

Technische Universität Braunschweig  
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz  
Prof. Dr.-Ing. D. Hosser



**Berechnung von Evakuierungszeiten bei Sonderbauten  
mit dem Programm**

**buildingExodus**

von  
Markus Ehm  
Jan Linxweiler

Braunschweig August 2004

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Gesetze und Vorgaben .....</b>	<b>8</b>
2.1	Das Projekt Goya .....	8
2.2	Grundlagen des Brandschutzes .....	9
2.3	Die Musterversammlungsstättenverordnung – (MVStättV) .....	11
2.3.1	Besucherzahlen (§1) .....	11
2.3.2	Rettungswege (§6).....	12
2.3.3	Bemessung der Rettungswege (§7) .....	12
2.3.4	Treppen (§8).....	13
2.3.5	Türen (§9).....	13
2.3.6	Bestuhlung (§10) .....	14
2.3.7	Sicherheitsbeleuchtung (§15).....	14
2.3.8	Rauchableitung (§16) .....	14
2.3.9	Feuerlöscheinrichtungen und –anlagen (§19) .....	14
2.3.10	Brandmelde- und Alarmierungsanlagen (§20).....	15
2.4	Bezug zum Projekt Goya.....	15
<b>3</b>	<b>Grundlagen von Evakuierungsberechnungen .....</b>	<b>16</b>
3.1	Faktor Mensch.....	16
3.1.1	Verhalten von Personen im Brandfall .....	17
3.1.2	Panikreaktion.....	19
3.2	Verfahren zur Ermittlung von Evakuierungszeiten.....	20
3.2.1	Vereinfachte Verfahren .....	20
3.2.2	Ingenieurmäßige Berechnungsverfahren.....	21
<b>4</b>	<b>Entfluchtungssimulation mit dem Programm buildingExodus .....</b>	<b>25</b>
4.1	Einführung in die Simulationssoftware.....	25
4.2	Programmablauf (Schritt für Schritt) .....	26
4.2.1	Vorbereitung der CAD-Zeichnung.....	26
4.2.2	Erstellen der Geometrien (Geometry Mode).....	28
4.2.3	Population Mode .....	33
4.2.4	Simulation Mode .....	38
4.2.5	Scenario Mode.....	43
4.2.6	Ausgabe der Ergebnisse .....	45
4.3	Parameterstudie .....	49
4.3.1	Variationen der Simulationsbevölkerung.....	49
4.3.2	Einflüsse unterschiedlicher Parameter der Gebäudeausgänge .....	52
4.3.3	Floor Potential → local Potential .....	52
4.3.4	Wichtige Parameter der Verhaltensoptionen (Behaviour Options).....	58
4.3.5	Veränderung der Knotenabstände .....	60
<b>5</b>	<b>Evakuierungsberechnungen nach Predtetschenski.....</b>	<b>62</b>
5.1	Grundlagen des Berechnungsverfahrens.....	62
5.1.1	Bewegungsarten .....	62

5.1.2	Bewegungsgeschwindigkeit .....	63
5.1.3	Flächenbedarf pro Person .....	63
5.1.4	Struktur des Personenstromes .....	64
5.1.5	Dichte des Personenstromes .....	65
5.1.6	Durchlassfähigkeit und Bewegungsintensität von Personenströmen .....	65
5.1.7	Grenzen aufeinander folgender Wegabschnitte .....	68
5.1.8	Bildung von Personenstauungen .....	69
5.1.9	Geneigte Wegabschnitte .....	70
5.2	Validierungsrechnung fiktiver Geometrien .....	71
5.2.1	Aufbau und Beschreibung der Geometrie .....	71
5.2.2	Simulation mit buildingExodus .....	72
5.2.3	Handrechnung nach Predtetschenski .....	74
5.2.4	Gegenüberstellung der Ergebnisse .....	77
5.3	Validierungsrechnung ausgewählter Teilabschnitte des Goya-Projektes .....	78
5.3.1	Simulation mit buildingExodus .....	78
5.3.2	Vergleichende Handrechnung .....	80
5.3.3	Ergebnisvergleich zwischen Simulation und Handrechnung .....	83
<b>6</b>	<b>Simulationsergebnisse für den Goya Club .....</b>	<b>84</b>
6.1	Entfluchtung des bestehenden Gebäudes unter definierten Randbedingungen .....	84
6.2	Nutzung des ersten Stockwerkes als Tanzfläche oder Gastronomiebereich .....	87
6.3	Veränderungen bei eingeschränkter Nutzung von Ausgängen .....	89
6.4	Evakuierungsergebnisse unter Berücksichtigung baulicher Änderungen .....	90
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit .....</b>	<b>92</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>94</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>96</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1	Struktur des Brandschutzes im Bauwesen nach [1] .....	9
Abbildung 2.2	Zusammenhänge zwischen bauaufsichtlichen Brandschutz- .....	10
Abbildung 4.1	Internal- und External Exits im Erdgeschoss .....	30
Abbildung 4.2	Verknüpfung des Treppenhauses A mit den benachbarten Geschossen .....	32
Abbildung 4.3	Population Editor .....	34
Abbildung 4.4	Gruppenspezifische Variablen .....	35
Abbildung 4.5	Geschwindigkeiten für verschiedene Arten der Fortbewegung .....	36
Abbildung 4.6	Dialogfenster über Verhalten und Kenntnisstand der Population .....	41
Abbildung 4.7	Zonen Editor im Scenario Mode .....	44
Abbildung 4.8	Hazard Editor .....	44
Abbildung 4.9	Szenario Editor .....	45
Abbildung 4.10	Sim. Clock und Zähler im Simulation Mode .....	46
Abbildung 4.11	"Exit Lists" für eine Simulation mit sechs Ausgängen .....	46
Abbildung 4.12	Ausschnitt aus der Output Liste .....	47
Abbildung 4.13	Aufsummierende Darstellung mehrerer Diagramme .....	48
Abbildung 4.14	Darstellung in Form von Zeitschritten .....	48
Abbildung 4.15	Darstellung eines vereinfachten Gebäudes mit zwei Etagen .....	53
Abbildung 4.16	Potentialfeld bei der Wahl der Funktion "local potential" .....	54
Abbildung 4.17	Potentialfeld nach der Methode "floor potential" .....	54
Abbildung 4.18	Verteilung der Population bei Simulation mit "local Potential" .....	55
Abbildung 4.19	Potentialfeld des dritten Stockwerks bei "local Potential" .....	56
Abbildung 4.20	Verteilung der Population nach ca. 35 Sekunden bei "floor Potential" .....	57
Abbildung 4.21	Potentialfeld nach der Methode "floor potential" .....	58
Abbildung 4.22	Diskretisierung einer Gebäudegeometrie .....	61
Abbildung 5.1	Struktur des Personenstromes .....	64
Abbildung 5.2	Bewegungsintensität in Abhängigkeit der Dichte .....	67
Abbildung 5.3	Grenzen von Wegabschnitten verschiedener Breite (Wegverbreiterung) .....	68
Abbildung 5.4	Grenzen von Wegabschnitten verschiedener Breite (Wegverengung) .....	69
Abbildung 5.5	Geometrie vor Beginn der Simulation .....	72
Abbildung 5.6	Stauungen, die sich während der Simulation ergeben .....	73
Abbildung 5.7	Knotenverteilung und Simulationsergebnisse .....	74
Abbildung 5.8	Szenario zur Validierung mit Handrechnung .....	79
Abbildung 5.9	Fluchtweg einer Person aus dem 3.OG bis zum Ausgang "Treppenhaus B".	79
Abbildung 6.1	Graphische Darstellung der Entfluchtung .....	86
Abbildung 6.2	Die ersten Etage mit Stühlen und Tischen .....	87
Abbildung 6.3	Stauungen im Bereich der Sitzplätze .....	88
Abbildung 6.4	Hindernisse im Fluchtweg .....	89
Abbildung 6.5	Zusätzlicher Ausgang .....	91

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Entfluchtungszeiten bei unterschiedlichen Bevölkerungszusammensetzungen ....	50
Tabelle 2	Entfluchtungszeiten bei Variation verschiedener Parameter .....	51
Tabelle 3	Flächenbedarf unterschiedlicher Personen [3] .....	63
Tabelle 4	Flächenbedarf mit unterschiedlichem Gepäck .....	64
Tabelle 5	Maximale Bewegungsintensität [3].....	68
Tabelle 6	Bewegungsintensität $q$ bei maximaler Dichte $D_{\max} = 0,92$ .....	68
Tabelle 7	Entfluchtungszeiten aus Simulation und nach Predtetschenski .....	78
Tabelle 8	Vergleich der Entfluchtungszeiten am Beispiel ausgewählter Teilabschnitte .....	83
Tabelle 9	Entfluchtungszeiten für den Goya Club .....	86
Tabelle 10	Entfluchtungszeiten für Tanz- oder Dinnerfläche .....	88
Tabelle 11	Entfluchtungszeiten bei Hindernissen oder verschlossenen Ausgängen.....	90
Tabelle 12	Entfluchtungszeiten mit und ohne bauliche Änderungen .....	91

## **Danksagung**

Unser Dank gilt in erster Linie Herrn Dr.-Ing. Michael Dehne und Herrn Dipl.-Ing. Christoph Klinzmann für ihre engagierte und kompetente Betreuung dieser Arbeit. Weiterhin danken wir Herrn Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser, der uns dieses interessante Thema anvertraut hat. Darüber hinaus danken wir ganz herzlich allen, die uns bei der Bearbeitung auf unterschiedlichste Art unterstützt haben.

# 1 Einleitung

*Brandkatastrophen, bei denen Menschen zu Schaden oder gar ums Leben kommen, gehören zu immer wiederkehrenden Meldungen in den Medien. Die anschließende Frage, ob ein derartiges Unglück hätte vermieden können, betrifft in erster Linie die getroffenen Vorkehrungen zur Gewährleistung der Sicherheit des Gebäudes und zum Ablauf von Evakuierungsmaßnahmen.*

Der Personenschutz ist das oberste Gebot des Brandschutzes. Die Sicherheit der Personen steht besonders bei Sonderbauten wie Verkaufs- oder Versammlungsstätten im Vordergrund, da hier mit großen Menschenansammlungen zu rechnen ist. Grundsätzlich hat die Selbstrettung bei großen Personenzahlen einen besonderen Stellenwert, weshalb der Planung und Dimensionierung von Flucht- und Rettungswege erhöhte Bedeutung zukommt.

Ausgehend von einem statischen Modell stellen die Richtlinien und Vorschriften in Deutschland in Abhängigkeit der Grundfläche bzw. Personenzahl Anforderungen an die Zahl und Breite der notwendigen Ausgänge sowie an die Länge der Rettungswege. Die deskriptiven Bemessungsansätze erlauben allerdings keinerlei Abschätzung der Evakuierungszeiten. In bestimmten Fällen ist es jedoch sinnvoll, das bauordnungsrechtliche Bemessungskonzept durch eine zusätzliche Evakuierungsberechnung zu ergänzen. Zur Berechnung der Entfluchtungszeiten können verschiedene ingenieurmäßige Verfahren herangezogen werden. Der Prozess einer Evakuierung ist dabei von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, die von den jeweiligen Berechnungsverfahren unterschiedlich berücksichtigt werden.

Am Beispiel des geplanten Goya Hauptstadtclubs wird in dieser Arbeit die Berechnung der Evakuierungszeit mittels des Programms buildingExodus diskutiert. Es wird der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Berechnungsergebnisse untersucht. Anschließend werden die erzielten Ergebnisse anderen Berechnungsverfahren gegenübergestellt.

## **2 Gesetze und Vorgaben**

### **2.1 Das Projekt Goya**

Der Goya Hauptstadtclub soll aus einer Umbaumaßnahme des Metropol am Nelldorfplatz in Berlin hervorgehen. Auf einer Fläche von mehr als 2000 m<sup>2</sup> soll das Gebäude bis zu 1500 Menschen sowohl als Restaurant als auch als Club zum Tanzen dienen. Im Wesentlichen besteht das Gebäude aus einem kompakten Raum mit einer Deckenhöhe von 16 m und zwei Balkonetagen. Der Club Goya soll im Folgenden als Referenzgebäude dieser Arbeit dienen. Zu diesem Zweck wurden vom Bauträger alle notwendigen Grundrisse zur Verfügung gestellt.

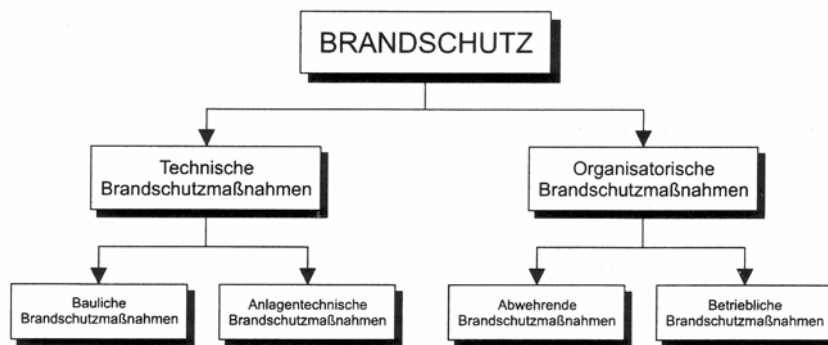
Das Gebäude erstreckt sich über vier Etagen, die über vier Treppenräume und zwei weitere Treppen in der Mitte des Gebäudes erreichbar sind. Ein Raumabschluss der einzelnen Geschosse ist nicht gegeben, da sich die zweite und dritte Etage in einer Art Atrium im mittleren Bereich eröffnen und somit der Raum des ersten Geschosses über die gesamte Gebäudehöhe ausgedehnt wird. Das Gebäude besitzt an der Vorderseite zwei Ein- bzw. Ausgänge. Die jeweiligen Treppenhäuser sind im Erdgeschoss zusätzlich mit einem Notausgang versehen.



### 2.2 Grundlagen des Brandschutzes

Unter dem Begriff „Brandschutz“ versteht man die Summe von Maßnahmen zur Vermeidung von Bränden und zur Minimierung von Brandschäden.

Die Brandschutzmaßnahmen können unterteilt werden in technische sowie organisatorische Maßnahmen. Die technischen Brandschutzmaßnahmen sehen sowohl bauliche als auch anlagentechnische Maßnahmen vor, wohingegen der organisatorische Brandschutz in abwehrenden und betrieblichen Brandschutz unterteilt wird. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 2.1 dargestellt.

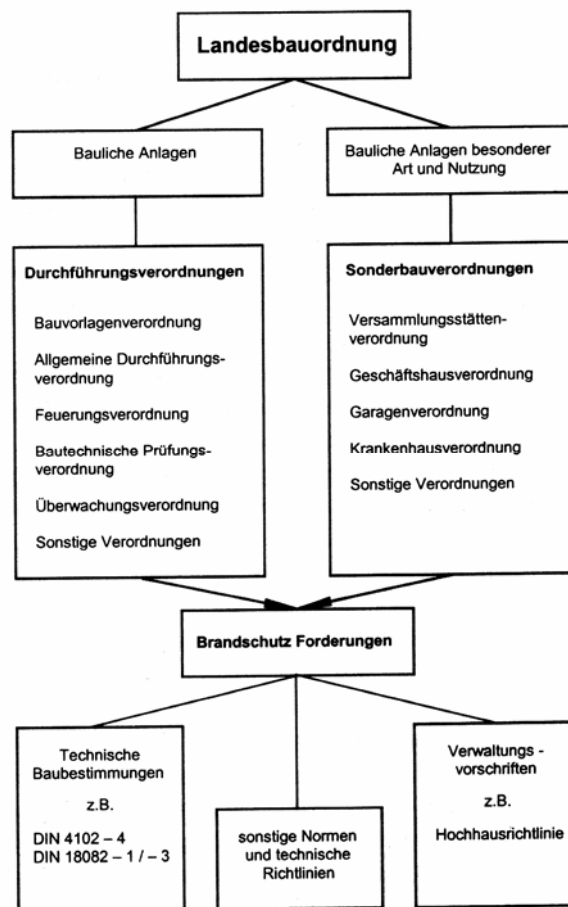


**Abbildung 2.1 Struktur des Brandschutzes im Bauwesen nach [1]**

Im Vordergrund stehen der bauliche und abwehrende Brandschutz, wobei von Seiten der Gesetzgebung i. A. dem baulichen Brandschutz Vorrang eingeräumt wird.

Das wichtigste Ziel des Brandschutzes ist der Personenschutz; d.h. der Schutz von Leben und Gesundheit ist für den Brandschutz von besonderer Bedeutung. Als weitere Schutzziele wären der Sachwertschutz sowie der Schutz der Umwelt zu nennen.

Um den Personenschutz und evtl. auch den Sachschutz sicherzustellen, sind seitens des Gesetzgebers Anforderungen an den Brandschutz gestellt. Diese sind in Form von Gesetzen (Bauordnungen) und den dazugehörigen Verordnungen sowie in den technischen Baubestimmungen und Verwaltungsvorschriften formuliert. Die jeweiligen Zusammenhänge sind in Abbildung 2.2 dargestellt.



**Abbildung 2.2 Zusammenhänge zwischen bauaufsichtlichen Brandschutzvorschriften, Normen und technischen Richtlinien nach [2]**

Die wichtigste Vorschrift ist die jeweilige Landesbauordnung, deren Grundlage die Musterbauordnung (MBO) darstellt. Beispielsweise sagt §3 der MBO Folgendes aus:

*Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben und Gesundheit und die natürliche Lebensgrundlage, nicht gefährdet werden. [12]*

Durch die gesetzlichen Anforderungen an den Brandschutz wird das Risiko eines Einzelnen, Opfer eines Brandereignisses zu werden, auf  $10^{-5}$  begrenzt. Für das Auftreten von Ereignissen mit mehreren Opfern wird ein nochmals höheres Sicherheitsniveau verlangt. Dieses wird mit  $10^{-6}$  angesetzt. Gleichwohl ist die Wahrscheinlichkeit eines Einzelnen bei einem Brand das Leben zu verlieren im Vergleich zu anderen Gefahren relativ gering.

Um die allgemeinen Anforderungen der Bauordnung zu erfüllen ermächtigt die Bauordnung die obersten Baubehörden zum Erlass von Durchführungsverordnungen. Des Weiteren ist der Inhalt der Bauordnungen zum größten Teil auf Wohngebäude ausgerichtet. Diese Anforderungen lassen sich allerdings nicht auf alle Bauwerke übertragen. Die MBO definiert daher in §2 die so genannten „Sonderbauten“, für die gesonderte Verordnungen existieren.

### **2.3 Die Musterversammlungsstättenverordnung – (MVStättV)**

Zu den oben genannten Sonderbauten zählen unter anderem Versammlungsstätten. Für den Bau und den Betrieb von Versammlungsstätten werden in der Musterversammlungsstättenverordnung zusätzliche Vorschriften definiert. Oberstes Schutzziel bei Sonderbauten für große Menschenansammlungen ist zweifelsohne der Personenschutz; die Bedeutung von Maßnahmen, welche dem Sach- oder Umweltschutz dienen, tritt demgegenüber zurück. Der Personenschutz ist deshalb so bedeutsam, weil es darum geht, neben der Flucht und Rettung sowie einer schnellen Erstbekämpfung des Brandes, der Entstehung einer Panik vorzubeugen. Aufgrund der großen Personenzahl ist grundsätzlich besonders die Selbstrettung sicherzustellen. Im Folgenden werden Aspekte der MVStättV herausgestellt, die für die Selbstrettung bzw. Evakuierung von besonderer Bedeutung sind. Hierbei wird insbesondere auf Details eingegangen, die in direktem Bezug zu dem Projekt Goya stehen. [11], [15], [16]

#### **2.3.1 Besucherzahlen (§1)**

Als Versammlungsstätten gelten laut MVStättV Versammlungsräume, die mehr als 200 Besucher fassen, Versammlungsstätten im Freien, deren Besucherbereich mehr als 1.000 Besucher fasst und Sportstadien, die für mehr als 5.000 Besucher vorgesehen sind.

Die Zahl der Besucher ist dabei wie folgt zu bemessen:

- für Sitzplätze an Tischen: 1 Besucher je m<sup>2</sup> Grundfläche
- für Sitzplätze in Reihen und für Stehplätze: 2 Besucher je m<sup>2</sup> Grundfläche
- für Stehplätze auf Stufenreihen: 2 Besucher je m<sup>2</sup> Grundfläche

### 2.3.2 Rettungswege (§6)

Laut MVStättV müssen alle Rettungswege ins Freie zu öffentlichen Verkehrsflächen führen. Zu diesen Rettungswegen zählen insbesondere die freizuhaltenden Gänge und Stufengänge, Ausgänge, Flure, notwendige Treppen, Balkone, Dachterrassen und Außentreppen. Jedes Geschoss/jede Tribüne muss mindestens zwei voneinander unabhängige bauliche Rettungswege haben. Einer dieser Rettungswege darf dabei durch Foyers oder Hallen geführt werden. Für Geschosse mit mehr als 800 Besuchern sind die Rettungswege nur diesen zuzuordnen. Weiterhin müssen Versammlungsräume mit einer Grundfläche von mehr als 100m<sup>2</sup> jeweils zwei möglichst weit auseinander liegende Ausgänge zu Rettungswegen haben. Alle Ausgänge und Rettungswege müssen durch entsprechende Sichtzeichen dauerhaft und gut sichtbar gekennzeichnet sein.

### 2.3.3 Bemessung der Rettungswege (§7)

Die Musterversammlungsstättenverordnung gibt vor, dass die Entfernung eines Besucherplatzes zum nächsten Ausgang bei einer lichten Raumhöhe von bis 5 m nicht mehr als 30 m betragen darf. Wenn die lichte Höhe mehr als 5 m beträgt, so darf die Rettungsweglänge je 2,5 m zusätzlicher Höhe um 5 m verlängert werden. Allerdings darf dabei eine maximale Länge von 60 m nicht überschritten werden.

