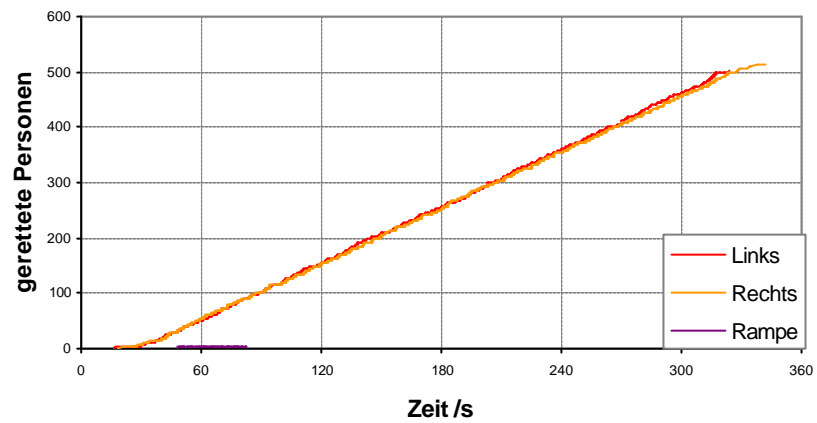


Abb. 19: Die Evakuierungskurven der Ausgänge.

6.5 Fall 3 (innen)

6.5.1 Mittelwertrechnung (500 Durchläufe)

Nach 500 Simulationsdurchläufen ergeben sich die folgenden Zeiten:

Mittelwert [min:s]:	5:09
Standardabweichung [min:s]:	0:06
Minimum [min:s]:	4:54
Maximum [min:s]:	5:29
95% < [min:s]:	5:21

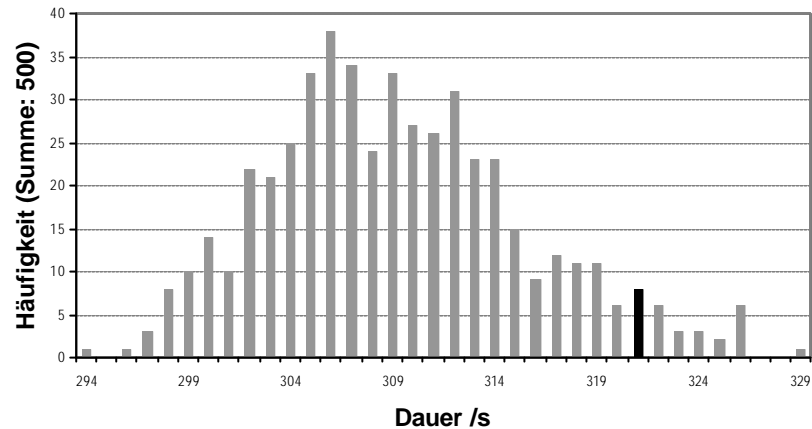


Abb. 20: Die Verteilung der ermittelten Evakuierungsdauern. Die Zeit, die größer oder gleich 95% der ermittelten Fälle ist, wurde schwarz markiert und gilt als signifikant.

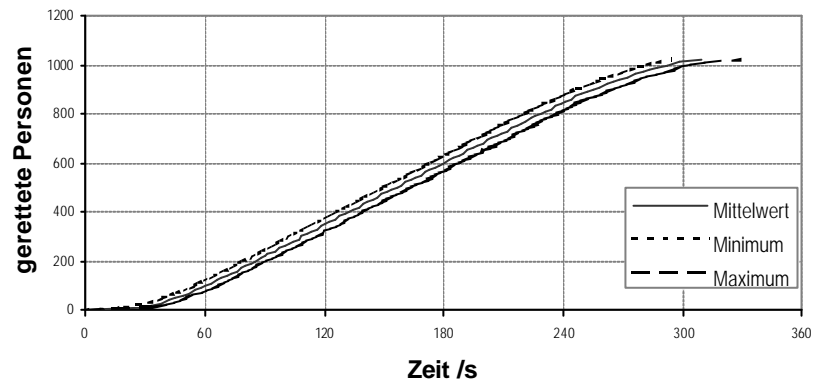


Abb. 21: Die Evakuierungskurven geben an, wie viele Personen zu welcher Zeit gerettet wurden.