Die Breite der Rettungswege ist nach der größtmöglichen Personenzahl zu bemessen. Die lichte Mindestbreite der Rettungswege beträgt 1,20 m. Hier wird unterstellt, dass für eine Person eine Durchgangsbreite von 0,60 m erforderlich ist. Aus der Forderung, dass jeweils

zwei Personen ohne gegenseitige Behinderung einen Rettungsweg nutzen können, resultiert die erforderliche Mindestbreite von 1,20 m. Es wird davon ausgegangen, dass für das Verlassen eines Raumes durch einen 0,60 m breiten Ausgang 50 Personen ca. 1 Minute benötigen. Aus einer geforderten Entleerungszeit von 6 Minuten für Tribünen im Freien und 2 Minuten im Innenraum folgt: Die lichte Breite für Rettungswege im Freien für 600 darauf angewiesene Personen muss mindestens 1,20 m betragen. Übertragen gilt für alle anderen Versammlungsstätten (Innenraum), dass lediglich 200 Personen auf einen Rettungsweg der lichten Breite 1,20 m angewiesen sein dürfen. Die Rettungswegbreite darf in beiden Fällen in Schritten von 0,60 m gestaffelt werden.

### **2.3.4 Treppen (§8)**

Für Treppen darf eine lichte Breite von 2,40 m nicht überschritten werden. Schachteltreppen sind laut MVStättV zulässig. Folglich ist die Führung jeweils unterschiedlichen Geschossen zugeordneter Treppen in einem gemeinsamen Treppenhaus gestattet. Jedoch sind Wendeltreppen als notwendige Treppen für Besucher unzulässig.

### **2.3.5 Türen (§9)**

Türen in Rettungswegen müssen in Fluchtrichtung aufschlagen und dürfen keine Schwellen haben. Während des Aufenthaltes von Personen in der Versammlungsstätte müssen die Türen der Rettungswege zu jeder Zeit von innen geöffnet werden können. Türen, die selbstschließend sein müssen, dürfen offen gehalten werden, wenn sie Einrichtungen besitzen, die ein selbsttätiges Schließen der Türen bei Raucheinwirkung bewirken. Mechanische Vorrichtungen zur Vereinzelung der Besucher, wie Drehtüren, sind in Rettungswegen unzulässig, solange diese im Gefahrenfall nicht von innen in voller Breite geöffnet werden können.

### **2.3.6 Bestuhlung (§10)**

Von jedem Tischplatz darf der Weg zu einem Gang nicht länger als 10 m sein. Wobei der Abstand von Tisch zu Tisch 1,50 m nicht unterschreiten soll.

### **2.3.7 Sicherheitsbeleuchtung (§15)**

In Versammlungsstätten muss eine Sicherheitsbeleuchtung vorhanden sein, die so beschaffen ist, dass es u.a. Besuchern ermöglicht wird, auch bei einem Versagen der allgemeinen Beleuchtung sich innerhalb der Rettungswege zurechtzufinden.

### **2.3.8 Rauchableitung (§16)**

Versammlungsstätten mit mehr als 200 m<sup>2</sup> Grundfläche müssen Rauchabzugsanlagen haben. Diese müssen so bemessen sein, dass sie eine raucharme Schicht von mindestens 2,50 m ermöglichen. Für Versammlungsräume mit nicht mehr als 400 m<sup>2</sup> Grundfläche genügen Rauchableitungsöffnungen mit einer freien Öffnungsfläche von insgesamt 2 Prozent der Grundfläche, Fenster oder Türen mit einer freien Öffnungsfläche von insgesamt 2 Prozent der Grundfläche oder maschinelle Rauchabzugsanlagen mit einem Luftvolumenstrom von 36m<sup>3</sup>/h je Quadratmeter Grundfläche.

### **2.3.9 Feuerlöscheinrichtungen und –anlagen (§19)**

Versammlungsräume, notwendige Flure etc. sind mit geeigneten Feuerlöschern in ausreichender Zahl auszustatten. In Versammlungsstätten mit einer gesamten Grundfläche von mehr als 1.000 m<sup>2</sup> müssen Wandhydranten an geeigneten Stellen angebracht sein. Versammlungsstätten mit einer Grundfläche von mehr als 3.600 m<sup>2</sup> müssen, sofern die einzelnen Versammlungsräume nicht kleiner als 400 m<sup>2</sup> sind, sowie Foyers oder Hallen durch die Rettungswege führen, eine automatische Feuerlöschanlage haben.

### **2.3.10 Brandmelde- und Alarmierungsanlagen (§20)**

Versammlungsstätten mit mehr als 1.000 m<sup>2</sup> Grundfläche müssen Brandmeldeanlagen mit automatischen und nichtautomatischen Brandmeldern haben. Die Brandmeldungen müssen automatisch zur Leitstelle der Feuerwehr weitergeleitet werden. Zudem müssen solche Versammlungsstätten Alarmierungs- und Lautsprecheranlagen haben, mit denen im Gefahrenfall Besucher und Betriebsangehörige alarmiert und Anweisungen erteilt werden können.

## **2.4 Bezug zum Projekt Goya**

Nach dem Wunsch der Betreiber des Goya Hauptstadtclubs soll dieser bis zu 1.500 Besuchern Platz bieten. Die Anforderungen an die Bemessung der Rettungswege nach §1 MVStättV lassen allerdings lediglich eine maximale Besucherzahl von 1.300 Personen zu. Da die Anforderungen der MVStättV hier nicht erfüllt werden, soll das Einhalten der notwendigen Entfluchtungszeit durch zusätzliche Methoden (buildingExodus) bestätigt werden.

Die maximale Breite der Treppen nach §8 ist im Fall des Goya Hauptstadtclubs eingehalten. Zu beachten ist an dieser Stelle, dass die Wendeltreppe nicht als Rettungsweg für Besucher angesetzt werden darf. Die Drehtüren im Eingangsbereich des Clubs können allerdings infolge der Anforderungen aus §9 in voller Breite dem Rettungsweg angerechnet werden.

### 3 Grundlagen von Evakuierungsberechnungen

Es ist bereits mehrfach erwähnt worden, dass die Gewährleistung der Personensicherheit das oberste Gebot des Brandschutzes ist. Ein wesentlicher Gesichtspunkt für den Personenschutz im Brandfall, insbesondere bei Versammlungsstätten, ist die Sicherstellung der zeitgerechten Evakuierung der Gebäude. Ein wichtiger Einflussfaktor auf die Entfluchtung oder Rettung ist das menschliche Verhalten, das schwer einzuschätzen ist. Aus diesem Grund ist die Zeitspanne der Evakuierung, beginnend mit dem Erkennen des Feuers, dem Setzen von ersten Maßnahmen, dem Ablauf der Flucht bis hin zum Eintreffen der Feuerwehr, nur schwer festlegbar. Des Weiteren wird die Flucht ganz wesentlich von den vorhandenen Fluchtwegbreiten und den Rettungsweglängen im Gebäude abhängen. Darüber hinaus können Brandgase bzw. Brandrauch, die auf den menschlichen Körper einwirken, eine Flucht beeinträchtigen oder sogar verhindern.

Grundsätzlich gibt es somit drei wesentliche Faktoren, welche bei einer Evakuierung von Gebäuden zu betrachten sind:

- *Einflussfaktor – Mensch (Personenströme)*
- *Einflussfaktor – Gebäude (Rettungswege)*
- *Einflussfaktor – Feuer (Brandrauch)*

#### 3.1 Faktor Mensch

Gerade die unterschiedlichen psychischen und physischen Reaktionen der Menschen auf ein Brandereignis stellen einen großen Unsicherheitsfaktor dar. Dazu ist das Verstehen von menschlichen Verhaltensmustern, Panikverhalten und Gruppenbildungen besonders wichtig. Darüber hinaus ist auch der physische (Mobilität) und psychische (Tabletten, Alkohol) Zustand der Person zum Zeitpunkt des Brandes von großer Bedeutung. Neben psychologischen Effekten haben auch bauliche Gegebenheiten einen großen Einfluss auf das Verhalten des Menschen bei einem Gebäudebrand. Dabei spielen die Zugänglichkeit sowie Breite und Länge der vorgesehenen Rettungswege eine maßgebende Rolle. Diesbezüglich werden Parameter wie effektive Wegbreite, Personenfluss, Flächenbedarf und



Bewegungsgeschwindigkeit sowie deren Auswirkung auf die Evakuierungszeit bestimmt. Es muss jedoch beachtet werden, dass die grundlegenden Berechnungsdaten auf empirischen Untersuchungen beruhen, welche in der Regel unter „normalen“ Bedingungen durchgeführt werden, wie z.B. Personenstrommessungen in öffentlichen Gebäuden oder Einkaufszentren. Es ist unmöglich, tatsächliche Gefahrenbedingungen (verrauchte Gebäude etc.) für Personenmessungen zu schaffen. Das bedeutet, dass die Berechnungen sich immer auf Beobachtungen unter „angenäherten“ Gefahrenbedingungen stützen.

Die Faktoren, die das menschliche Verhalten im Brandfall bestimmen, werden grundsätzlich nach drei Kategorien eingeteilt:

- *Erfahrung und Bewusstsein: z.B. das Wissen über das Ausmaß des Feuers, Kenntnisse, wie man auf Feuer reagiert, Konditionierung der Alarmsignale, soziale Rolle des Einzelnen*
- *Physische Fähigkeiten: allgemeines Reagieren auf Alarm, Mobilitätseinschränkungen, Sinneswahrnehmungen (Sehen, Hören, Riechen)*
- *Personenverteilung: Anzahl und Verteilung der Menschen im Gebäude*

#### **3.1.1 Verhalten von Personen im Brandfall**

Die Kenntnis über das menschliche Verhalten im Brandfall ist von hoher Bedeutung für die Planung der Fluchtwege. Die Reaktionen der Menschen in Extremsituationen sind sehr unterschiedlich. Dabei kommt es oftmals dazu, dass die Grenzen der Leistungsfähigkeit übersehen werden. Der Ausgang eines Brandereignisses wird häufig vom Verhalten der beteiligten Personen mitbestimmt. Fehlverhalten und –einschätzungen können hier schlimme Folgen haben.

Für die meisten Menschen ist die Konfrontation mit einem Brand ein äußerst seltenes Ereignis, so dass die wenigsten Menschen Erfahrungen mit dem Umgang einer derartigen Situation haben. Das Verhalten dieser Personen in einer solchen Lage ist daher rein instinktiv. Die Bedrohung, welche von einem Brand ausgeht, ist für die betroffenen Menschen mit besonderem Stress verbunden. Ursächlich ist dafür u.a., dass sich Brandsituationen sehr schnell ändern können. Scheinbar richtig getroffene Entscheidungen können die Personen

Augenblicke später in ausweglose Situationen führen. Demgegenüber können Menschen, die für den Umgang mit Brandereignissen geschult sind, mit derartigen Ereignissen besser umgehen, bleiben ruhig und überlegen die erforderliche Vorgehensweise.

Die Wissenschaft ist bestrebt, das Verhalten vom Brand betroffener Personen von der Wahrnehmung bis zum Verlassen des Gebäudes schrittweise nachzuvollziehen. Aus Untersuchungen von Brandereignissen und den betroffenen Personen hat man folgende **Verhaltenmuster** abgeleitet:

- *Menschen sind bestrebt denselben Weg hinaus zu benutzen, auf dem sie hineingekommen sind.*
- *Hinweisschilder (z.B. Notausgangsschilder) werden nicht wahrgenommen. Diese sollten folglich in Gefahrensituationen durch Wechsel der Farbe oder Leuchtkraft besonders hervorgehoben werden.*
- *Alarmsignale werden bei ständiger Wiederholung als bedeutungslos (lästig) empfunden.*
- *Der Mensch wählt ständig zwischen vorhandenen alternativen Aktivitäten. Eine Reaktion auf einen Feueralarm konkurriert mit einer gerade stattfindenden Handlung wie z.B. einem Einkauf.*

Das Fluchtverhalten von Menschen in Gefahrensituationen ist allerdings nicht nur von den oben genannten Verhaltensmustern geprägt, sondern ebenso von der individuellen Persönlichkeit sowie dem sozialen und kulturellen Umfeld des Einzelnen. Gemäß [4], [5] können Menschen in derartigen Situationen in die folgenden Gruppen eingeteilt werden:

Gruppe 1:	10-15%	<i>Personen reagieren rational, geeignet für leitende Positionen</i>
Gruppe 2:	~ 70%	<i>Personen sind „betrübt“ und eher unruhig; Gruppe 2 kann durch klare Anweisungen beeinflusst werden</i>
Gruppe 3:	10-15%	<i>Personen reagieren unberechenbar; Erstarrung, Kopflösigkeit, blinde Flucht</i>

### 3.1.2 Panikreaktion

Als Panikreaktion wird das Verhalten eines einzelnen oder mehrerer Menschen bezeichnet, möglichst schnell einen Ausweg aus einer lebensbedrohlichen Gefahrensituation zu finden. Eine Panik ist eine Fluchtsituation, die durch nichts gestoppt werden kann. Sie führt zu rücksichtslosem Verhalten der Betroffenen und mündet nicht selten in einem Kampf ums Überleben. Im Folgenden sind die Faktoren aufgeführt, die nach Aussage von Verhaltens- und Panikforschern für das Entstehen einer Panik ursächlich sind:

- *Voraussetzung: Vorhandensein einer Vielzahl von Menschen, (Menschenansammlungen können zufällig sein oder über längere Zeit bestehen)*
- *Menschenmenge ist in einem begrenzten Raum, Verhältnis Personenanzahl zu Grundfläche ist entscheidend (hohe Personendichte)*
- *Menschenmenge ist fiktiv oder tatsächlich bedroht, das Gefühlsleben wird massiv beeinflusst*
- *Auslöser können externe Bedingungen sein (z.B. Brand, Erdbeben, Unwetter) und/oder innere Einwirkungen (z.B. Fußballfans) und/oder technische und bauliche Mängel (z.B. verschlossene Türen, nicht beachten von brandschutztechnischen Vorschriften)*

Ein immer wieder auftretendes Szenario bei Brandfällen ist, dass sich einzelne Personen allein gelassen fühlen und infolge dessen von starker Angst befallen werden. In diesem Zustand ist es den Personen unmöglich, klare Entscheidungen treffen zu können. Dadurch kommt es sehr häufig zu falschen Einschätzungen und Fehlverhalten der betreffenden Personen, die oft schlimme Folgen haben.

Eine Panik wird meist begleitet von einer typischen Fluchtreaktion, die in mehrere Phasen unterteilt werden kann. Sie beginnt mit der ersten Phase, die als Flucht-Auslöser bezeichnet wird. Darauf folgt die Phase der Fluchtreaktion, die in einen Bewegungssturm übergeht und endet in der so genannten Entspannungsphase. In dieser Phase kommt es zum Erschlaffen der Arme und Beine. Die Zeitdauer der einzelnen Phasen ist dabei individuell.

Wenn es bei Brandereignissen zu Panikreaktionen größerer Personengruppen kommt, bildet sich meist ein Fluchtstrom aus, bei dem sich die Menschenmasse mit einer gewissen Geschwindigkeit in eine Richtung bewegt. Die einzelnen Personen innerhalb dieses Stromes weisen häufig ein unkontrolliertes und rücksichtsloses Verhalten auf. Kommt es infolge von

Engstellen (Notausgängen) und Raumbegrenzungen zum Stillstand des Fluchtstromes, so kann es durch die nachdrängenden Personen zum Aufbau eines hohen Staudruckes kommen. Dies führt häufig zu schweren Verletzungen der involvierten Personen. Die größte Gefahr für die einzelnen Personen besteht jedoch darin, dass es zu zeitlich versetzten Entspannungsphasen kommt, während derer die ermüdeten Personen von der übrigen Menschenmasse mitgerissen und überrannt werden.

## **3.2 Verfahren zur Ermittlung von Evakuierungszeiten**

### **3.2.1 Vereinfachte Verfahren**

Zu den vereinfachten Verfahren zur Planung und Dimensionierung von Flucht- und Rettungswegen gehören die so genannten deskriptiven Bemessungsverfahren. Bei dieser Methode werden die Anzahl und Breiten der Rettungswege nach dem heutigen Wissensstand und den Erfahrungen im brandschutztechnischen Bereich bestimmt. Deskriptive Bemessungsverfahren bilden in vielen Ländern, wie auch in Deutschland, die Grundlage für Richtlinien und Bauvorschriften. So ist die in Abschnitt 2.3 beschriebene Musterversammlungsstättenverordnung den deskriptiven Verfahren zuzuordnen. Das Kriterium zur Beurteilung der Evakuierung im Brandfall ist bei diesen Verfahren der Nachweis, dass die Evakuierung abgeschlossen ist, bevor die Flüchtenden vom Brand direkt betroffen sind. Im Fall der MVStättV und der MIndBauRL wird dies durch die Einhaltung einer raucharmen Schicht von mehr als 2,50 m gewährleistet. Der Vorteil der vereinfachten Verfahren liegt eben darin begründet, dass sie sich sehr einfach anwenden lassen. Nachteilig ist allerdings, dass die Vorschriften in der Regel für alle Gebäudetypen gleich sind. Zusätzliche Evakuierungsberechnungen sind also dann notwendig, wenn aufgrund der Komplexität des betreffenden Gebäudes oder einer großen Anzahl an Personen, z.B. in Versammlungsstätten, eine sichere Entfluchtung nicht unmittelbar gewährleistet werden kann. Weiterhin sind zusätzliche Berechnungen dann vonnöten, wenn die in den Verordnungen geforderten Mindestbreiten oder Maximallängen der Rettungs- und Fluchtwege deutlich unter bzw. überschritten werden. In derartigen Fällen kann mittels der nachfolgend beschriebenen

ingenieurmäßigen Berechnungsverfahren eine zeitgerechte Entfluchtung bestätigt werden. [13]

#### 3.2.2 Ingenieurmäßige Berechnungsverfahren

Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher ingenieurmäßiger Evakuierungsmodelle. Die Modelle reichen von einfachen empirisch abgeleiteten Formeln bis zu komplexen rechnergestützten Simulationsmodellen. Dabei lassen sich die Verfahren nach [6] in folgende Hauptgruppen unterteilen:

- *Analytische Verfahren*
- *Empirische Formeln für Kapazitätsanalysen*
- *Hydraulische Modelle und Netzwerkmodelle*
- *Simulationsmodelle*

Anders als bei den vereinfachten Berechnungsverfahren erfolgt der Nachweis einer sicheren Entfluchtung bei den ingenieurmäßigen Verfahren dadurch, dass die berechnete Evakuierungszeit deutlich kleiner ist als der Zeitraum bis zum Eintritt lebensbedrohlicher Bedingungen.

#### Analytische Verfahren

Analytische Methoden zur Berechnung von Evakuierungszeiten verlangen ein hohes Maß an Wissen über das Verhalten, die psychischen Fähigkeiten und die sozialen Beziehungen von Menschen während einer Evakuierung. Die Berechnung der gesamten Evakuierungszeit erfolgt hierbei durch Summation einzelner Zeitspannen, die während einer Evakuierung auftreten (z.B. Branddetektion, Reaktionszeit, Flucht, etc.). Für die einzelnen Parameter existieren Richtwerte, die auf Studien und gesammelten Erfahrungen basieren. Aufgrund der bereits erwähnten notwendigen Kenntnis des Verhaltens von Menschen in Gefahrensituationen und der Tatsache, dass analytische Methoden nur schwer bei komplexen Gebäudegeometrien angewandt werden können, sind derartige Verfahren bislang noch nicht

sehr weit verbreitet. Angesichts großer Fortschritte in diesem Bereich kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Methode in Zukunft mehr Verwendung finden wird. Im Building Code von Neuseeland sind bereits Richtlinien erlassen worden, die eine Berechnung der Evakuierungszeit mittels analytischer Verfahren und die daraus resultierende Dimensionierung der Rettungswege vorsehen.

#### **Empirische Formeln für Kapazitätsanalysen**

Die Berechnung der Entfluchtungszeit erfolgt bei diesen Modellen über die Betrachtung der Kapazitäten kritischer Elemente der Rettungswege. Diese Elemente sind im Allgemeinen vorhandene Türen, Treppen und Flure. Ein Maß für die Kapazität in diesem Zusammenhang ist die maximale Anzahl an Personen, die einen Bereich definierter Breite pro Zeiteinheit passieren kann. Zur Bestimmung des zugehörigen maximalen Personenstromes wird die effektive Breite des betreffenden Wegelements mit der entsprechenden Größe multipliziert. Maßgebend für die Berechnung der Evakuierungszeit ist dabei das Wegelement mit der geringsten Durchflussrate. Es wirkt folglich als „Nadelöhr“ und bestimmt somit die mögliche Räumungszeit. Die den Berechnungsverfahren zugrunde liegenden Kapazitäten basieren auf empirischem Datenmaterial. Der Gültigkeitsbereich der Verfahren ist daher auf die Bereiche des vorhandenen Datenmaterials beschränkt. Weiterhin ist zu beachten, dass von den Berechnungsverfahren keine individuellen Aspekte der betroffenen Personen berücksichtigt werden. Größere Probleme ergeben sich auch dann, wenn mehrere Personenströme zusammengeführt werden oder Fluchwegalternativen zu einem Aufspalten der Ströme führen. Für derartig komplexe Vorgänge ist es ratsam, eines der nachfolgend beschriebenen Berechnungsverfahren zu verwenden.

#### **Hydraulische Modelle und Netzwerkmodelle**

Die Hydraulischen Modelle sowie auch die Netzwerkmodelle basieren ebenfalls auf den empirischen Relationen der oben beschriebenen Kapazitätsanalysen. Jedoch wird bei diesen Verfahren der Personenstrom in seiner Gesamtheit als ein fluides Medium betrachtet, das durch ein fiktives Leitungssystem (Rettungswege) fließt. Die maßgeblichen Parameter des Strömungsprozesses sind die Fortbewegungsgeschwindigkeit und die Personendichte. Die

notwendigen Informationen zur Beschreibung des Strömungsgebietes sind in erster Linie die vorhandenen Längen und Breiten der Rettungswege und der vorhandenen Ausgänge. Wie auch bei den vorausgehend beschriebenen Kapazitätsanalysen ist bei diesem Modell darauf zu achten, dass die eingesetzten empirischen Relationen für den Anwendungsfall validiert sind, da sie die Beziehungen zwischen Geschwindigkeit und Dichte des Personenstromes maßgeblich bestimmen.

Die Berechnung von Evakuierungszeiten unter Ansatz eines hydraulischen Modells bedarf nicht zwangsläufig des Einsatzes von Computern. Sie kann weiterhin per Hand durchgeführt werden und ist zumeist übersichtlich und gut nachvollziehbar. Sehr aufwendig werden die Verfahren allerdings dann, wenn infolge komplexer Geometrien Detailbetrachtungen erforderlich sind. Nachteilig ist außerdem, dass derartige Berechnungsverfahren brandbedingte Aspekte nur ansatzweise berücksichtigen. Als Beispiel für ein Hydraulisches Modell kann das in Abschnitt 5 beschriebene Verfahren nach Predtetschenski und Milinski angeführt werden.

#### **Simulationsmodelle**

Für Evakuierungsberechnungen, speziell mittels Computern, existiert mit den Individualmodellen eine weitere Methode. Der Berechnungsansatz, der hierbei verfolgt wird, sieht vor, dass die einzelnen Personen innerhalb eines Personenstromes als eigenständige Individuen betrachtet werden. An Stelle der empirischen Korrelationsfunktionen der oben beschriebenen Verfahren fließen bei dieser Berechnungsmethode bestimmte physische und psychische Merkmale (Geschlecht, Mobilität, Verhaltensmuster) der betrachteten Personengruppen in die Berechnung ein. Diese Parameter können individuell vorgegeben oder statistisch verteilt angenommen werden. Obwohl der Ansatz bei den meisten Individualmodellen ähnlich ist, gibt es in den Berechnungen doch beträchtliche Unterschiede. In erster Linie bestehen die Unterschiede darin, wie die zugrunde liegende Gebäudegeometrie in die Simulation einfließt. Ein leistungsfähiges Individualmodell sollte unter diesem Aspekt die Bewegung der Personen in einer dreidimensionalen Geometrie beschreiben. Die Abbildung der realen Gebäudegeometrien und Rahmenbedingungen auf das Simulationsmodell sollte dabei mit einer hohen Genauigkeit erfolgen, die alle wichtigen Details berücksichtigt. Somit wird die Anwendung dieser Verfahren auch für Gebäude mit komplexen Geometrien ermöglicht. Die Ergebnisse der Simulationen sind im Allgemeinen

nicht in Form einer exakten Evakuierungszeit. Dies wäre auch unter realen Bedingungen bei Evakuierungsübungen niemals zu erwarten. Vielmehr würde als Ergebnis für ein bestimmtes Szenario eine Verteilung der Entfluchtungszeit der Realität entsprechen. Die Ergebnisse der einzelnen Evakuierungsberechnungen lassen sich somit statistisch auswerten. Ein weiterer Vorteil der Simulationsmodelle besteht darin, durch die einfache Möglichkeit, die Parameter der Simulation seitens des Verhaltens der Personen oder der Gebäudegeometrie zu verändern, schnell Varianten berechnen zu können. Da die Simulationsergebnisse im Allgemeinen maßgeblich von den Eingangsparametern für z.B. die physischen Fähigkeiten der Personengruppen bestimmt werden, sollten diese mit Bedacht gewählt werden. Der Einfluss des Brandgeschehens (Brandgase, Temperatur) auf die Verhaltensmuster und die physischen Fähigkeiten der Personen wird von den Simulationsprogrammen ebenfalls modelliert, allerdings wird das individuelle Verhalten der Personen in Gefahrenbedingungen (z.B. Panik) nur ansatzweise beschrieben. Eine genauere Betrachtung des Simulationsprogramms buildingExodus erfolgt im Anschluss an dieses Kapitel.



## **4 Entfluchtungssimulation mit dem Programm buildingExodus**

### **4.1 Einführung in die Simulationssoftware**

Exodus ist ein Softwarepaket zur dynamischen Simulation von Evakuierungsprozessen. Im Vordergrund stehen die Berechnung und Darstellung von Bewegungen großer Personenströme in komplexen Geometrien.

Entwickelt wurde das Programm von der Fire Safety Engineering Group unter der Leitung von Professor Ed Galea an der University of Greenwich. Zur Verfügung stehen fünf unterschiedliche Softwareversionen für den Einsatz in verschiedenen Fachgebieten. Neben dem Programmteil buildingExodus, zur Simulation von Evakuierungen aus Gebäuden, gibt es außerdem Versionen für den Bereich Flugzeugbau, Eisenbahn und Schiffbau. Abschließend existiert das Modul VR Exodus zur Erstellung dreidimensionaler Ansichten der Berechnungsergebnisse. Weltweit wurden bereits mehrere Großprojekte mit Unterstützung von Exodus realisiert. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang der Airbus A380, der Millenium Dome in London oder das Stadium Australia. [9]

Zur Berechnung der Evakuierungszeiten berücksichtigt das Programm die Interaktionen zwischen den Personen untereinander, zwischen Personen und Gebäude sowie mit der Umgebung. Dabei wird jede Person als ein Individuum betrachtet, dessen Verhalten und Bewegung durch eine Anzahl an heuristischen Regeln bestimmt wird. Die einzelnen Regeln sind fünf verschiedenen Modellen (Occupant, Behaviour, Movement, Toxicity, Hazard) zugeordnet. Diese Modelle agieren alle auf einem der Simulation zugrunde liegenden Gitter, das die Gebäudegeometrie abbildet. Dieses uniforme zweidimensionale Gitter setzt sich aus Knoten zusammen, die von den Personen besetzt werden können. Zwischen diesen Knoten werden Verbindungen (Arcs) definiert, mittels derer die Bewegungen der Personen möglich sind. Die Bewegungstrajektorien der Individuen sind dabei maßgeblich von einem Potentialfeld bestimmt. Dabei bekommt jeder Knoten einen Wert in Abhängigkeit der Entfernung vom nächstgelegenen Ausgang zugewiesen. Dieser Wert ist somit in gewisser Weise ein Maß für seine „Attraktivität“. Neben dem Wert für das Potential besitzt jeder

Knoten weitere Attribute wie z.B. seinen Typ (Free-Space, Stair, Seats) oder die Konzentration bestimmter toxischer Gase. Diese Merkmale haben zusätzlichen Einfluss auf das Verhalten und die Bewegung der Population. Ebenso wie für die Knoten, existieren auch für die Verbindungen (Arcs) und die Personen Parameter, durch die die Simulation beeinflusst wird. Das Programm bietet die Möglichkeit sowohl für Personengruppen als auch für jede individuelle Person einzelne Merkmale bzgl. der physischen und psychischen Fähigkeiten vorzugeben. Dies kann sowohl explizit als auch in einem bestimmten Rahmen erfolgen. Im Allgemeinen werden diese Attribute einer bestimmten Verteilung folgend der Population zugewiesen. [8], [14]

### **4.2 Programmablauf (Schritt für Schritt)**

Die folgenden Kapitel sollen eine schrittweise Einführung in das Programm buildingExodus geben, um den Leser beim Umgang mit der Software zu unterstützen. Die Reihenfolge ist dabei bewusst so gewählt, dass sie dem modularen Ablauf entspricht, der notwendig ist, um eine Simulation zu erstellen. Inhaltlich lehnt sich die Anleitung sehr stark an die Arbeitsschritte an, die zur Durchführung des Projektes Goya Hauptstadtclub erfolgten. Auf der angefügten CD zu dieser Studienarbeit befinden sich zusätzlich Demonstrationsvideos, die die wichtigsten Prozesse darstellen.

#### **4.2.1 Vorbereitung der CAD-Zeichnung**

Die Voraussetzung für die Erstellung einer Simulation mit buildingExodus ist das Vorhandensein einer Gebäudegeometrie. Der Grundriss eines Bauwerks oder eines Stockwerks kann direkt im Programm konstruiert werden oder mit Hilfe einer DXF-Datei importiert werden. Speziell bei komplexen Geometrien, wie z.B. dem Goya Club, ermöglicht der Import bereits vorhandener CAD-Pläne eine schnelle und einfache Art die Struktur des Gebäudes in das Programm zu integrieren.

Bevor eine DXF-Datei in buildingExodus geöffnet werden kann, sollten jedoch einige Änderungen an der Zeichnung vorgenommen werden. Zu diesem Zweck bietet sich es an, die entsprechenden Grundrisse z.B. in AutoCAD zu öffnen. Im Allgemeinen muss beachtet werden, dass im DXF-Format keine genaue Definition der verschiedenen Linien vorgenommen wird. Das bedeutet, dass sämtliche Beschriftungen, Bemaßungen sowie Hilfslinien entfernt werden müssen, da sie ansonsten als Begrenzungen bzw. Wände interpretiert werden.

Ebenfalls ist zu beachten, dass die Größe und der Umfang der Datei entscheidenden Einfluss auf die Geschwindigkeit späterer Arbeitsschritte haben. Aus diesem Grund sollten außerdem die Schriftfelder, der Rahmen und die Schraffuren aus der Zeichnung gelöscht werden.

Eine wichtige Eigenheit beim Import einer DXF-Datei ist die Tatsache, dass keine Kurven, sondern ausschließlich Linien und Kreis bzw. Abschnitte von Kreisen übernommen werden. Dies hat entscheidenden Einfluss auf die Vorbereitung der CAD-Zeichnungen. Zum einen müssen sämtliche Blöcke, also die Zusammenführung mehrerer Linien zu einem Objekt, aufgelöst werden. Dabei handelt es sich z. B. um Einrichtungsgegenstände oder sanitäre Anlagen, die aus einer Blockbibliothek entnommen werden.

Geometrische Formen, wie Ellipsen oder Parabeln, müssen durch Linien näherungsweise nachgebildet werden, falls sie für die Simulation in buildingExodus benötigt werden. Es hat sich gezeigt, dass das Nachbilden keinen erkennbaren Einfluss auf die spätere Verteilung der Knoten hat (siehe Kapitel 4.2.2).

Die Funktion „Node Flood“, das automatische Füllen des Grundrisses mit Knoten (siehe Kapitel 4.2.2), kann wesentlich beschleunigt werden, wenn zuvor die Darstellung der Türen und Durchgänge bearbeitet wird.

Im Inneren des Gebäudes können alle Türen, Schwellen und Unterzüge entfernt werden um einen gesamten zusammenhängenden Bereich zu erhalten.

Zum Außenbereich sollte das Gebäude im Grundriss durch einen geschlossenen Linienzug abgegrenzt sein, damit die Verteilung der Knoten an den Ausgängen endet.

Während der Bearbeitung des Projektes Goya Hauptstadtclub hat sich herausgestellt, dass die oben genannten Vorbereitungsschritte sehr sinnvoll sind und sich bei richtiger Anwendung entscheidende Vorteile für die spätere Arbeit mit buildingExodus ergeben. Sowohl das

Erstellen des Simulationsmodells als auch die Rechenzeit verschiedener Simulationsabschnitte können deutlich beschleunigt werden.

### 4.2.2 Erstellen der Geometrien (Geometry Mode)

Nach dem Start von buildingExodus und dem Anlegen eines neuen Projektes schaltet das Programm automatisch in den „Geometry Mode“. Wie bereits in Kapitel 4.2 beschrieben, handelt es sich um einen modularen Aufbau, wobei der Nutzer erst nach dem Erstellen einer Geometrie in die weiteren Module gelangen kann.

In diesem Programmteil kann der Nutzer eine Simulationsumgebung programmintern konstruieren oder CAD-Zeichnungen in Form einer DXF-Datei importieren. Das Ziel ist die Darstellung des Gebäudes oder Teilen davon als zweidimensionaler Grundriss. Im Weiteren wird hier auf den Import der Gebäudegrundrisse eingegangen, da diese Methode bei dem Projekt „Goya Hauptstadtclub“ angewendet wurde und für die meisten Simulationen dieses Umfanges in Frage kommt.

Über die Funktion **TOOLS** → **CONSTRUCTION** → **LOAD DXF** kann die entsprechende CAD-Zeichnung ausgewählt und geöffnet werden. Nachdem die Längeneinheit bestätigt ist, (**UNIT SELECTION**) erscheint das Gebäude in dem Fenster mit der Bezeichnung „Floor 0“. Eventuell muss zu diesem Zeitpunkt die Ansicht auf Grund der Größenverhältnisse angepasst werden. Über die drei Lupensymbole in der Toolbar oder die Menüfunktion **VIEW** → **ZOOM** → **IN/OUT/RESET** ist dies möglich.

Im Vorfeld weiterer Bearbeitungsschritte sollte überprüft werden, ob die Zeichnung alle gewünschten Elemente enthält und störende Linien oder Beschriftungen entfernt wurden. Grundsätzlich hat sich gezeigt, dass der begehbare Innenbereich des Gebäudes nach Außen abgeschlossen sein muss und im Inneren nicht durch Linien, die keine Konstruktionsdetails beschreiben, unterbrochen sein sollte.

Zur Erstellung der kompletten Simulationsgeometrie ist es notwendig, die Knoten (Nodes) und Verbindungen (Arcs), auf denen sich die Personen aufhalten und bewegen, im Gebäudeinneren zu verteilen.

Es werden dem Benutzer mehrere Möglichkeiten angeboten, die Geometrie mit diesen Elementen auszustatten.

Die Schaltfläche „Free Space Node“ der Toolbar vereint dabei zwei Funktionen.

Zum einen können damit einzelne Knoten frei in der Zeichnung platziert werden, indem sie mit der Maus beliebig positioniert werden. Außerdem ist es möglich, einen Bereich mit Knoten zu füllen. Dazu wird über der entsprechenden Stelle ein Rechteck mit dem Mauszeiger aufgezogen, woraufhin sich ein Dialogfenster mit dem Namen „Number of Nodes“ öffnet. Der Nutzer kann die gewünschte Anzahl Knoten in X- und Y-Richtung angeben.

Als effektivste und schnellste Methode der Knotenverteilung ist die Funktion

TOOLS → CONSTRUCTION → NODE FLOOD zu nennen. Wird sie gewählt, genügt die Auswahl eines einzigen Punktes im Innenbereich der Gebäudegeometrie um alle von dort erreichbaren Abschnitte mit Knoten zu füllen. Zusätzlich findet eine automatische Verbindung der Nodes untereinander mit Arcs statt. Diese Knotenverbindungen existieren in vertikaler, horizontaler und diagonalen Richtung.

Der dritte Bearbeitungsschritt im „Geometry Mode“ ist die Definition von Ausgängen (Exits). Es stehen zwei Varianten von Exits zur Auswahl. Zwingend notwendig für den Ablauf einer Simulation ist das Vorhandensein von „External Exits“, also Ausgängen ins Freie. Über diese Ausgänge flüchten alle Personen aus dem Gebäude. Hat ein Individuum dieses Ziel erreicht, ist es in Sicherheit und verlässt die Simulation. Die Knoten, die einen External Exit beschreiben, heißen „Exit Nodes“. Sie sind gleichzeitig die Ausgangspunkte für den Aufbau des Potentialfelds, welches die Grundlage für die Berechnung der Fluchtwege aus dem Gebäude ist. Jeder „Exit Node“ hat einen Potentialwert von 100.

„External Exits“ lassen sich über mehrere Variablen sehr genau der Wirklichkeit anpassen. Ihre Breite kann der Nutzer mit der Anzahl der verbundenen Knoten bestimmen, wobei jede zusätzliche Verbindung einer Türbreite von 50 cm entspricht.

Die Durchflussrate (Unit Flow Rate), in der Einheit Personen pro Meter Ausgangsbreite pro Sekunde [p/m/s], beträgt standardmäßig 1,33 p/m/s und lässt sich bei Bedarf verändern. Die Variable „Attractiveness“ steuert die Größe des Einflussgebietes eines Ausgangs. Personen, die sich innerhalb dieses Gebietes befinden, wählen den entsprechenden Ausgang zum Verlassen des Gebäudes. Man kann damit den Bekanntheitsgrad bzw. die Attraktivität eines „External Exits“ verändern. Beachten muss man, dass ein Internal Exit das Einflussgebiet unter bestimmten Bedingungen stören kann. Ist im Simulation Mode die Funktion „local Potential“ (siehe Kapitel 4.2.4) aktiviert, reicht diese Zone nur bis zu einem Internal Exit.

## 4 Entfluchtungssimulation mit dem Programm buildingExodus

Internal Exits repräsentieren Türen oder Engstellen im Inneren des Gebäudes und lassen die Steuerung der Personenströme zu (siehe Abbildung 4.2).

Beide Arten von Ausgängen beeinflussen direkt das Potentialfeld, welches die Fluchtwege der simulierten Personen definiert. Zu beachten ist, dass die Internal Exits nur berücksichtigt werden, wenn die Funktion „local Potential“ im Simulation Mode aktiviert ist.

Abbildung 4.1 zeigt den Haupteingangsbereich des Goya Hauptstadtclubs. Der Ein- und Ausgang ist als External Exit ausgeführt. Das Dialog Fenster enthält alle Parameter, die für einen „External Exit“ verändert werden können. Die Drehtüren in den Fluren werden durch Internal Exits, dargestellt durch die roten Knoten, modelliert. Hier kann die Durchflussrate gegenüber dem normalen Flurbereich reduziert werden.

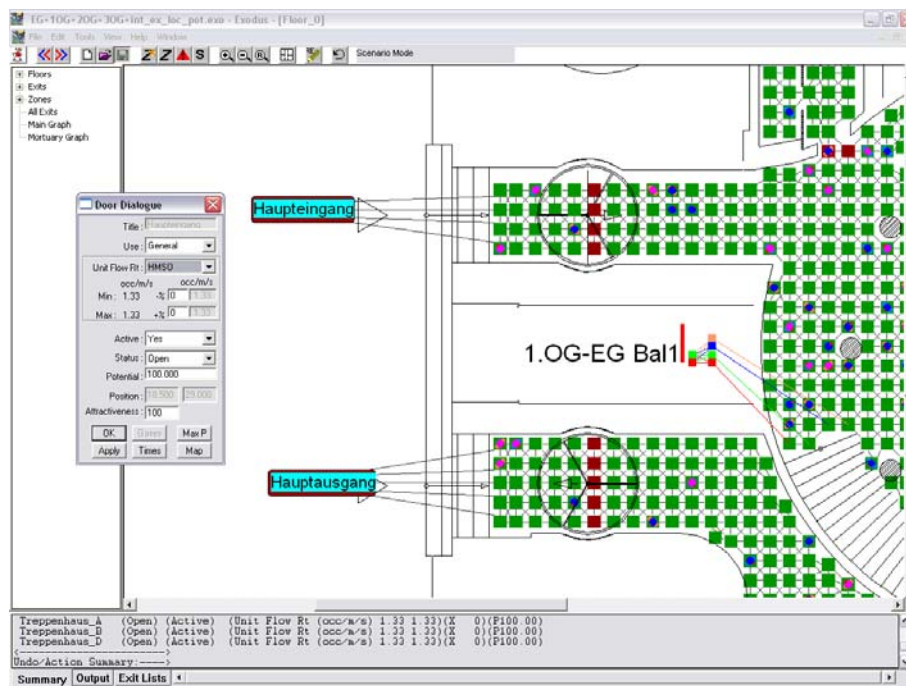


Abbildung 4.1 Internal- und External Exits im Erdgeschoss

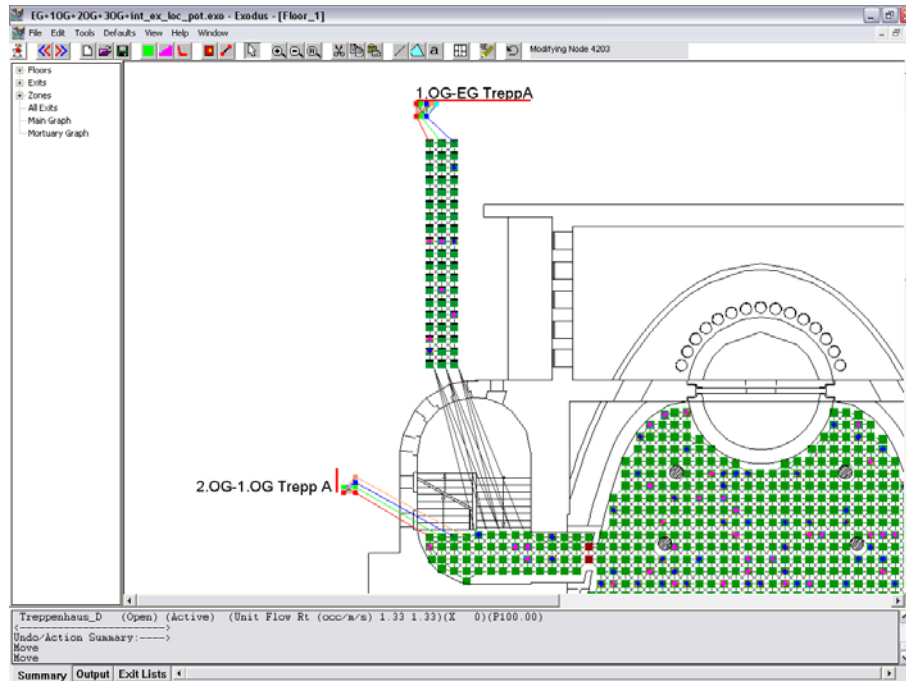
Alle oben genannten Bearbeitungsschritte, mit Ausnahme der Internal Exits, sind notwendig um eine Simulation zu erstellen. Dem Nutzer ist es ohne deren Bearbeitung nicht möglich, in die weiteren Programmmodule zu gelangen. Im Folgenden werden Zusatzfunktionen beschrieben, die ebenfalls im Geometry Mode enthalten sind und für die Anfertigung umfangreicherer Gebäudegeometrien erforderlich sind.