6.5.2 Einzelwertrechnung

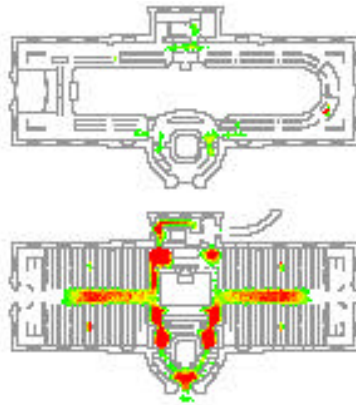


Abb. 22: Dichteplot. Auf allen rot dargestellten Feldern traten signifikante Staus auf.

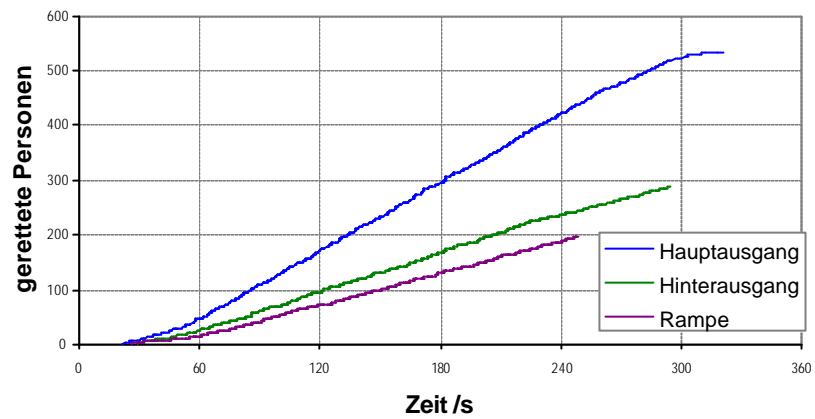


Abb. 23: Die Evakuierungskurven der Ausgänge.

6.6 Fall 4 (Hauptausgang)

6.6.1 Mittelwertrechnung (500 Durchläufe)

Nach 500 Simulationsdurchläufen ergeben sich die folgenden Zeiten:

Mittelwert [min:s]:	9:20
Standardabweichung [min:s]:	0:08
Minimum [min:s]:	9:01
Maximum [min:s]:	9:44
95% < [min:s]:	9:33

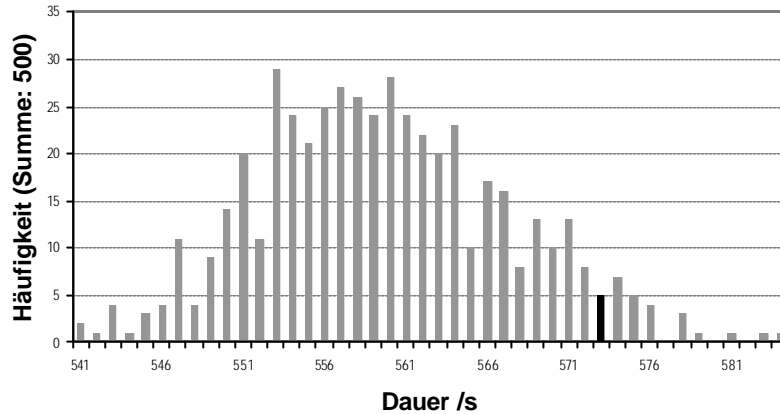


Abb. 24: Die Verteilung der ermittelten Evakuierungsdauern. Die Zeit, die größer oder gleich 95% der ermittelten Fälle ist, wurde schwarz markiert und gilt als signifikant.

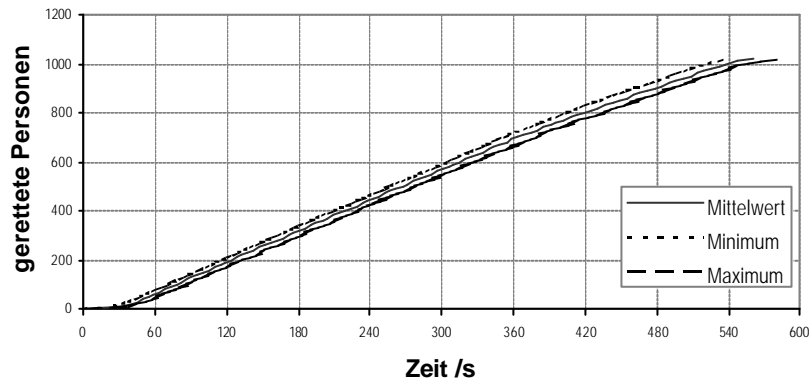


Abb. 25: Die Evakuierungskurven geben an, wie viele Personen zu welcher Zeit gerettet wurden.