Über den Menüpunkt TOOLS → FLOOR → NEW kann ein neues Ansichtsfenster geöffnet werden um weitere Geschossebenen eines Gebäudes hinzuzufügen. Dieser Schritt lässt sich beliebig oft wiederholen, sodass auch sehr hohe Bauwerke abgebildet werden können.

Die Fluchtsimulation aus mehrgeschossigen Gebäuden erfordert die Verknüpfung aller Ebenen zu einem Gesamtsystem. Zu diesem Zweck werden die Optionen „Primary Link“ und „Secondary Link“ sowie die Möglichkeit der Treppenerstellung genutzt. Beide Funktionen müssen in Kombination betrachtet werden, da sie in der Mehrzahl der Fälle nur zusammen Sinn ergeben.

Im ersten Schritt muss der Nutzer die Randbedingungen für die Treppen definieren. Dies geschieht, indem die Treppenschaltfläche (Stair Node) aus der Taskleiste aktiviert wird und anschließend an der entsprechenden Position im Gebäudegrundriss ein Rechteck aufgezo- gen wird. Es öffnet sich ein Dialogfenster, das alle geometrischen Eigenschaften der Treppe enthält. Die wichtigsten Parameter sind dabei die Breite der Treppe, der zu überwindende Höhenunterschied (Geschosshöhe), die Auftrittsbreite und die Stufenhöhe. Nach der Eingabe der Daten erscheinen die verknüpften Treppenknoten in entsprechender Anordnung in der Zeichnung. „Stair Nodes“ haben gegenüber den normalen „Free Space Nodes“ eine Erweiterung. Die Vorderkante der Stufen wird durch einen schwarzen Balken gekennzeichnet, was die Abwärtsrichtung der Treppe erkennen lässt. Die untere Reihe der Treppenknoten kann nun mit den jeweiligen Knoten der Geschossebene verbunden werden. Dabei ist darauf zu achten, dass auch hier die diagonalen „Arcs“ eingetragen werden um eine möglichst realitätsnahe Simulation zu erhalten. Für die Verknüpfung der Treppe zu dem darüber liegenden Geschoss, das sich in einem anderen Ansichtsfenster befindet, werden die Linkfunktionen benutzt. Der „Primary Link“ wird zu diesem Zweck mit der Treppeno- berkante des unteren Geschosses verbunden, der „Secondary Link“ wird in das Ansichtsfenster des oberen Geschosses gesetzt und stellt so die Verbindung her. Es ist entscheidend, dass die Links dort gesetzt werden, wo auch in der Realität die Stockwerke durch die Treppen verbunden sind.

Abbildung 4.2 zeigt einen Ausschnitt des 1. Obergeschosses des „Goya Hauptstadtclubs“. Dargestellt ist das Treppenhaus A mit den Verknüpfungen zum 2. Obergeschoss und zum Erdgeschoss. Zusätzlich erkennt man einen Internal Exit in Form der zwei roten Knoten im Bereich der Brandschutztür zum Treppenhaus. [10]



**Abbildung 4.2 Verknüpfung des Treppenhauses A mit den benachbarten Geschossen**

Die Funktionen des „Geometrie Mode“ werden nun noch einmal, unterteilt nach erforderlichen und zusätzlichen Arbeitsschritten, stichwortartig aufgezählt.

Erforderliche Arbeitsschritte um in den Population Mode zu gelangen:

- Erstellen einer Gebäudegeometrie
- Automatische oder manuelle Verteilung der Knoten und Verbindungen
- Definition von mindestens einem Ausgang (External Exit)

Zusätzliche Funktionen

- Nutzung der Funktionen Primary- und Secondary Link in Verbindung mit der Erstellung von Treppen zur Verknüpfung mehrerer Stockwerke
- Definition von Internal Exits
- Feinere Abstimmung der Knoten bezüglich der Innenausstattung des Gebäudes



### 4.2.3 Population Mode

Ist die Bearbeitung der Gebäudegeometrie abgeschlossen, gelangt der Nutzer mit Hilfe der Modul Schaltfläche in den Population Mode. In diesem Programmteil werden die Zusammensetzung, das Verhalten und die Verteilung der „Simulationsbevölkerung“ definiert. BuildingExodus gibt bereits eine Standardpopulation vor, die als Grundlage für viele Simulationen genutzt werden kann. Die Verteilung der vorgegebenen Population erfolgt über den Menüpunkt **TOOLS → PERSON → RANDOM GENERATE**, mit anschließender Eingabe der gewünschten Anzahl von Personen.

Das Programm platziert diese automatisch über den gesamten Simulationsbereich, wobei jeder Knoten von nur einer Person besetzt werden kann. Eine Mehrfachbelegung ist nicht möglich, da ein Node etwa dem Platzbedarf eines Menschen entspricht.

Jede Person wird mit Hilfe eines Kreises und zwei Halbellipsen dargestellt, was in etwa dem Umfang des menschlichen Körpers entspricht. Die Unterscheidung von Geschlecht, Alter und anderen Attributen erfolgt mittels verschiedener Farbgebungen.

Sollen Veränderungen an einer Simulationsbevölkerung vorgenommen werden, geschieht dies im Population Editor, der über **TOOLS → PANEL POPULATE** erreichbar ist. Hier bekommt man einen sehr detaillierten Einblick in die Art und Weise, wie Personengruppen aufgebaut sind.

In Abbildung 4.3 ist dieses Dialogfenster dargestellt. Auf der linken Seite erkennt man die Zusammensetzung der Gesamtbevölkerung (Panel List). Standardmäßig besteht sie aus sechs Teilgruppen, die aus männlichen und weiblichen Personen unterschiedlichen Alters bestehen. Die Verteilung ist in Prozent angegeben. Auf der rechten Seite des Fensters befinden sich mehrere Schaltflächen, die eine Modifizierung der Zusammensetzung und die Angabe über globale Optionen ermöglichen.

Personengruppen können mit Hilfe dieser Schaltflächen erstellt, gelöscht, hinzugefügt oder verändert werden.

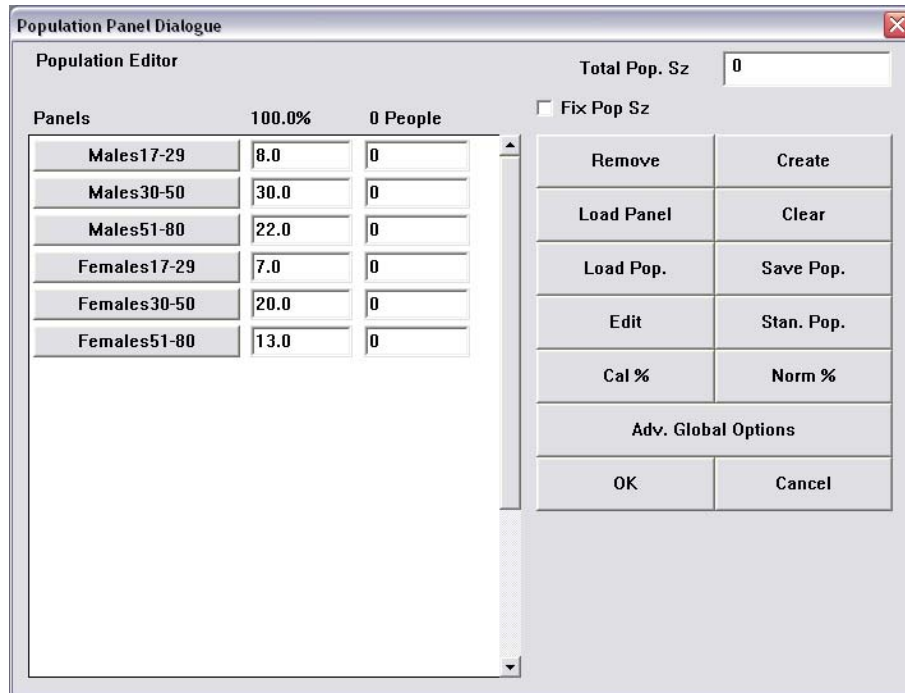


Abbildung 4.3 Population Editor

Jeder Personengruppe werden mehrere Variablen zugewiesen, die ihre physischen und psychischen Fähigkeiten beschreiben und in die Simulation einfließen lassen. Aktiviert man eine Gruppe mittels Doppelklick, öffnet sich ein weiteres Fenster (Group Panel), das diese gruppenspezifischen Werte enthält. Abbildung 4.4 zeigt dieses Fenster.

Die Attribute, die das Verhalten einer Personengruppe beschreiben, sind in vier Kategorien eingeteilt, Geschwindigkeit (Travel Speeds), psychologisches Verhalten (Psychological Attributes), Verhalten bei Toxizität (Toxicity Attributes) und physischen Eigenschaften (Physical Attributes). Viele Variablen haben einen Maximum- und Minimumwert, zwischen denen jeweils ein Zufallswert für eine Person aus der Gruppe gewählt wird. [10]

Population Panel

Females30-50 No. People 0 Mobility 1.000 Default

Travel Speeds

Psychological Attrib.

	Min	Max	
Response Time (s) :	0	30	Default
Drive :	1	10	Default
Patience (s) :	1	5	Default

Toxicity Attributes

Physical Attrib.

Age (years) :	30	50	Default
Weight (kg) :	40	90	Default
Height (m) :	1.500	2.000	Default
Agility :	2	5	Default

Gender Female Save Cancel Advanced

Abbildung 4.4 Gruppenspezifische Variablen

Im Folgenden sollen die wichtigsten Parameter genauer beschrieben und deren Funktionen erläutert werden.

### Mobilität (Mobility)

Der Wert Mobility ist ein multiplikativer Faktor, der auf zwei unterschiedliche Weisen Einfluss auf das Verhalten der Personen nimmt. Zum einen kann damit die körperliche Verfassung berücksichtigt werden, indem z.B. ein gebrochenes Bein mit einem deutlich geringeren Wert des Probanden simuliert wird.

Weiterhin wird dieser Faktor automatisch reduziert, wenn sich Personen in einem Bereich aufhalten, der eine erhöhte Konzentration toxischer Rauchgase enthält.

Der Parameter Mobility kann im Bereich zwischen 0 und 1 liegen, wobei standardmäßig 1 vorgegeben ist.

### Geschwindigkeiten

Im Dialogfenster „Travel Speeds“ kann der Nutzer für verschiedene Arten der Fortbewegung Geschwindigkeiten angeben. Die dort eingetragenen Werte ergeben in Kombination mit der Mobilität und der speziellen Geländesituation, der die Person ausgesetzt ist, eine individuelle Geschwindigkeit.

Abbildung 4.5 zeigt das Dialogfenster für die Eingabe der Geschwindigkeitsparameter.

Es ist zu erkennen, dass die Werte für Gehen (Walk), Kriechen (Crawl) und Überspringen (Leap) als Anteilswerte von schnellem Gehen (fast Walk) definiert sind. Die genauen Geschwindigkeiten für das Treppensteigen sind zusätzlich abhängig von der Geometrie der Stufen.

	Min [m/s]	Max [m/s]	
Fast Walk:	1.200	1.500	Default
Walk%: 90.000	1.080	1.350	Default
Crawl%: 20.000	0.240	0.300	Default
Leap%: 80.000	0.960	1.200	Default
Stair Up :	0.590	0.590	Default
Stair Down :	0.665	0.665	Default

OK Cancel

Abbildung 4.5 Geschwindigkeiten für verschiedene Arten der Fortbewegung

### Agilität (Agility)

Die Agilität beschreibt die Fähigkeit von Personen, Hindernisse zu überwinden. Sie steht in direktem Zusammenhang mit der Mobilität und den Widerstandswerten einer Knotenverbindung. Beispielsweise wird die Geschwindigkeit, mit der eine Person einen Tisch überspringt, aus der Agilität, der Mobilität und einem Wert, der den Widerstand zwischen den benachbarten Knoten angibt, berechnet.

Der Bereich für diese Variable liegt zwischen 0 und 7 (siehe Abbildung 4.4).

### **Entschlossenheit (Drive)**

Dieser Wert ist maßgebend bei der Berechnung von Konfliktlösungen. In einer Situation, in der zwei Personen gleichzeitig einen Knoten betreten möchten, wird zugunsten derer entschieden, die einen höheren Drive Faktor hat. Somit lassen sich unterschiedliche Durchsetzungsvermögen simulieren.

Es können Werte von 1 bis 15 vorgegeben werden (siehe Abbildung 4.4).

### **Geduld (Patience)**

Während einer Simulation treten Phasen auf, in denen sich Warteschlangen vor Engpässen oder Türen bilden. Personen, die einen niedrigen Wert für den Parameter Geduld haben, entscheiden sich schneller um und wählen einen anderen Weg. Auch das Überwinden von Hindernissen ist abhängig von diesem Attribut.

Es können Werte von 1 bis 1000 Sekunden angegeben werden.

### **Reaktionszeit (Response Time)**

Die Reaktionszeit ist zu Beginn einer Simulation entscheidend. Sie beschreibt, wie lange Personen an ihrer Startposition verharren, bevor sie beginnen das Gebäude zu verlassen. Eine globale Reaktionszeit, als Maß für eine Verzögerung einer Alarmauslösung, kann der persönlichen Reaktionszeit überlagert werden. Diese Variable kann zwischen 0 und 10000 Sekunden definiert werden.

### **Anzahl der Personen (Total Population Size)**

In dieses Feld kann der Nutzer die Anzahl der Personen eingeben, die über die Gebäudegeometrie verteilt werden sollen.

Die Bestätigung des Population Editors mit der „OK“ Schaltfläche schließt dieses Fenster und verteilt automatisch die definierte Bevölkerung in entsprechender Anzahl über alle Knoten der Simulationsfläche.

Am Schluss dieses Kapitels erfolgt eine Gegenüberstellung der erforderlichen und zusätzlichen Funktionen des Population Mode.

Erforderliche Funktionen:

- Verteilung einer beliebigen Anzahl von Personen im Simulationsbereich oder in Teilbereichen; Die Population kann aus einer Standardpopulation oder selbst definierten Personengruppe bestehen

Zusätzliche Funktionen:

- Definition einer eigenen Population
- Anpassung der Variablen unterschiedlicher Personengruppen an deren mögliches Verhalten

### 4.2.4 Simulation Mode

Im Simulation Mode kann jetzt bereits eine Evakuierung gestartet werden, obwohl noch kein Brand- oder Katastrophenszenario definiert ist. Die Personen verlassen das Gebäude, ohne dem Einfluss von Rauch oder toxischen Gasen ausgesetzt zu sein.

Nach dem Start der Simulation kann der Nutzer interaktiv den Ablauf beobachten und ebenfalls in gewissem Maße in das Geschehen eingreifen. So ist es beispielsweise möglich, den Evakuierungsprozess zu stoppen und die Eigenschaften einzelner Personen explizit aufzurufen. Dazu gehören etwa der bereits zurückgelegte Weg oder die aktuelle Geschwindigkeit.

Es stehen außerdem mehrere Anzeigen zur Verfügung, die fortlaufend Ergebnisse darstellen. Auf der rechten Seite der Toolbar läuft die „Simulation Clock“ vom Beginn der Evakuierung

bis zu dem Zeitpunkt, an dem die letzte Person das Gebäude verlässt und dokumentiert damit die Evakuierungszeit. Daneben befindet sich ein Zähler, der die Anzahl der Personen anzeigt, die bereits einen Ausgang erreicht haben.

Die Zeiteinheit, in der die Evakuierung angegeben wird, sind Minuten, Sekunden und 10'tel Sekunden. Berechnet wird die Simulation in Schritten von 1/12 Sekunden. Die Dauer für den Ablauf ist abhängig von der Rechenleistung des PCs, auf dem die Anwendung ausgeführt wird.

An der Unterseite des Programmfensters kann der Nutzer zwischen drei Informationsbereichen wählen, die ebenfalls Ergebnisse der Simulation dokumentieren. Die Anzeige „Exit Lists“ gibt für jeden Ausgang graphisch die Personenzahl an, die über diesen das Gebäude verlassen haben. Im Bereich „Output“ werden für jedes Individuum wichtige Eigenschaften dargestellt, wie z.B. die Nummer des Startknotens, das Ziel oder der zurückgelegte Weg.

In der „Summary“ werden die wichtigsten Daten nochmals aufgeführt.

Eine genauere Beschreibung der Ausgabe von Ergebnisse erfolgt in Kapitel 4.2.6.

Im Simulation Mode gibt es zwei wichtige Dialogfenster, die das Verhalten der Simulationsbevölkerung maßgeblich beeinflussen.

Das „Behaviour Control Dialogue“ Fenster lässt Einstellungen über den Kenntnisstand der Personen bezüglich der Rettungswege (Awareness), das Verhalten während der Evakuierung (Behaviour) und die Reaktionen auf die Umgebung (Environment Response) zu. In Abbildung 4.6 ist das entsprechende Fenster abgebildet.

Nachfolgend werden die wichtigsten Einstellmöglichkeiten des Dialogfenster näher erläutert.

### **Local Familiarity**

Ist diese Option aktiviert, nutzen die Personen ihr persönliches Wissen über die Ausgänge des Gebäudes und stellen das Potentialfeld in den Hintergrund. Mit Hilfe der persönlichen Ausgangsliste (Occupant exit Knowledge) kann Personengruppen eine Intelligenz bezüglich der Ausgänge gegeben werden.

### **Floor Potential Map**

Mit dieser Funktion kann das Potentialfeld für mehrere Stockwerke kontrolliert werden. Das Feld richtet sich nicht nach dem kürzesten Weg zu einem Ausgang, sondern nach dem schnellsten Weg, der das Verlassen des jeweiligen Stockwerkes ermöglicht. Alle Knoten einer Etage, die eine Verbindung zum nächsten Stockwerk herstellen, müssen das gleiche Potential aufweisen. Damit stellen alle Treppen eine Art gleichberechtigten Ausgang ins darunter liegende Stockwerk dar. Weitere Erklärungen sowie ein Beispiel sind in Kapitel 4.3.3 zu finden.

### **Social Response**

Social Response ermöglicht es Personengruppen, die sich in einem Radius von 2m befinden, Wissen bezüglich der Ausgänge auszutauschen, und somit ihr Verhalten zu ändern.

### **Extreme Behaviour**

Diese Funktion beeinflusst das Verhalten der Simulationsbevölkerung, indem die persönlichen Einstellungen über die Geduld (Patience) aktiviert werden. Überschreitet die Wartezeit in einer Schlange die Vorgaben der jeweiligen Person, ermöglicht es dieser, andere Wege zu einem Ausgang zu finden. Dies geschieht durch eine Erleichterung im Umgang mit dem Potentialfeld, da auch Knoten eines höheren Potentials als Ziel gewählt werden können. Die Reihenfolge, nach der ein Folgeknoten für eine Person gesucht wird, ist festgelegt und wird bei I. beginnend abgearbeitet.

Knoten mit:

- I. niedrigerem Potential
- II. gleichem Potential
- III. höherem Potential
- IV. Warten



### Impatient

Mit dieser Option erhält man eine Steigerung der vorherigen Funktion. Die Geduld aller Personen wird auf den Wert 0 Sekunden gesetzt, was zur Konsequenz hat, dass zu jeder Zeit die oben genannten Möglichkeiten der Bewegung im Potentialfeld aktiv sind.

### Stair Packing

Ist Stair Packing aktiviert, nutzen die Personen alle Knoten einer Treppe, ohne Freiräume zu lassen.

Im Gegensatz dazu wird jeweils eine Treppenstufe zwischen zwei Personen freigelassen, wenn die Funktion nicht angewählt ist.

### Angle of Movement / Avoid Pop. Density

Diese beiden Funktionen sollen ein natürlicheres Bewegungsverhalten der Population simulieren. Zum einen wird damit Einfluss genommen auf etwaige Richtungsänderungen einer Person, zum anderen wird die Wahl von Zielknoten durch die Personendichte beeinflusst.

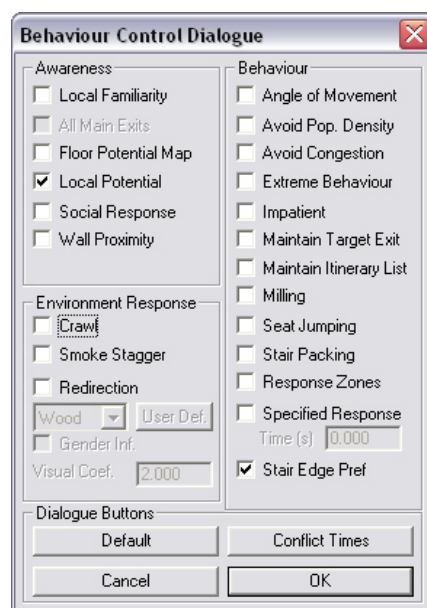


Abbildung 4.6 Dialogfenster über Verhalten und Kenntnisstand der Population

Die Kontrollkästchen des „Environment Response“ definieren das Verhalten der Population während eines Feuers bzw. im Bereich des Feuers.

### **Kriechen (Crawl)**

Ist diese Funktion aktiviert, beginnen die Personen in Bereichen zu kriechen, wo eine bestimmte Rauchkonzentration überschritten wird. Sie bewegen sich dann mit der angegebenen Geschwindigkeit für diese Gangart fort (siehe Kapitel 4.2.3).

### **Schwankende Bewegung durch Rauch (Smoke Stagger)**

Smoke Stagger beeinflusst die Richtung, die Personen wählen, wenn sie in verrauchte Bereiche eines Gebäudes gelangen. Ihre Fluchtrichtung ist nicht mehr geradlinig, sondern schwankt in unterschiedliche Richtungen aufgrund von Orientierungslosigkeit.

### **Umkehren (Redirection)**

Diese Option ermöglicht es den Flüchtigen, ihre Richtung zu ändern, wenn sie mit rauchgefüllten Umgebungen konfrontiert werden. Wird die Funktion aktiviert, muss eine Modellauswahl getroffen werden, die Wahrscheinlichkeiten für eine Umkehr abhängig von der Sichtweite angibt.

Gegenüber den vorhergehenden Modulen existieren im Simulation Mode keine erforderlichen und zusätzlichen Funktionen, sondern ausschließlich Möglichkeiten, den Berechnungsablauf zu steuern und zu beobachten. Diese sollen hier nochmals stichwortartig aufgeführt werden.

- Starten, Pausieren und Stoppen der Simulation
- Einstellungen über die Verhaltensweisen der Population und die Auswirkungen von Feuer und Rauch
- Darstellung der Ergebnisse auf graphische und tabellarische Art
- Unterschiedliche Ansichten der Simulationsebene

### 4.2.5 Scenario Mode

Im Szenario Mode hat der Nutzer die Möglichkeit, Brand- und Rauchszenarien in der Gebäudegeometrie zu generieren. Da buildingExodus keine eigenen Brandsimulationen berechnen kann, geschieht dies mit Hilfe unterschiedlicher zeitgesteuerter Zonen.

Jede Zone ist in ihrer Größe und Position durch die Knoten, die sie enthält, definiert. Abbildung 4.7 zeigt den Zonen Editor aus dem Szenario Mode und vier bereits erstellte Bereiche. Die Zone „Feuer, klein“ ist in der Mitte des Eingangsbereichs sichtbar und besteht aus zwölf Knoten.

Im weiteren Arbeitsschritt wird jeder Zone ein „Hazard“ zugewiesen, was einer Ansammlung von unterschiedlichen Parametern entspricht. Definiert werden z.B. die Temperatur, Konzentrationen von Sauerstoff, Kohlenmonoxid oder Salzsäure sowie Rauchmengen und Wärmestrahlung. Zur Simulation horizontaler Schichtenbildung sieht das Programm eine Unterteilung in einen oberen und unteren Raumabschnitt vor. Die Werte für Temperatur und Konzentrationen im oberen Bereich sollen dabei die Belastungen für stehende Personen in Kopfhöhe simulieren, während hingegen kriechende Personen anderen Umgebungsparametern ausgesetzt sind. Die vergebenen Variablen gelten für alle Knoten einer Zone im gleichen Maß. Abbildung 4.8 stellt den Hazard Editor und das Dialogfenster für die Werte der oberen Schicht dar.

Neben der Definition eigener Zonen kann buildingExodus ebenfalls die Daten der Brandsimulationsprogramme CFAST und SMARTFIRE importieren. In diesem Fall erfolgt eine automatische Übernahme der entsprechenden Werte für die Umgebungsparameter. [10]

## 4 Entfluchtungssimulation mit dem Programm buildingExodus

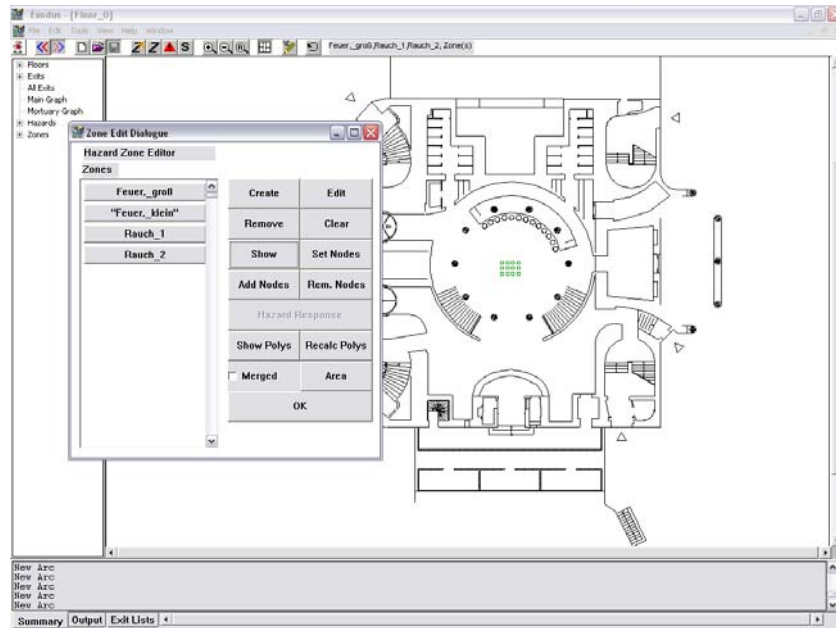


Abbildung 4.7 Zonen Editor im Scenario Mode

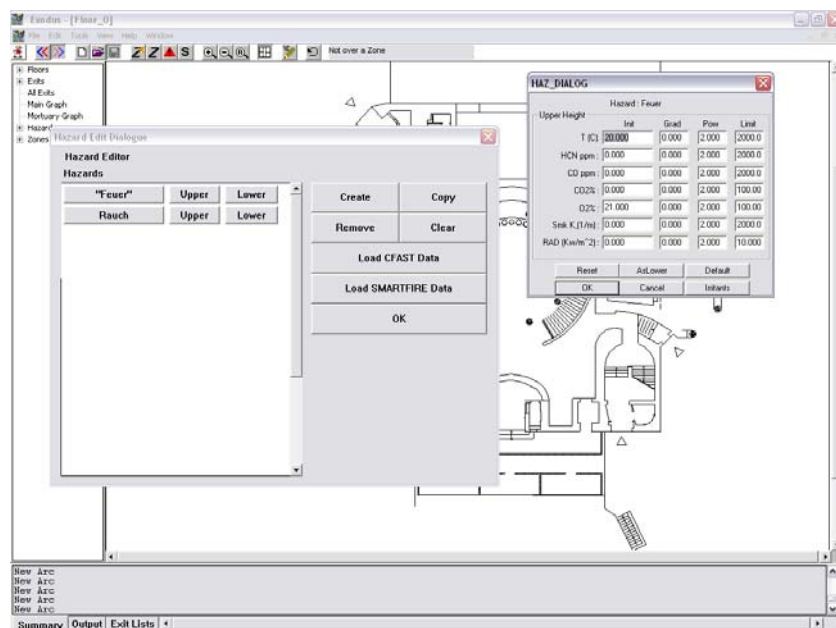


Abbildung 4.8 Hazard Editor

Zur Komplettierung eines Brand- oder Rauchszenarios gehört abschließend die Vergabe von Start- und Endzeitpunkten jeder Zone. Der Nutzer kann mittels der genannten Arbeitsschritte eine stufenweise Entstehung und Ausbreitung eines Brandes in der Gebäudegeometrie simulieren und damit den Einfluss auf die Population während der Evakuierung erarbeiten. Abbildung 4.9 zeigt die zeitliche Verteilung der Ereignisse im Eingangsbereich des „Goya Hauptstadtlubs“.

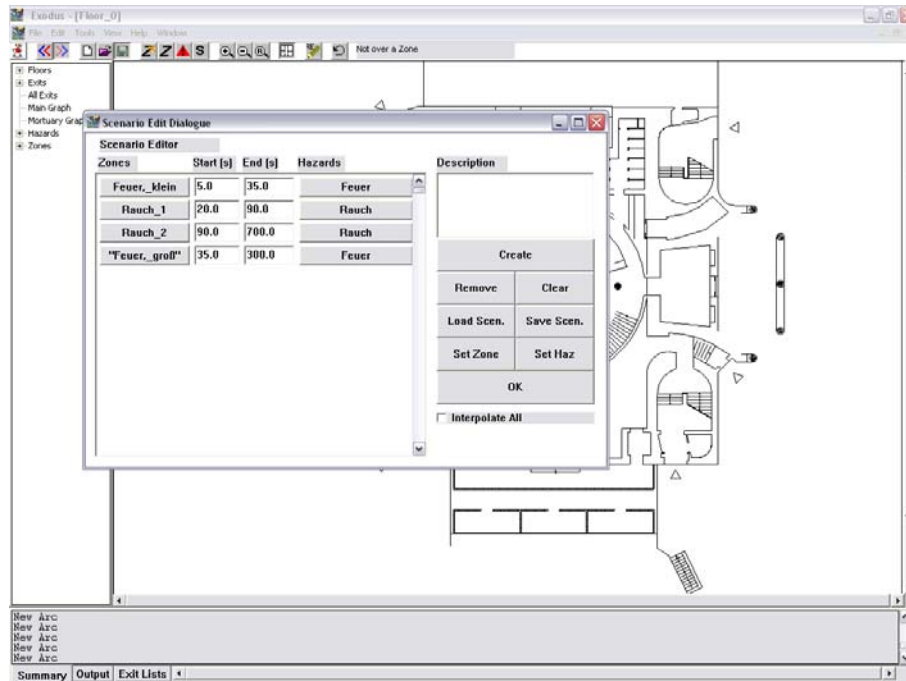


Abbildung 4.9 Szenario Editor

### 4.2.6 Ausgabe der Ergebnisse

Das Programm buildingExodus ermöglicht eine sehr detaillierte Ausgabe von Simulationsergebnissen. Bereits in Kapitel 4.2.4 wurde beschrieben, dass während der Evakuierung die Resultate ständig aktualisiert werden.

Die Bereitstellung von Ergebnissen gliedert sich in mehrere Bereiche, wobei eine tabellarische, graphische und textartige Auswertung stattfindet.

Im Simulation Mode findet der Nutzer die erste und einfachste Art der Informationsdarstellung, in Form der Simulation Clock und einem Zähler, der die bereits geflüchteten Personen aufsummiert. Abbildung 4.10 zeigt beide Anzeigen während einer Simulation. Die Zeit wird, wie bereits erwähnt, in Stunden, Minuten, Sekunden und 1/10'tel Sekunden gemessen.

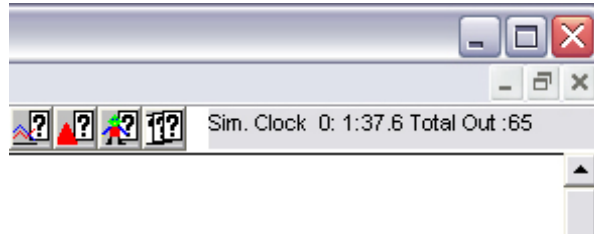


Abbildung 4.10 Sim. Clock und Zähler im Simulation Mode

Eine sehr weit reichende Präsentation von Ergebnissen liefert die Software im unteren Bereich des Programmfensters. Dort geben drei unterschiedliche Darstellungen Aufschluss über die Nutzung der verschiedenen Ausgänge, die Population und die gewählten Parameter der Simulation.

Im Fenster „Exit Lists“ wird für jeden Ausgang die Anzahl der Personen graphisch dargestellt, die ihn zum Verlassen des Gebäudes genutzt haben. Dazu wird jedes Individuum, entsprechend der farblichen Darstellung in der Simulationsfläche, als Symbol abgebildet. Eine Aufsummierung findet an dieser Stelle nicht statt, so dass hier nur ein qualitativer Vergleich zwischen den „External Exits“ möglich ist. Abbildung 4.11 zeigt für das Projekt Goya Hauptstadtclub die „Exit Lists“.

Der Nutzer erhält damit einen Überblick über den zeitlichen Verlauf der Entfluchtung, bezogen auf jeden einzelnen Ausgang. Somit ist es möglich, Verzögerungen zu erkennen und gegebenenfalls Varianten und Änderungen zu testen.



Abbildung 4.11 "Exit Lists" für eine Simulation mit sechs Ausgängen

Das Fenster „Summary“ gibt keine reinen Ergebnisse aus, sondern informiert über die Geometrie und über Parameter der Türen. Im Speziellen werden die Anzahlen der Knoten, der Personen und der definierten Zonen angegeben. Für jeden Ausgang wird eine Textzeile

generiert, die den Zustand, die Durchflussrate, das Potential und die Personen angibt. Außerdem werden die Bearbeitungsschritte, die durch die Funktion UNDO rückgängig zu machen sind, angezeigt.

Abgeschlossen wird dieser Bereich des Programmfensters durch die Output Liste. Die Anwendung generiert diese umfangreiche Zusammenfassung nach jeder Simulation neu. Enthalten sind sehr detaillierte Informationen über jede Person aus der Population. Abbildung 4.12 zeigt einen Ausschnitt aus der Liste. Im oberen Bereich sind die Daten für die Personen aufgeführt, unten stehen Werte eines „Internal Exit“. Erstmals werden hier auch Zeiten für den frühesten und spätesten Eintritt einer Person angegeben.

1290	Female	4842	2	Floor_2	24	56.00	1.00	19.24	Treppenhaus_B	450.70	40.39	512.08	0
1291	Female	5635	2	Floor_2	41	50.00	1.00	16.45	Treppenhaus_B	434.19	58.28	513.48	0
1292	Female	5539	2	Floor_2	46	67.00	1.00	6.83	Treppenhaus_B	447.75	62.49	516.25	0
1293	Female	6630	3	Floor_3	46	57.00	1.00	8.07	Treppenhaus_B	444.26	56.73	516.31	0
1294	Female	3243	1	Floor_1	35	58.00	1.00	20.31	Treppenhaus_B	451.81	49.54	516.83	0
1295	Female	4874	2	Floor_2	59	53.00	1.00	19.64	Treppenhaus_B	452.39	51.61	519.26	0
1296	Female	6921	3	Floor_3	20	52.00	1.00	24.09	Treppenhaus_B	440.14	49.92	519.87	0
1297	Female	8169	3	Floor_3	36	63.00	1.00	28.27	Treppenhaus_B	461.06	32.41	520.51	0
1298	Female	7291	3	Floor_3	49	58.00	1.00	19.10	Treppenhaus_B	438.40	69.78	522.94	0
+++++													
Avg													
Internal Doors and Census Points performances :-													
+++++													
Int. Exit: Drehtür_1 Number Used: 75 First entry: 6.67 (s) Last : 52.99 (s) Avg PPM : 97.17													
Flow Time: 46.31 (s) No Flow Time: 0.00 (s) MNS : 0.00 (%)													
Event Times (secs) None													
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33													
Forward 75 Avg PPM : 97.17													
Int. Exit: Drehtür Number Used: 2 First entry: 3.23 (s) Last : 21.68 (s) Avg PPM : 6.50													
Flow Time: 18.45 (s) No Flow Time: 15.45 (s) MNS : 83.72 (%)													
Event Times (secs) None													
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33													
Forward 2 Avg PPM : 6.50													
Summary Output Exit Lists													

Abbildung 4.12 Ausschnitt aus der Output Liste

Als dritte Möglichkeit präsentiert buildingExodus dem Nutzer die Ergebnisse einer Simulation in Form von Graphen. Diese Darstellungsweise kann sowohl in Echtzeit als auch nach Abschluss der Simulation für sämtliche interne und externe Ausgänge abgerufen werden. Zusätzlich gibt es jeweils ein Diagramm für die Gesamtmenge geflüchteter Personen gegenüber der Zeit (All Exits) sowie für den Vergleich mehrerer Simulationsdurchgänge (Main Graph).

Die beiden letztgenannten Schaubilder kann der Nutzer aufrufen, indem er auf die jeweiligen Namen in dem Baumdiagramm auf der linken Seite des Programmfensters doppelklickt.

Alle anderen Graphen müssen entweder gesondert geöffnet werden oder mit Hilfe der Menüfunktion VIEW → DISPLAY → GRAPHS.

Als Darstellung für die Schaubilder kann eine aufsummierende Form gewählt werden oder eine Form, bei der in Zeitschritten die Veränderungen angezeigt werden.

Dabei haben die Diagramme für die Y-Achse entweder die Einheit über die Anzahl von Personen (z.B. Number of People out) oder die Durchflussrate pro Zeiteinheit (z.B. flow

## 4 Entfluchtungssimulation mit dem Programm buildingExodus

rate/5.0). Auf der X-Achse wird in jedem Fall die verstrichene Zeit aufgetragen. Die Abbildung 4.13 und Abbildung 4.14 zeigen unterschiedliche Schaubilder in beiden Darstellungsarten.

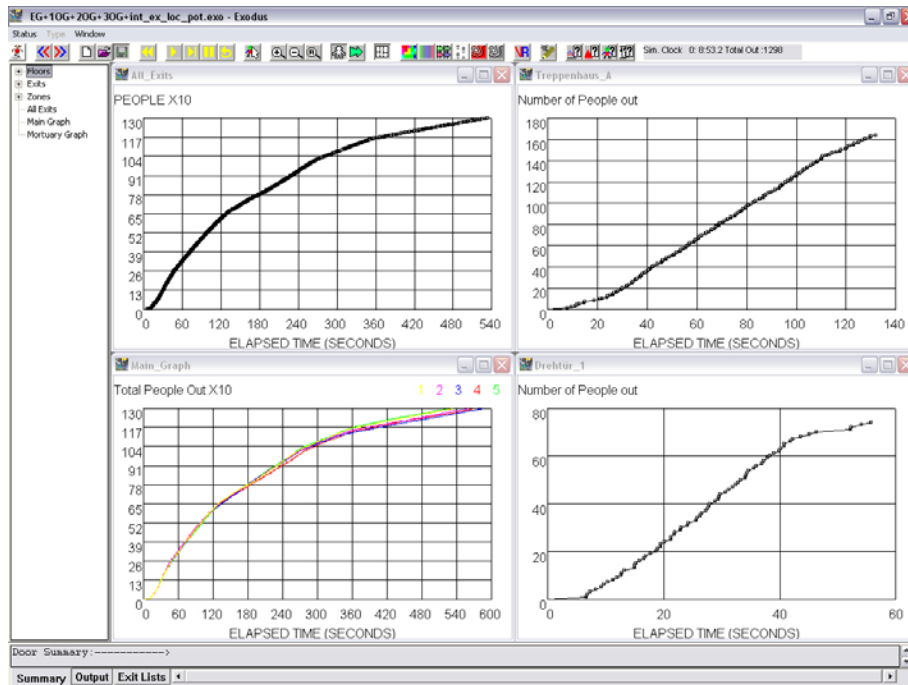


Abbildung 4.13 Aufsummierende Darstellung mehrerer Diagramme

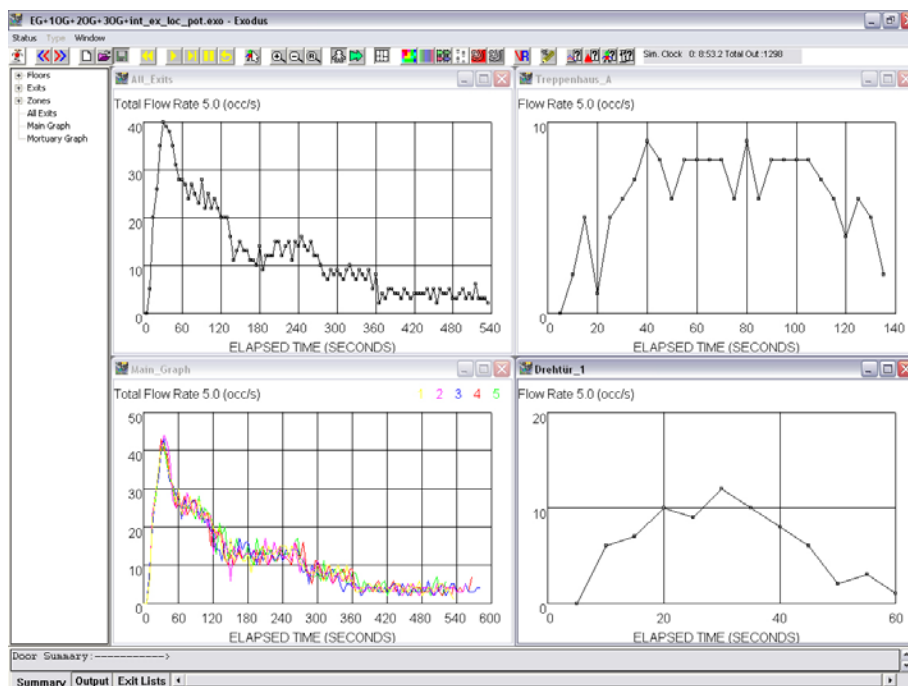


Abbildung 4.14 Darstellung in Form von Zeitschritten



Alle oben genannten Möglichkeiten der Ergebnisdarstellung gehen nach Beendigung des Programms verloren und können nur durch eine erneute Evakuierungssimulation des Gebäudes wieder gewonnen werden. Exodus kann jedoch für jede Simulation eine Datei anlegen, die sämtliche Informationen über Einstellungen und den Ablauf enthält und speichert. Der Nutzer kann mit Hilfe dieses Protokolls eine Interpretation der Ergebnisse bzw. einen Vergleich verschiedener Versuche zu einem späteren Zeitpunkt durchführen. Der Umfang dieser Datei kann im Simulation Mode im Fenster „Data Output Control Dialogue“ bestimmt werden.

Eine entsprechende Datei des Goya Hauptstadtclubs ist im Anhang zu finden.

### **4.3 Parameterstudie**

Das Programm buildingExodus arbeitet mit einer sehr großen Anzahl unterschiedlichster Parameter, die es dem Nutzer ermöglichen, eine Simulation speziell nach seinen Vorstellungen zu generieren und an die Gegebenheiten der Realität anzupassen. In den folgenden Kapiteln werden diese Variablen untersucht und deren Einfluss auf den Ablauf und die Ergebnisse einer Simulation hervorgehoben. Im Einzelnen werden die Auswirkungen auf die Evakuierungsdauer und, falls möglich, auf die Wahl der Fluchtwege beschrieben. Eine genaue Beschreibung der Parameter fand bereits in den Kapiteln 4.2.2 bis 4.2.5 statt.