6.6.2 Einzelwertrechnung

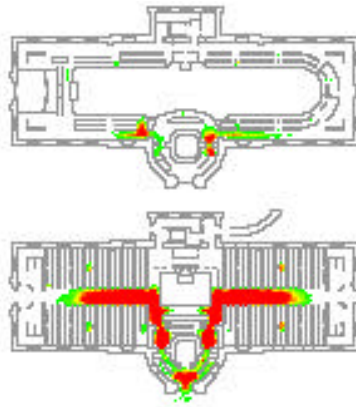


Abb. 26: Dichteplot. Auf allen rot dargestellten Feldern traten signifikante Staus auf.

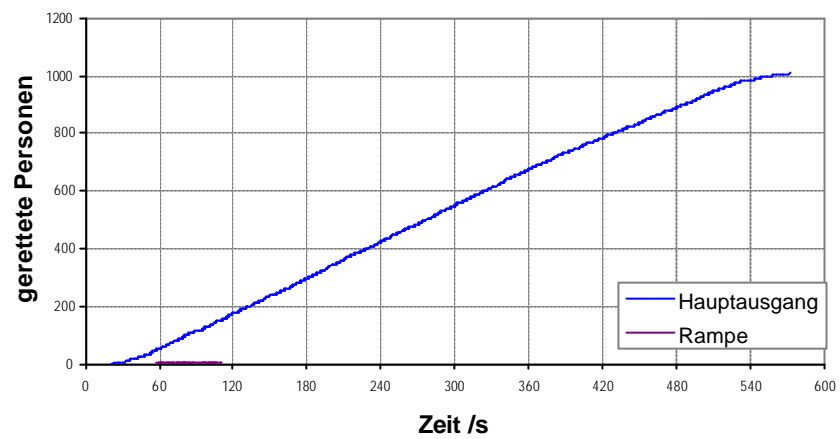


Abb. 27: Die Evakuierungskurven der Ausgänge.

7 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass Fall 4 die größte Evakuierungsdauer hervorruft. In allen Fällen treten jedoch vor den jeweiligen Ausgängen und im Mittelgang des Erdgeschosses signifikante Staus auf.

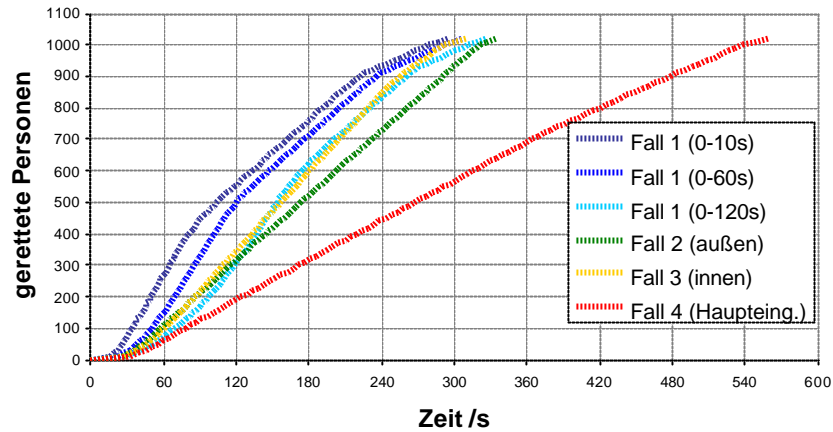


Abb. 28: Die Verläufe der mittleren Evakuierungskurve aller Fälle im Vergleich.

Beim Vergleich der Evakuierungskurven (Abb. 28) fällt auf, dass sich die Ergebnisse aller Varianten von Fall 1 sowie Fall 2 und 3 stark ähneln. Lediglich Fall 4 weicht stark davon ab und ist somit als *Worst Case* zu betrachten.

8 Weitere Informationen

- [1] Homepage des BYPASS Vorhabens: <http://www.traffic.uni-duisburg.de/bypass>
- [2] Dirk Helbing, *Verkehrsdynamik, Neue physikalische Modellierungskonzepte*, Springer Verlag 1996
- [3] Transportation Research Board: Highway Capacity Manual, *Chpt. 13 Pedestrians*
- [4] Tim Meyer-König, Hubert Klüpfel, Michael Schreckenberg, *Assessment and Analysis of Evacuation Processes on Passenger Ships by Microscopic Simulation*, Pedestrian and Evacuation Dynamics, Springer Verlag