#### **4.3.1 Variationen der Simulationsbevölkerung**

Die Zusammensetzung der Simulationsbevölkerung hat entscheidenden Einfluss auf den Ablauf einer Evakuierungsberechnung in buildingExodus. Wie in Kapitel 4.2.3 bereits beschrieben wurde, gibt es eine große Anzahl von Parametern, die das Verhalten der unterschiedlichen Personengruppen definieren. In diesem Kapitel werden die Variationen an der Population des Projektes „Goya Hauptstadtclub“ vorgestellt und deren Auswirkungen auf die Simulation erläutert.

Die einfachste Art eine Population zu erstellen ist die Verwendung der vordefinierten Standardpopulation. Diese setzt sich aus sechs Personengruppen unterschiedlichen Alters und

Geschlechts zusammen. Im Einzelnen sind dies die Altersgruppen „17-29“, „30-50“ und „51-80“ Jahre, jeweils für männliche und weibliche Personen. Es muss jedoch beachtet werden, dass bei der Vergabe der Parameterwerte keine Unterscheidungen zwischen den Gruppen getroffen wurden, sodass sich alle Personen der Standardpopulation ähnlich verhalten.

Ist ein unterschiedliches Verhalten gewünscht oder sollen nur bestimmte Gruppen die Flucht aus einem Gebäude simulieren, wie z.B. einem Seniorenheim oder einer Diskothek, müssen Anpassungen erfolgen.

Für den Goya Hauptstadtclub sind Simulationen mit den verschiedensten Populationen durchgeführt worden um eine Abschätzung der Auswirkungen auf die Ergebnisse zu erlangen. In Tabelle 1 sind die Resultate der Versuche mit unterschiedlichen Bevölkerungszusammensetzungen, bei gleicher Personenanzahl von 1300, gegenübergestellt. Anschließend wurden die Effekte der Parameter, wie z.B. travel speed und mobility, mit Hilfe einer einzigen Gruppe erarbeitet.

Beschreibung der Bevölkerung	Gruppenanzahl / Zusammensetzung	Entfluchtungszeit
Standardpopulation	6 / alle Gruppen gleich	9:03:00
30-50 Jahre	1 / gleiche Parameter wie Standardpop.	9:05:00
Standardpopulation bearbeitet	6 / unterschiedliche Parameter für die Gruppen	9:30:00
17-29/30-50 Jahre	4 / unterschiedliche Parameter für die Gruppen	8:16:00
Nur 17-29 Jahre	2 / Männer und Frauen haben gleiche Parameter	7:35:00
Nur 50-80 Jahre	2 / Männer und Frauen haben gleiche Parameter	9:44:00

**Tabelle 1 Entfluchtungszeiten bei unterschiedlichen Bevölkerungszusammensetzungen**

Man erkennt, dass erst nach der Anpassung der Parameter an die Altersstruktur Unterschiede im Evakuierungsprozess sichtbar werden. Die getroffenen Veränderungen beziehen sich bei diesem Beispiel auf das Durchsetzungsvermögen (Drive), die Geduld (Patience) und die Werte im Fenster „travel speeds“. Die Simulationsläufe 1. bis 3. zeigen deutlich, dass die

vordefinierte Standardpopulation keine Unterschiede in den Personengruppen macht. Sie verhält sich bezüglich der Entfluchtungszeit identisch wie eine entsprechend große Population, die lediglich aus einer Personengruppe besteht. In beiden Fällen flüchten 1300 Personen mit exakt den gleichen Variablen. In Zeile drei wurden erstmals Variationen der Gruppenparameter vorgenommen, was zu einer Verlängerung der Evakuierung führt. Erklären lassen sich diese Veränderungen mit der niedrigeren Geschwindigkeit und dem geringeren Durchsetzungsvermögen (Drive) der älteren Personen.

Die Simulationsläufe 4. bis 6. unterscheiden sich ebenfalls in der Zusammensetzung der 1300 Personen aus verschiedenen Gruppen. Es wird ersichtlich, dass ein direkter Zusammenhang zwischen Altersgruppen und Entfluchtungszeit besteht.

Im nächsten Versuch bestand die Simulationsbevölkerung aus 1300 Personen der Gruppe „30-50 Jahre“. Um die Auswirkungen der Einflussgrößen Mobilität, Geschwindigkeit und Agilität zu demonstrieren wurden diese Werte nacheinander verändert und die Simulationsergebnisse protokolliert.

Wie zu erwarten ist, ergeben sich keine Änderungen in der Entfluchtungszeit gegenüber dem vorherigen Versuch, wenn 1300 Personen einer Gruppe mit den vorgegebenen Parametern das Gebäude verlassen sollen. Werden jedoch die Parameter der Geschwindigkeit oder der Mobilität erhöht, sinkt die Evakuierungszeit deutlich.

Die Zeiten bestätigen außerdem, dass sich die individuelle Geschwindigkeit aus der Multiplikation der „Mobilität“ mit der entsprechenden „Fest-Geschwindigkeit“ errechnet.

Simulationslauf 2. und 3. liefern identische Ergebnisse, da sich die individuelle Geschwindigkeit in beiden Fällen nicht unterscheidet.

Die Agilität hat in diesem Versuch nur einen geringen Einfluss auf das Verhalten der Bevölkerung. Sie beschreibt hauptsächlich die Fähigkeit, Hindernisse zu überwinden, welche in diesem Szenario nicht berücksichtigt sind.

Beschreibung der Bevölkerung	veränderte Parameter	Entfluchtungszeit
1300 Personen „30-50 Jahre“	Wie vorgegeben	9:00:00
	Travel speeds + 20%	7:12:00
	Mobilität = 1,2	7:10:00
	Mobilität = 0,8	9:13:00
	Agilität = 5-9	8:56:00

**Tabelle 2 Entfluchtungszeiten bei Variation verschiedener Parameter**

### 4.3.2 Einflüsse unterschiedlicher Parameter der Gebäudeausgänge

Bei der Erstellung und Definition von Ausgängen werden dem Nutzer viele Möglichkeiten in Form von Parametern zur Verfügung gestellt. In Abschnitt 4.2.2 sind diese Variablen bereits erklärt worden.

Es existieren grundsätzlich zwei Arten von Parametern für jeden Ausgang, die physikalischen und die leistungsabhängigen Werte. Erstere beschreiben hauptsächlich die Lage und die Anzahl von Verbindungen und werden hier nicht genauer betrachtet.

Für die Evakuierungssimulation des Goya Hauptstadtclubs wurden sechs Ausgänge ins Freie definiert.

Das Foyer kann über zwei getrennte Ausgänge, jedes Treppenhaus durch einen eigenen Ausgang verlassen werden.

Im ersten Schritt werden Veränderungen an der Durchflussmenge vorgenommen und die Attraktivitäten einzelner External Exits variiert.

Der Parameter „Unit Flow Rate“ (siehe Kapitel 4.2.2) kann Werte zwischen 1,25 und 2,0 p/s/m annehmen. Bei dem bearbeiteten Projekt ergaben sich keine Änderungen im Ablauf der Simulation, da die Personen in jedem Fall ungehindert das Gebäude verlassen konnten. Sollten sich jedoch Warteschlangen vor einem Ausgang bilden, kann eine Anpassung dieser Variablen durchaus unterschiedliche Entfluchtungszeiten hervorrufen.

Die Attraktivität eines External Exits beschreibt die Größe seines Einflussgebiets, wobei sich alle Personen, die sich innerhalb dieser Zone befinden, für den jeweiligen Ausgang entscheiden. Eine Vergrößerung des Einflussbereichs lässt den Personenkreis ansteigen, der diese Entscheidung trifft. Mit diesem Hilfsmittel kann eine gewisse Steuerung erfolgen um unterschiedliche Personenmengen zu simulieren, die durch einen bestimmten Ausgang flüchten.

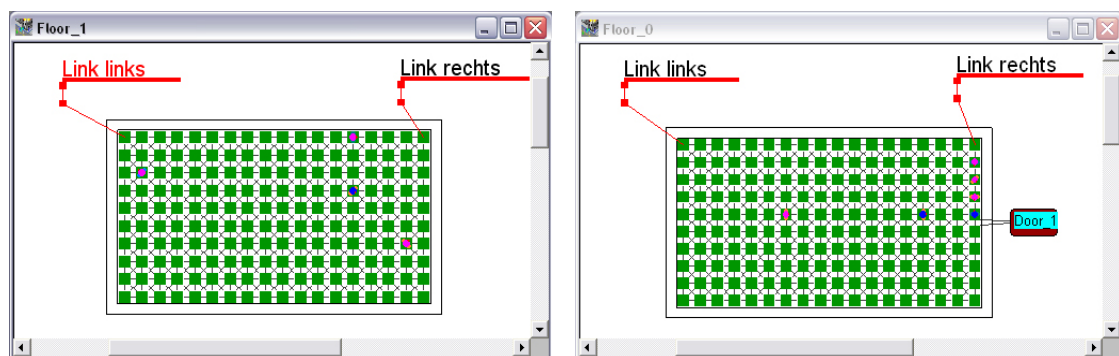
### 4.3.3 Floor Potential → local Potential

In diesem Kapitel werden die unterschiedlichen Möglichkeiten der zwei Funktionen „Floor Potential“ und „local Potential“ genauer erläutert und deren Einfluss auf das Fluchtverhalten

einer Population beschrieben. Zur Verdeutlichung sind ein einfaches Beispiel aus buildingExodus sowie die Potentialfelder verschiedener Stockwerke des Goya Hauptstadtelubs dargestellt.

Anschließend werden die Auswirkungen bezüglich der Evakuierungszeit und der Wahl der Fluchtwege des bearbeiteten Projektes dargelegt.

Das folgende Beispiel stellt ein vereinfachtes zweigeschossiges Gebäude mit einem Ausgang dar. Die obere Etage ist über zwei Treppen in der rechten und linken Ecke mit dem Erdgeschoss verbunden. Abbildung 4.15 macht die Geometrie der Simulationsfläche deutlich. Im Weiteren soll hier vor allem auf die Ausbildung der Potentialfelder sowie die Fluchtwege, die sich daraus ergeben, eingegangen werden.

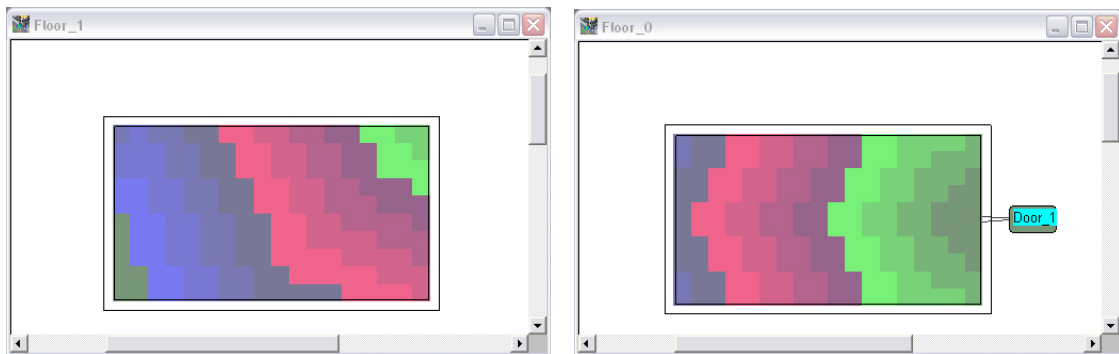


**Abbildung 4.15** Darstellung eines vereinfachten Gebäudes mit zwei Etagen

Abbildung 4.16 zeigt das Potentialfeld nach der Wahl der Funktion „local potential“. Im Erdgeschoss ist das Feld deutlich in Richtung des Ausgangs orientiert. Ein „external Exit“ hat üblicherweise ein Potential von 100 und damit den geringsten Wert der gesamten Simulationsfläche. Alle anderen Knoten erhalten ein Potential, dass abhängig von der Entfernung zum Ausgang ist.

Das Obergeschoss hat ebenfalls ein erkennbares Gefälle zur rechten Seite. Hier beeinflusst der kürzere Weg zum Ausgang über die rechte Treppe die Ausbildung des Potentialfeldes.

Personen, die aus dem zweiten Stockwerk fliehen, wählen in der Mehrzahl der Fälle diese Treppe als Fluchtweg ins Erdgeschoss und anschließend zum Ausgang. Da sich in diesem Fall nur wenige Personen im Obergeschoss aufhalten, stellt das Fluchtverhalten kein Problem dar. Sollten jedoch größere Personengruppen auf ein derartiges System treffen, können Warteschlangen vor einer Treppe entstehen, obwohl ein anderer Fluchtweg gänzlich frei ist.

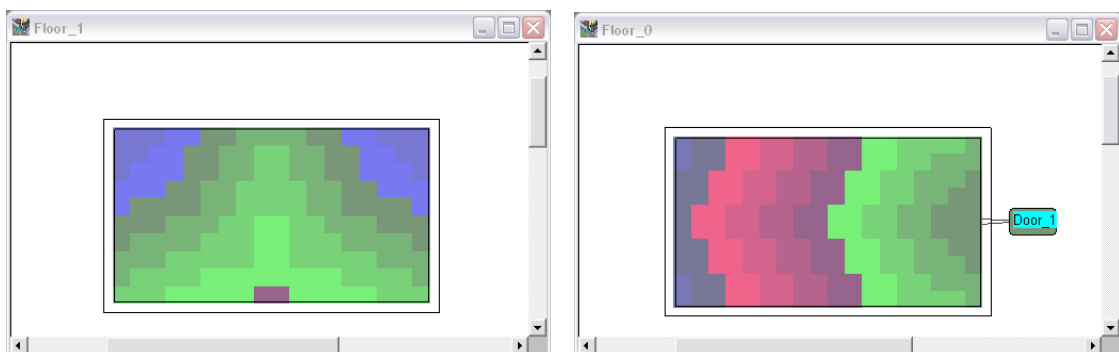


**Abbildung 4.16 Potentialfeld bei der Wahl der Funktion "local potential"**

Unter Verwendung der Funktion „floor potential“ ändert sich das Potentialfeld im Obergeschoss deutlich. In Abbildung 4.17 ist zu erkennen, dass das Potential nun zu beiden Treppen hin gleich abfällt. Der Aufbau eines derartigen Feldes beginnt stets an den Knoten, die eine Verbindung zum anderen Stockwerk herstellen, wobei diese alle den gleichen Potentialwert bekommen.

Die Personen aus dem zweiten Stockwerk flüchten nun gleichmäßig über beide Treppen ins Erdgeschoss und orientieren sich dort neu. Eine Überlastung einer einzelnen Treppe ist nicht möglich.

Die untere Etage bleibt von den Änderungen unbeeinträchtigt, da dort weiterhin der Ausgang für den Aufbau des Potentialfelds verantwortlich ist.



**Abbildung 4.17 Potentialfeld nach der Methode "floor potential"**

Beim Projekt Goya Hauptstadtclub wirken sich die Unterschiede in den Potentialfeldern deutlicher auf die Evakuierungsergebnisse aus als bei dem obigen Beispiel. Die Ursachen

dafür sind im Umfang des Projektes begründet. Das Gebäude besteht aus vier Stockwerken und mehreren Ausgängen. Außerdem ist die Simulationsbevölkerung mit 1300 bis 1500 Personen sehr groß.

Besonders im dritten Stockwerk kann man die oben genannten Effekte sehr gut beobachten, da dort viele Treppen in andere Etagen führen.

Abbildung 4.18 zeigt die Population in diesem Stockwerk ca. 35 Sekunden nach dem Beginn der Simulation. Man erkennt eine ungleichmäßige Verteilung vor den vier Haupttreppenhäusern mit teilweise ausgeprägten Warteschlangen.

Weiterhin wird deutlich, dass alle anderen Treppen nicht von den Personen genutzt werden.

Sowohl die beiden Treppen auf dem Balkonbereich als auch die Wendeltreppe für das Personal sind nahezu unbenutzt. Auch in diesem Beispiel richtet sich das Potentialfeld ausschließlich nach den Entfernungen zu den Ausgängen im Erdgeschoss. Das hat zur Folge, dass die Treppen kein einheitliches Potential aufweisen, was sie für die flüchtenden Personen unterschiedlich attraktiv macht. In Abbildung 4.19 wird dieser Effekt deutlich. Die Bereiche vor den Treppenhäusern haben entscheidend niedrigere Potentiale als etwa die Knoten vor den nicht benutzten Treppen.

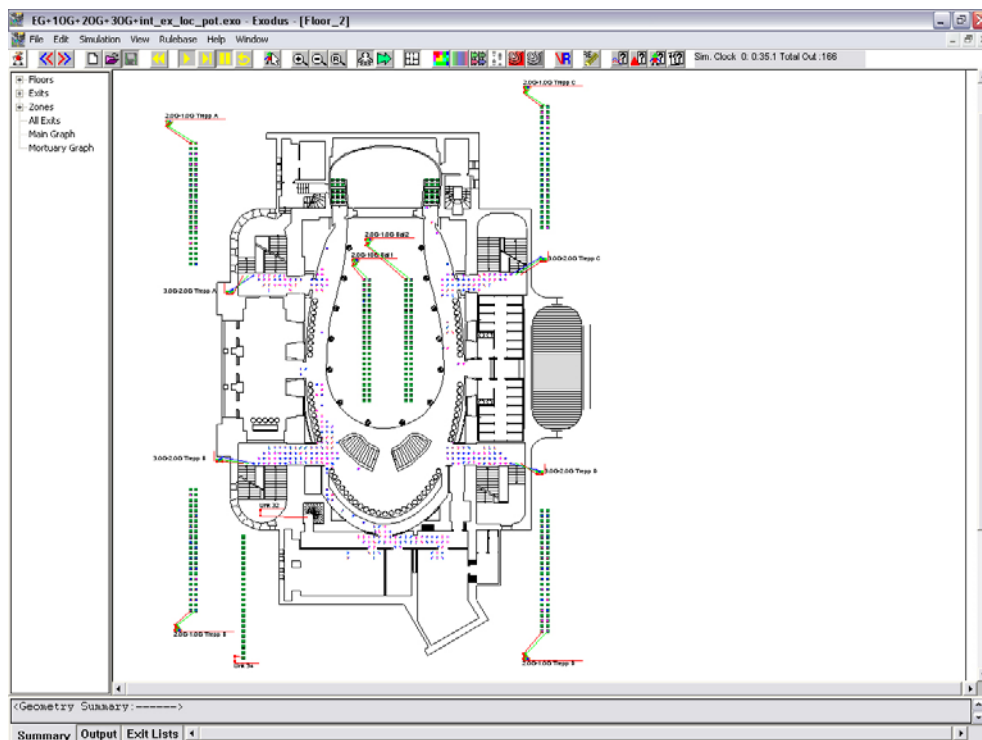
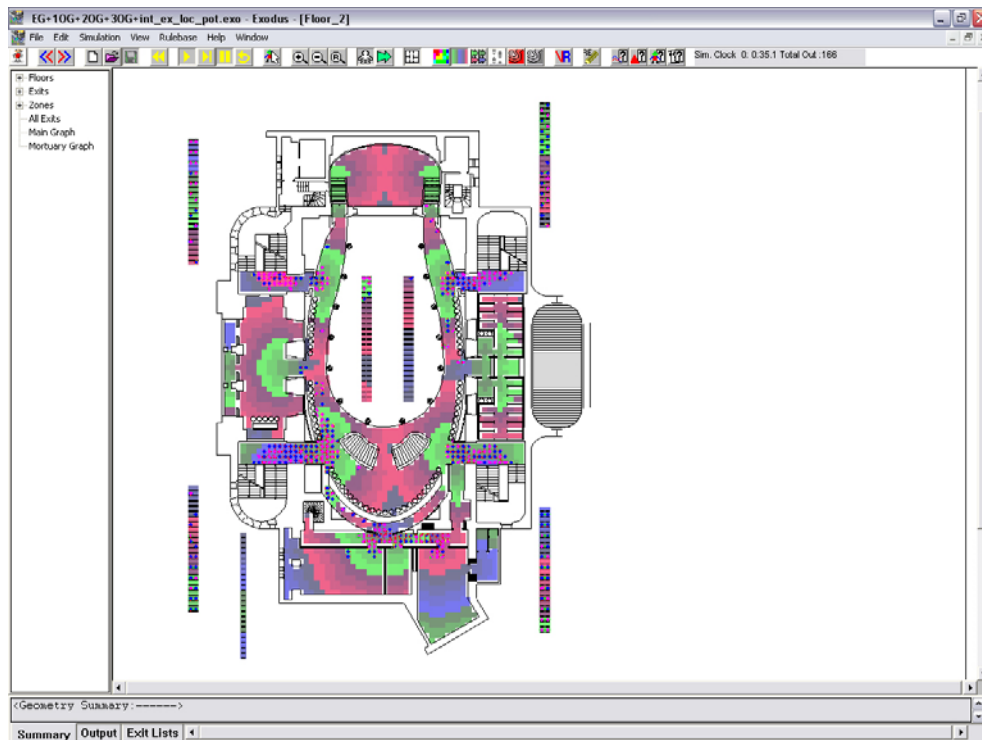


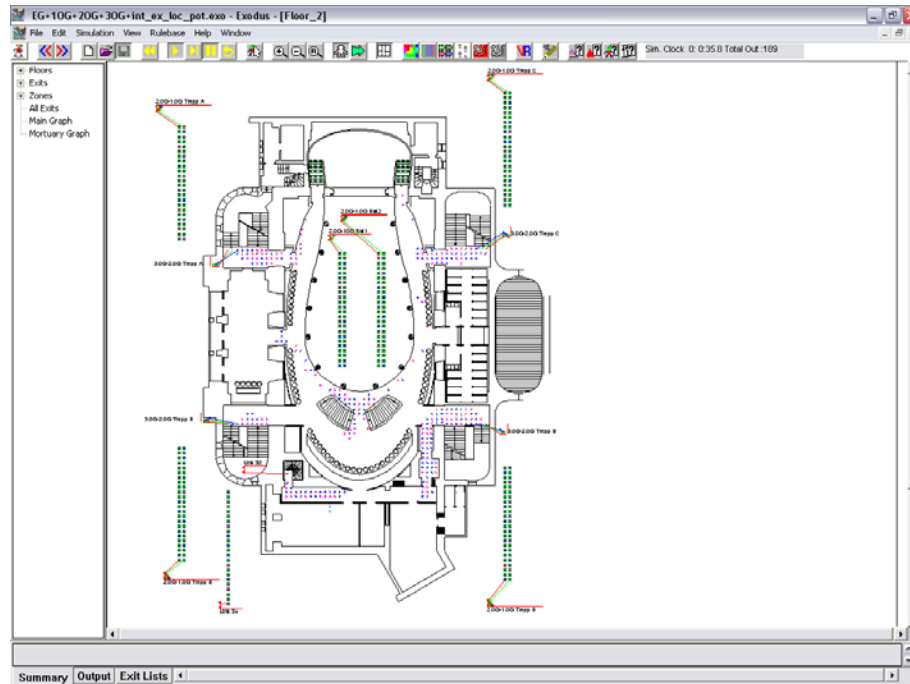
Abbildung 4.18 Verteilung der Population bei Simulation mit "local Potential"



**Abbildung 4.19 Potentialfeld des dritten Stockwerks bei "local Potential"**

Betrachtet man demgegenüber Abbildung 4.20, sieht man erhebliche Unterschiede in der Verteilung der Simulationsbevölkerung. Dargestellt ist der gleiche Gebäudeausschnitt, ebenfalls nach ca. 35 Sekunden. Vor dem Start der Simulation wurde jedoch die Funktion „floor potential“ aktiviert, was zur Folge hat, dass das Potentialfeld für jedes Stockwerk extra berechnet wird. Die Personen nutzen nun jede Treppe, über die sie in eine darunter liegende Etage gelangen.





**Abbildung 4.20** Verteilung der Population nach ca. 35 Sekunden bei "floor Potential"

Das Potentialfeld für diesen Fall ist in Abbildung 4.21 abgebildet. Die Bereiche des niedrigen Potentials vor den Treppenhäusern, grün dargestellt, sind erkennbar kleiner geworden.

Die untersten Stufen jeder Treppe haben nun identische Werte, was zur Folge hat, dass die zuvor ungenutzten Treppen jetzt gleichwertig sind.

Vergleicht man die Abläufe der Simulationen und deren Ergebnisse, wird deutlich, dass es große Unterschiede gibt. Ist das Potentialfeld nach der Funktion „local potential“ aufgebaut, nutzen die Personen zum überwiegenden Teil die vier Treppenhäuser in den Gebäudeecken. Die Fluchtwege über die Balkonbereiche und das Personaltreppenhaus bleiben unberücksichtigt. Daraus ergeben sich zwei wesentliche Merkmale, die die Simulationsdauer entscheidend beeinflussen. Bereits nach kurzer Zeit flüchten keine Personen mehr durch die Hauptausgänge im Erdgeschoss, da diese nur über die Treppen im Gebäudeinneren erreichbar sind. Aus den oberen Stockwerken müssen alle dort platzierten Personen über die vier Treppenhäuser ins Freie gelangen. In den Fluren, die zu diesen Treppen führen, bilden sich lange Warteschlangen. Insgesamt errechnet buildingExodus für die Evakuierung von 1300 Personen ca. 9 Minuten.

Im Gegensatz dazu hat bereits nach ca. 7,5 Minuten die gesamte Simulationsbevölkerung das Gebäude verlassen, wenn die Funktion „floor potential“ aktiviert ist. Als Erklärung dient hier die Tatsache, dass alle Treppen benutzt werden und die Personen während der gesamten

Evakuierung sechs Ausgänge benutzen. Die Warteschlangen an den Treppenhäusern verkürzen sich deutlich.

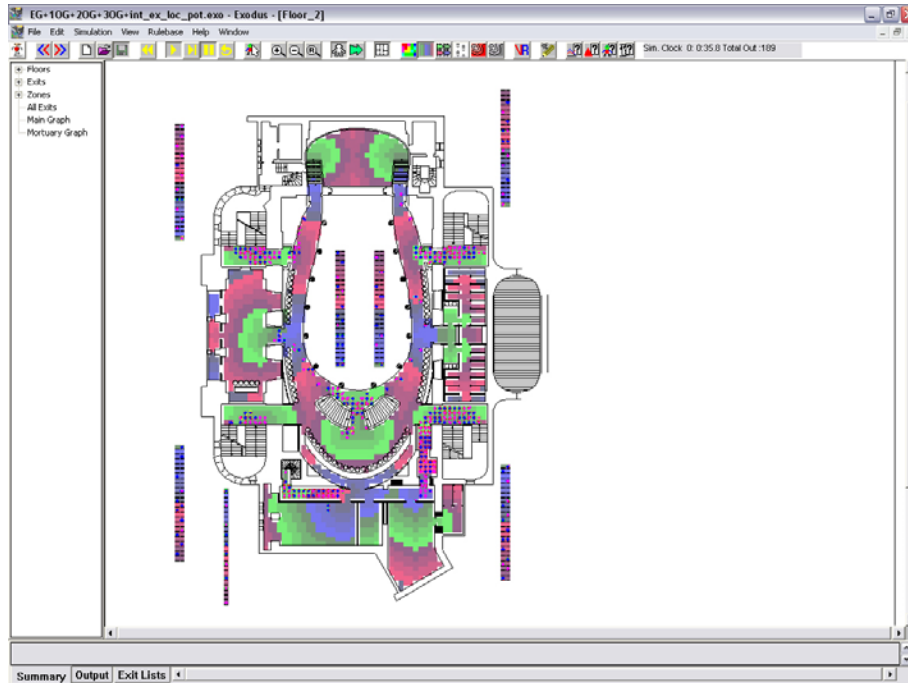


Abbildung 4.21 Potentialfeld nach der Methode "floor potential"

### 4.3.4 Wichtige Parameter der Verhaltensoptionen (Behaviour Options)

#### Extreme Behaviour (Extremes Verhalten)

Extreme Behaviour ermöglicht den flüchtenden Personen einen freieren Umgang mit dem Potentialfeld, wenn ihre vorgegebenen Werte bezüglich Geduld überschritten werden (siehe Kapitel 4.2.4).

Vor den Treppenhäusern des Goya Hauptstadtclubs bilden sich zum Teil lange Warteschlangen aus, sodass einzelne Personen oftmals in diesen Modus wechseln. Es ist ihnen aber dennoch nicht möglich einen anderen Ausgang zu wählen, da sie dafür mehrmals nacheinander einen Knoten mit höherem Potential ansteuern müssten. Hat eine Person diesen Schritt einmal getan, ist jedoch wieder ein Knoten mit niedrigerem Potential frei, welcher sofort als neues Ziel gewählt wird. Als Konsequenz ist an den Enden der Warteschlangen ein

auffälliges Hin- und Herlaufen der Personen zu beobachten, das allerdings keinen Einfluss auf die Evakuierung hat.

### **Impatient (Ungeduld)**

In der mitgelieferten Literatur zu buildingExodus wird die Funktion „Impatient“ als Steigerung von „Extreme Behaviour“ beschrieben. Der Wert der Variablen „Geduld“ jeder Person wird zu Null gesetzt, sodass ein extremes Verhalten mit den genannten Auswirkungen zu jedem Zeitpunkt eintritt.

Die Simulationen haben gezeigt, dass eine deutlich geringere Evakuierungszeit erreicht wird. Dies lässt sich jedoch mit den Ausführungen in der Programmbeschreibung und den Beobachtungen der Simulationen nicht hinreichend genau erklären. Die Ergebnisse belegen, dass die Personen keine Unterschiede in der Wahl der Ausgänge machen. Es kann daher nur vermutet werden, dass die Funktion zusätzlich die Geschwindigkeiten der Population beeinflusst.

### **Wall Proximity (Vermeidung von Wandkontakt)**

Die Personen vermeiden den direkten Kontakt mit den Wandflächen, indem sie die entsprechenden Knoten „ungerne“ betreten (siehe Kapitel 4.2.4).

Während einer Simulation kann dieses Verhalten in Bereichen beobachtet werden, wo eine flüssige Bewegung stattfindet. Entsprechende Querschnitte werden damit gewissermaßen eingengt. Entstehen jedoch Stauungen an Treppen oder Ausgängen, nutzt die Simulationsbevölkerung alle zur Verfügung stehenden Knoten.

Eine signifikante Änderung der Evakuierungszeit konnte nicht ermittelt werden.

### **Stair Packing (Gedränge auf Treppen)**

Stair Packing ist eine andere Art der Fortbewegung auf den Treppen (siehe Kapitel 4.2.4).

Das Verhalten ist während der Simulation deutlich zu erkennen, da die Treppen ohne Freiräume mit Personen gefüllt sind. Als Ergebnis entstehen wesentlich kleinere Warteschlangen an den Treppenhäusern, was die Entfluchtungszeit deutlich reduziert.

Für das Projekt Goya Hauptstadtclub ergeben sich Evakuierungszeiten von ca. 4 Minuten gegenüber 8-9 Minuten bei Simulation ohne Stair Packing. Es kann jedoch bezweifelt werden, dass dieser Zeitunterschied realistisch ist. Die theoretischen Grundlagen für die Entfluchtung von Gebäuden z.B. nach Predtetschenski beschreiben in jedem Fall das Entstehen von Warteschlangen oberhalb von Treppen, da die Geschwindigkeiten der Personen dort deutlich abnehmen. Diese Personenansammlungen sind bei aktiver Funktion Stair Packing nicht mehr zu beobachten.

### **Seat Jumping**

Diese Option ermöglicht das Überspringen von Sitzreihen z.B. in Kinosälen und wird für das Projekt Goya Hauptstadtclub nicht verwendet.

### **Angle of Movement / Avoid Pop. Density**

Diese zwei Funktionen sollen ein natürlicheres Bewegungsverhalten der Population bewirken. Während der Simulationen für das Projekt Goya Hauptstadtclub konnten keine Veränderungen im Ablauf oder in den Ergebnissen festgestellt werden.

## **4.3.5 Veränderung der Knotenabstände**

Exodus simuliert das Fluchtverhalten aus Gebäuden mit Hilfe von verbundenen Knoten, die über die gesamte Geometrie verteilt sind. Die Größe dieser Knoten ist nicht explizit festgelegt, die Länge der Verbindungen ist jedoch genau definiert. Horizontale und vertikale

„Arcs“ sind 0,5 m lang, die Diagonalen haben eine Länge von ca. 0,71 m. Daraus ergibt sich eine rechnerische Anzahl von vier Knoten pro m<sup>2</sup> Gebäudefläche.

Für die Nachbildung einer Geometrie hat diese Tatsache zur Folge, dass die Diskretisierung ausschließlich in 50 cm – Schritten möglich ist. Eine Änderung der Knotenabstände ist in buildingExodus vorgesehen, konnte aber nicht realisiert werden, da vermutlich ein Programmfehler dies verhinderte.

Im Hinblick auf die Musterversammlungsstättenverordnung, die für die Dimensionierung der Fluchtwege des Goya Hauptstadtclubs herangezogen wurde, wäre eine Diskretisierung in 60 cm – Schritten wünschenswert. Allerdings kann vermutet werden, dass es keine Auswirkungen auf die Ergebnisse geben würde. Das Beispiel in Abbildung 4.22 soll verdeutlichen, dass die Knotenabstände nicht relevant sind.

Zu erkennen ist ein Raum, der über einen Flur evakuiert werden soll. Da sich in dem Raum 300 Personen aufhalten sollen, gilt nach Versammlungsstättenverordnung eine Mindestbreite von 1,8 m für den Fluchtweg. BuildingExodus verteilt jedoch drei Knoten nebeneinander, was einer rechnerischen Breite von 1,5 m entspricht.

Dennoch können sich auch in diesem diskretisierten Flur drei Personen nebeneinander bewegen, was demnach wiederum dem Hintergedanken der Versammlungsstättenverordnung entspricht. Wäre es dem Nutzer möglich, die Knotenabstände auf 60 cm zu erhöhen, ergäben sich keine Unterschiede im Ablauf der Simulation.

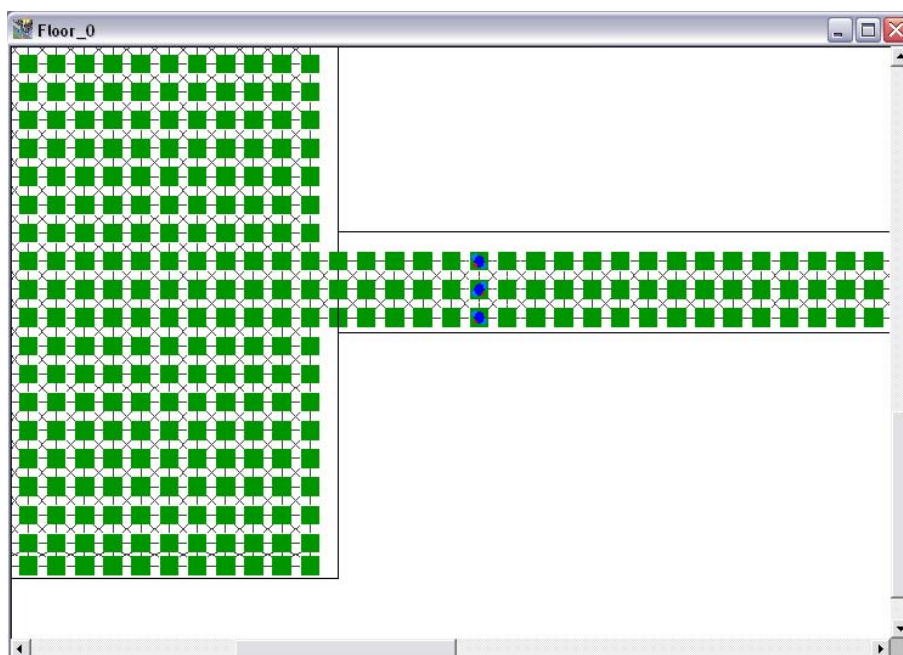


Abbildung 4.22 Diskretisierung einer Gebäudegeometrie

## **5 Evakuierungsberechnungen nach Predtetschenski**

### **5.1 Grundlagen des Berechnungsverfahrens**

Bereits in den 70er Jahren sammelten die russischen Wissenschaftler Predtetschenski und Milinski ausführliche und zusammenhängende Daten über Personenströme. In Verbindung mit den Datensammlungen stellten sie mathematische Grundgleichungen zur Berechnung dieser Ströme für verschiedene Wegabschnitte in Abhängigkeit von der Dichte auf. Die von ihnen entwickelten Berechnungsmethode sind dabei sowohl für die Bewegung von Personen unter normalen wie auch unter Gefahrenbedingungen anwendbar. Anders als bei bisherigen Verfahren wird bei der Methode von Predtetschenski und Milinski die Entleerung der Gebäude nicht nur anhand eines mittleren Personenflusses berechnet. Stattdessen ist es möglich zu jedem Zeitpunkt für jeden Wegabschnitt die Bewegungskenngößen sowie den gesamten Bewegungsablauf des Personenstromes zu bestimmen [7].

#### **5.1.1 Bewegungsarten**

Nach Ansicht der beiden Wissenschaftler wird die Bewegung von Personen in Räumen, Gebäuden oder anderen Einrichtungen nach einer Anzahl von Merkmalen (gerichtet, ungerichtet, übereinstimmend, frei, langandauernd, etc.) charakterisiert. Dabei wird grundsätzlich nach Einzel- und Massenbewegungen unterschieden. Da sich eine Einzelbewegung aus einer geringen Zahl an Personen zusammensetzt, führt diese lediglich in Ausnahmefällen zu Komplikationen beim Verlassen von Gebäuden.

Für die Bestimmung der Bewegung eines Personenstromes sind die Bewegungsgeschwindigkeit und der Flächenbedarf pro Person die maßgeblichen Einflussgrößen.

### 5.1.2 Bewegungsgeschwindigkeit

Durch Untersuchungen haben die russischen Wissenschaftler gezeigt, dass die Bewegungsgeschwindigkeit von Personenströmen eine Funktion der Dichte, der Art des Weges und der psychologischen Umstände ist. Sie stellten fest, dass unter Gefahrenbedingungen der psychologische Faktor einen maßgeblichen Einfluss auf die Bewegungsgeschwindigkeit bei gleich bleibender Dichte des Stromes hat. In das Rechenverfahren fließt dieser Umstand durch den Koeffizienten der Bewegungsbedingungen  $\mu$  ein. Die Größe  $\mu$  kann dabei folgende Werte annehmen:

- für normale Bedingungen:  $\mu = 1$
- für Gefahrenbedingungen:  $\mu = 1,15 - 1,49$
- für komfortable Bedingungen:  $\mu = 0,63 - 0,86$

### 5.1.3 Flächenbedarf pro Person

Die Abmessungen eines Menschen sind abhängig von den jeweiligen physischen Werten, dem Alter und der Kleidung. Zur Ermittlung des Flächenbedarfs wird vereinfachend eine Ellipse als senkrechte Projektion des menschlichen Körpers angenommen. Die Breite wird dabei an den Schultern, die Dicke in Höhe der Brust gemessen. In Tabelle 3 sind die Abmessungen von Personen unterschiedlichen Alters in verschiedener Kleidung aufgelistet.

Alter und Bekleidung der Person	Fläche f [m <sup>2</sup> / Person]
Kind	0,04 – 0,06
Jugendlicher	0,06 – 0,09
Erwachsener	
in Sommerkleidung	0,100
in Übergangsstraßenkleidung	0,113
in Winterstraßenkleidung	0,125

**Tabelle 3 Flächenbedarf unterschiedlicher Personen [3]**

Alter, Bekleidung und Gepäck der Person	Fläche $f$ [ $\text{m}^2$ / Person]
Erwachsener in Übergangsstraßenkleidung	
mit leichtem Gepäck	0,180
mit Koffer	0,240
mit Rucksack	0,260
mit schwerem Gepäck	0,390
mit einem Kind am Arm	0,260
mit einem Kind an der Hand	0,200
mit einem Kind an der Hand und Gepäck	0,320

Tabelle 4 Flächenbedarf mit unterschiedlichem Gepäck

### 5.1.4 Struktur des Personenstromes

Bei massenartigen, nicht übereinstimmenden, gerichteten, beschränkten oder freien, kurzzeitigen oder langandauernden Bewegungen, die unter normalen oder Gefahrenbedingungen verlaufen, bilden Menschen einen Strom in eine Richtung mit der Breite  $b - 2 \cdot \Delta b$  und der Länge  $l_{\text{Strom}}$ . Dabei ist  $b$  die Breite des Stromes und  $\Delta b$  der Zwischenraum, der durch das Schwanken beim Laufen oder durch Angst vor dem Anstoßen an die Konstruktionen entsteht. Wie in Abbildung 5.1 ersichtlich, werden das Kopf- und Endteil des Personenstromes jeweils aus einer geringeren Personenzahl als der Hauptstrom gebildet. Da die Menschenmenge am Kopf- und Endteil jedoch relativ klein im Vergleich zur Hauptmenge ist, wird der Strom vereinfachend als ein Rechteck betrachtet.

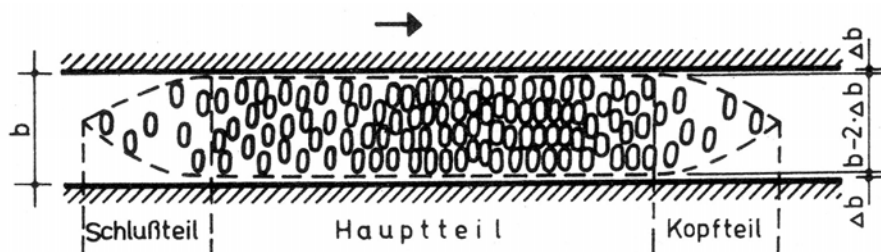


Abbildung 5.1 Struktur des Personenstromes



### 5.1.5 Dichte des Personenstromes

Die Dichte des Personenstromes ist abhängig von der Anzahl der Personen  $P$  und dem Flächenbedarf. Sie berechnet sich dabei aus dem Verhältnis der Summe des Flächenbedarfs aller Personen zur eingenommenen Grundfläche des Personenstromes. Predtetschenski und Milinski haben die folgende Formel angegeben:

$$D = \frac{\sum f}{b * l_{Strom}} \left[ \frac{m^2}{m^2} \right] \quad (1)$$

mit :

$$\sum f = \sum P * f^*$$

$$D \quad \text{Personenstromdichte} \left[ \frac{m^2}{m^2} \right]$$

$P$  Personenzahl

$b$  Wegbreite  $[m]$

$l_{Strom}$  Länge des Personenstromes  $[m]$

$f^*$  projizierte Grundrissfläche einer Person  $[m^2]$

Für die Bestimmung der maximalen Dichte wird davon ausgegangen, dass die Ellipse, die sich aus der senkrechten Projektion des Körpers ergibt, bei einer Verdichtung des Personenstromes keine Verformung erfährt. Infolgedessen liegt der physisch bedingte Grenzwert der Dichte bei  $D_{\max} = 0,92$ .

### 5.1.6 Durchlassfähigkeit und Bewegungsintensität von Personenströmen

Diejenige Menschenmenge, die sich pro Zeiteinheit in einem Querschnitt mit der Breite  $b$  bewegt, wird als Durchlassfähigkeit  $Q$  bezeichnet. Für die Berechnung von  $Q$  gilt:

$$Q = D * v * b \left[ \frac{m^2}{\min} \right] \quad (2)$$

mit:

$$D \quad \text{Personenstromdichte} \left[ \frac{m^2}{m^2} \right]$$

$$v \quad \text{Bewegungsgeschwindigkeit} \left[ \frac{m}{\text{min}} \right]$$

$$b \quad \text{Wegbreite [m]}$$

Das Produkt aus der Dichte  $D$  und der Bewegungsgeschwindigkeit des Personenstromes wird als Bewegungsintensität  $q$  bezeichnet. Die Werte für  $q$  charakterisieren den Bewegungsprozess somit unabhängig von der Wegbreite. Sie entsprechen der Größe der Durchlassfähigkeit eines Weges mit der Breite  $b = 1$  m. Für die Berechnung von  $q$  gilt:

$$q = D * v \quad \left[ \frac{m}{\text{min}} \right] \quad (3)$$

mit:

$$q \quad \text{Bewegungsintensität} \left[ \frac{m}{\text{min}} \right]$$

$$D \quad \text{Personenstromdichte} \left[ \frac{m^2}{m^2} \right]$$

$$v \quad \text{Bewegungsgeschwindigkeit} \left[ \frac{m}{\text{min}} \right]$$

Bei ansteigender Dichte nimmt die Bewegungsintensität  $q$  zunächst kontinuierlich zu, erreicht dann ihr Maximum  $q_{\max}$  und nimmt danach wieder ab. Diese Abnahme ergibt sich aus dem Entstehen von Stauungen und Bewegungsstockungen, die nach Überschreiten einer bestimmten Dichte auftreten. Der Verlauf der Kurve ist dabei abhängig von der Art des Weges (siehe Abbildung 5.2). Es wird zwischen den folgenden Wegarten unterschieden:

- *Horizontaler Weg*
- *Wegeinengungen und Durchgänge*
- *Treppe aufwärts*
- *Treppe abwärts*

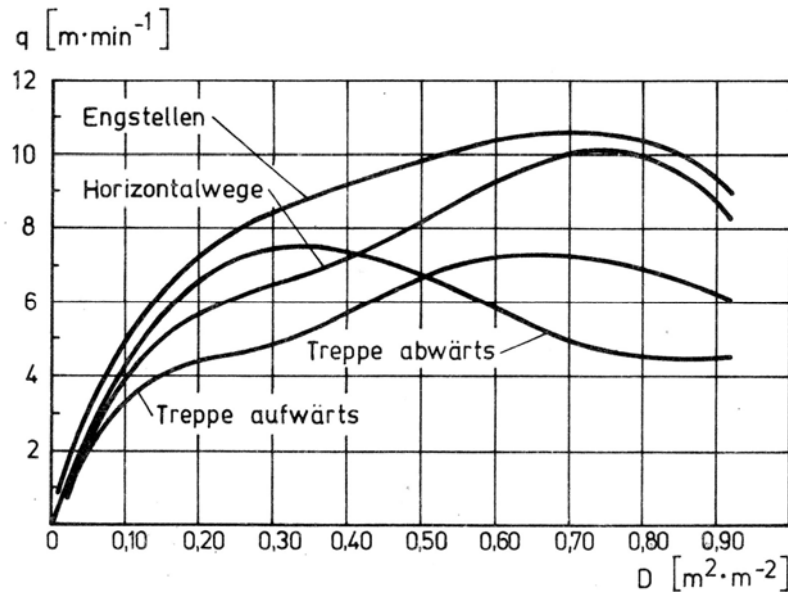


Abbildung 5.2 Bewegungsintensität in Abhängigkeit der Dichte

Im Allgemeinen kann beobachtet werden, dass die Durchlassfähigkeit von Engstellen etwas größer ist als die gleichgroßer horizontaler Wege. Diese Tatsache lässt sich durch das Verhalten von Menschen erklären, den engeren und folglich unbequemer Teil des Weges möglichst zügig hinter sich zu lassen.

Bei der Bewegung auf Treppen ist zu erkennen, dass die Bewegungsintensität für das Abwärtsgehen bei niedriger Dichte höher ist als auf horizontalen Wegen. Dies ist in dem niedrigeren Energieverbrauch für das Hinuntergehen begründet. Gegenteiliges ist für das Aufwärtsgehen von Treppen der Fall. Bei größeren Dichten ist jedoch ersichtlich, dass die Bewegungsintensität für das Abwärtsgehen geringer ausfällt als für das Aufwärtsgehen. Für dieses Verhalten ist das Empfinden von Unsicherheit beim Hinuntergehen von Treppen innerhalb eines dicht gedrängten Personenstromes ursächlich.

In den folgenden Tabellen sind die Grenzwerte der maximalen Bewegungsintensität  $q_{\max}$  und die Bewegungsintensität bei maximaler Dichte  $D_{\max} = 0,92$  für unterschiedliche Wegarten angegeben.

	Gefahrenbedingung	Normalbedingung	Komfortbedingung
Horizontaler Weg	12,42 m/min	10,12 m/min	8,31 m/min
Durchgang, Engpass	13,32 m/min	10,65 m/min	8,66 m/min
Treppe aufwärts	9,19 m/min	7,29 m/min	5,98 m/min
Treppe abwärts	9,04 m/min	7,47 m/min	5,68 m/min

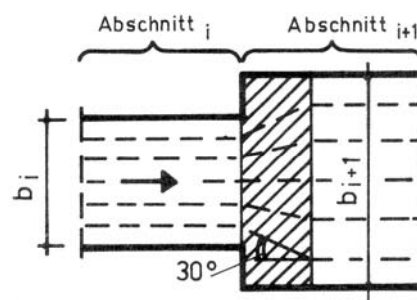
**Tabelle 5 Maximale Bewegungsintensität [3]**

	Gefahrenbedingung	Normalbedingung	Komfortbedingung
Horizontaler Weg	9,68 m/min	8,36 m/min	7,18 m/min
Durchgang, Engpass	10,38 m/min	8,94 m/min	7,74 m/min
Treppe aufwärts	7,64 m/min	6,06 m/min	4,86 m/min
Treppe abwärts	5,38 m/min	4,44 m/min	3,38 m/min

**Tabelle 6 Bewegungsintensität  $q$  bei maximaler Dichte  $D_{\max} = 0,92$** 

### 5.1.7 Grenzen aufeinander folgender Wegabschnitte

Grenzen aufeinander folgender Wegabschnitte sind Querschnitte der Verkehrswege, an denen sich die Wegbreite, die Art des Weges oder andere Faktoren ändern. Dabei kann es sowohl zu einer Veränderung eines einzelnen wie auch mehrerer dieser Faktoren kommen. In Abbildung 5.3 ist die Bewegung eines Personenstromes an der Grenze zweier aufeinander folgender Wegabschnitte dargestellt.


**Abbildung 5.3 Grenzen von Wegabschnitten verschiedener Breite (Wegverbreiterung)**

Wenn man annimmt, dass sich in Abschnitt  $i$  mit der Durchlassfähigkeit  $Q_i$  ein Personenstrom mit der Anzahl  $P_i$  Personen auf die Grenze zu Abschnitt  $i+1$  zubewegt, so wird die Bewegung in diesem Abschnitt mit der Durchlassfähigkeit  $Q_{i+1}$  fortgesetzt.

Bei einem ungehinderten Übergang über die Grenze zweier Wegabschnitte, wie in diesem Fall, muss die Durchlassfähigkeit beider Abschnitte gleich sein:

$$Q_i = Q_{i+1} \left[ \frac{m^2}{\min} \right] \quad (4)$$

oder

$$q_i * b_i = q_{i+1} * b_{i+1} \left[ \frac{m^2}{\min} \right]$$

mit

$$q_i \quad \text{Bewegungsintensität im Abschnitt } i \left[ \frac{m}{\min} \right]$$

$$b_i \quad \text{Breite des Abschnitts } i \text{ [m]}$$

$$q_{i+1} \quad \text{Bewegungsintensität im Abschnitt } i+1 \left[ \frac{m}{\min} \right]$$

$$b_{i+1} \quad \text{Breite des Abschnitts } i+1 \text{ [m]}$$

Daraus lässt sich die Intensität der Bewegung in Abschnitt  $i+1$  berechnen:

$$q_{i+1} = q_i * \frac{b_i}{b_{i+1}} \left[ \frac{m}{\min} \right] \quad (5)$$

### 5.1.8 Bildung von Personenstauungen

An den Grenzen aufeinander folgender Wegabschnitte, wie z.B. Wegeinengungen oder Durchgängen, kann es zur Verdichtung des Personenstromes kommen, was letztlich das Entstehen von Personenstauungen zur Folge hat.

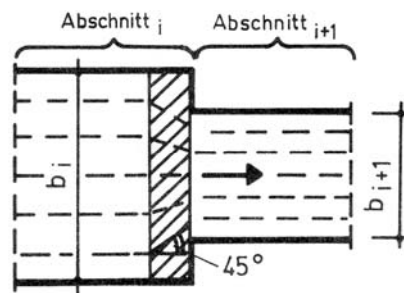


Abbildung 5.4 Grenzen von Wegabschnitten verschiedener Breite (Wegverengung)

Die Bedingung der ungehinderten Bewegung über die Grenze zweier Abschnitte nach Gleichung (5) führt zu einer Bewegungsintensität im Abschnitt  $i+1$ , die über der maximalen Intensität  $q_{\max}$  liegt.

$$q_{i+1} = q_i * \frac{b_i}{b_{i+1}} > q_{\max} \left[ \frac{m}{\min} \right] \quad (6)$$

Die Durchlassfähigkeit des Abschnitts  $i+1$  ist demnach kleiner als die des Abschnitts  $i$ :

$$Q_i < Q_{i+1} \left[ \frac{m^2}{\min} \right]$$

An der Grenze der Wegabschnitte findet eine Verdichtung des Personenstromes auf die maximale Dichte  $D_{\max} = 0,92$  statt, aus der sich die Bewegungsintensität für den Abschnitt  $i+1$  ergibt. Die Zeit, die für das Auflösen des Staus an der Grenze der Abschnitte benötigt wird, errechnet sich nach der folgende Gleichung:

$$t_{\text{Verz}} = P_f * \left( \frac{1}{Q_i} - \frac{1}{Q_{i+1}} \right) [\text{min}] \quad (7)$$

mit

$P_f$       eingenommene Grundfläche aller Personen [ $\text{m}^2$ ]

$Q_i$       Durchlassfähigkeit von Abschnitt  $i$   $\left[ \frac{m^2}{\min} \right]$

$Q_{i+1}$     Durchlassfähigkeit von Abschnitt  $i+1$   $\left[ \frac{m^2}{\min} \right]$

$t_{\text{Verz}}$     entstandene Verzögerungszeit [min]

### 5.1.9 Geneigte Wegabschnitte

Die Berechnung für geneigte Wegabschnitte wie Treppen und Rampen erfolgt im Wesentlichen wie bei horizontalen Abschnitten. Dabei wird die Länge des geneigten Weges durch die folgende Gleichung berechnet:

$$l = \frac{l'}{\cos \alpha} \text{ [m]} \quad (8)$$

mit

$l$  Länge des geneigten Weges [m]

$l'$  Länge des horizontalen Weges [m]

$\alpha$  Neigung der Wegstrecke [°]

Für normale Treppen wird mit einer Neigung von 1:1,75 bis 1:2,0 gerechnet. Deshalb kann  $\alpha$  mit ausreichender Genauigkeit als 30°-32° ( $\cos \alpha \approx 0,85$ ) angenommen werden.

### 5.2 Validierungsrechnung fiktiver Geometrien

Die Validierungsrechnung an einer einfachen, fiktiven Geometrie soll die Berechnungsgrundlagen nach Predtetschenski und Milinski verdeutlichen und als Vorbereitung für Kapitel 5.3 dienen. Es soll gezeigt werden, inwieweit eine Übereinstimmung der Entfluchtungszeiten zwischen der Handrechnung und den Simulationsergebnissen erzielbar ist. Aus den Arbeiten von Predtetschenski und Milinski können zu dem Abschnitte in den Fluchtwegen ermittelt werden, die unter bestimmten Bedingungen Warteschlangen oder Stauungen hervorrufen. Diese Ereignisse lassen sich optimal in buildingExodus beobachten und in ihrer Größe und Ausdehnung qualitativ abschätzen.

Die Summe aus Evakuierungszeit und Fluchtverhalten ermöglicht eine Aussage über die Genauigkeit und Güte der Simulationsergebnisse.

#### 5.2.1 Aufbau und Beschreibung der Geometrie

Bei der Erstellung einer fiktiven Geometrie sollten die Anforderungen an Fluchtwege aus der Musterversammlungsstättenverordnung berücksichtigt werden. In diesem Fall hätte sich bei einer Anzahl von 300 Personen eine Fluchtwegbreite von 1,8 m ergeben. Dieses Maß ist jedoch mit buildingExodus nicht darstellbar, da die Knotenabstände jeweils 0,5 m betragen.

Die Flur- und Treppenbreite wurde daher mit 1,5 m angenommen.

Bei der Vergleichsgeometrie handelt es sich um einen Raum mit einer quadratischen Grundfläche von 100 m<sup>2</sup> bei 10 m Kantenlänge. Dort befinden sich 300 Personen, die über einen Flur mit anschließender Treppe ins Freie flüchten.

Der Flur ist 25 m, die Treppe 5 m lang. Das Ende der Treppe markiert gleichzeitig den Ausgang der Geometrie.

### 5.2.2 Simulation mit buildingExodus

Die Geometrie wurde mit AutoCAD erstellt und anschließend in buildingExodus importiert (siehe Kapitel 4.2.2). Abbildung 2.1 zeigt den fertigen Aufbau vor Beginn der Simulation. Die Treppe ist aus programminternen Gründen um 90° gedreht, entspricht aber in ihren Ausmaßen exakt den Vorgaben. Bei dem Verhalten und der Zusammensetzung der Simulationsbevölkerung wurden keine speziellen Vorgaben gemacht. Es handelt sich um eine Standardpopulation, wie sie buildingExodus vorgibt. Brandsimulationen oder Verrauchungen sind auf Grund der Vergleichbarkeit zum Handrechenverfahren nicht integriert.

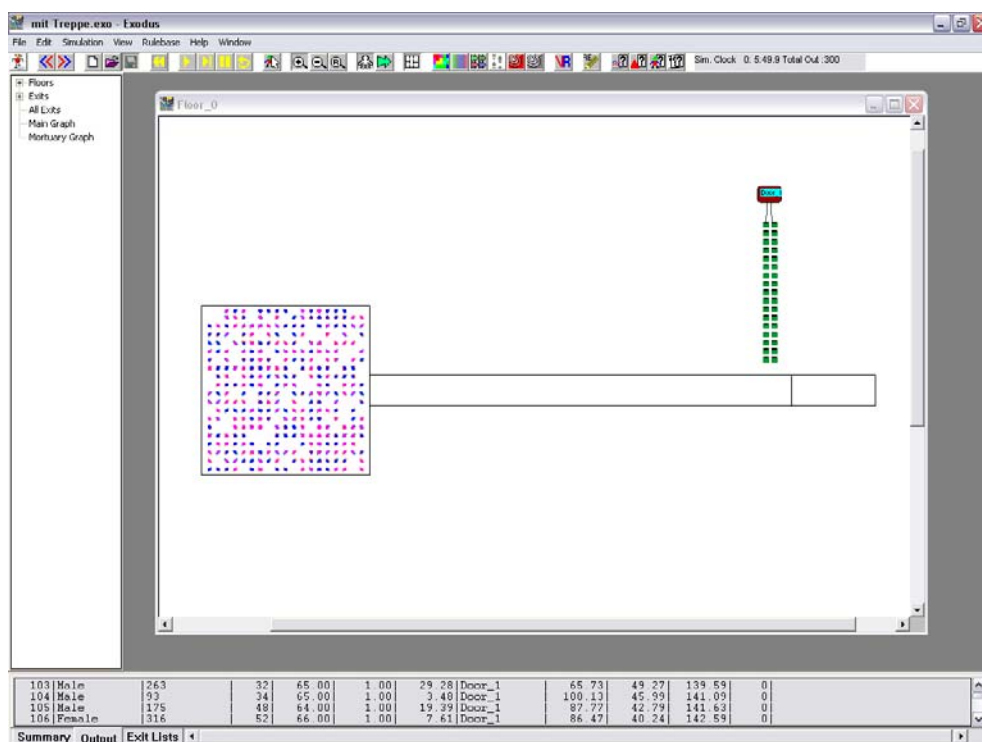


Abbildung 5.5 Geometrie vor Beginn der Simulation



Breits kurz nach dem Start der Simulation zeigen sich erste Stauungen am Übergang zu dem Flurbereich und vor der Treppe. Die Warteschlange vor der Treppe verlängert sich während der Evakuierung bis zu dem Zeitpunkt, an dem die letzte Person dort eintrifft.

Die Gesamtzeit, die benötigt wird, um den Raum zu evakuieren, setzt sich aus den Wartezeiten und dem Zeitbedarf für die Strecken zusammen.

Auf der Treppe bildet sich keine Personenschlange aus, was deutlich macht, dass die Breite des Ausgangs korrekt gewählt wurde.

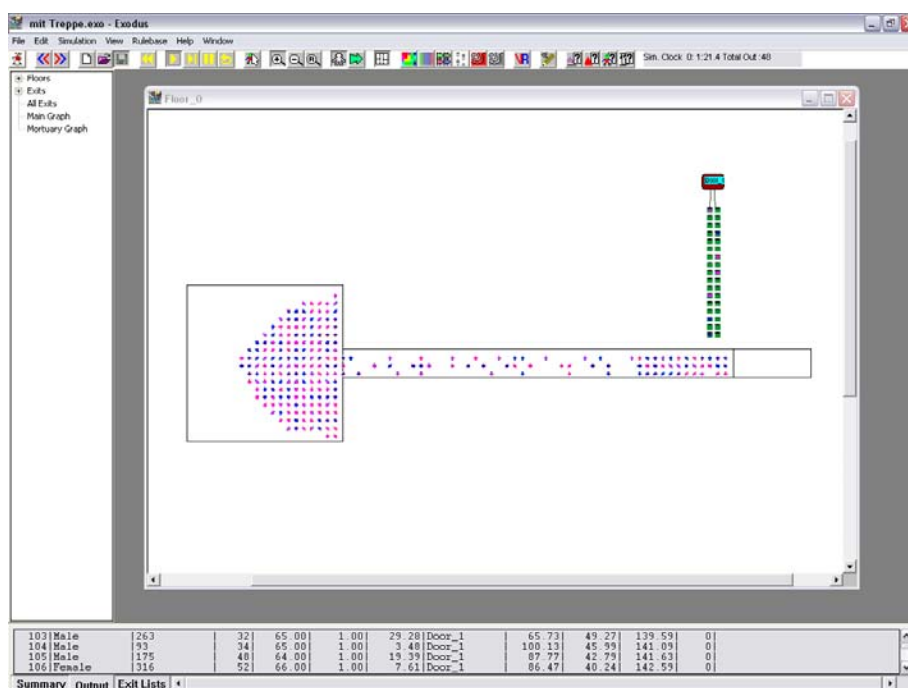
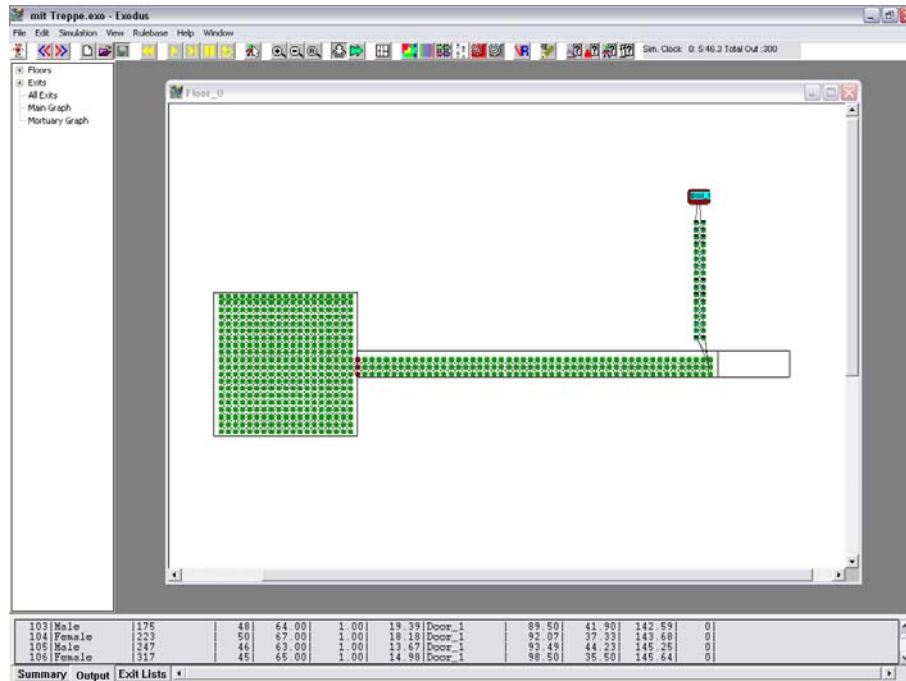


Abbildung 5.6 Stauungen, die sich während der Simulation ergeben

Für die Evakuierung der 300 Personen aus der fiktiven Geometrie berechnet buildingExodus im Durchschnitt 5 Minuten und 45 Sekunden. Dabei wurden Abweichungen von etwa 7 Sekunden nach oben und unten beobachtet. Abbildung 5.7 zeigt die Verteilung der Knoten sowie die Evakuierungszeit auf der Simulation Clock.



### Abbildung 5.7 Knotenverteilung und Simulationsergebnisse

### 5.2.3 Handrechnung nach Predtetschenski

Die Handrechnung zur Bestimmung der Evakuierungszeit wird abschnittsweise durchgeführt, wie in Kapitel 5.1 beschrieben. Geometrieabmessungen und Personenzahlen entsprechen den Vorgaben aus Kapitel 5.2.1 .

## 1. Abschnitt (Weg innerhalb des Raumes)

Abschnittsfläche:

$$F = l_1 * b_1 = 10 * 10 = 100 m^2$$

Fläche der Personen:

$$P_f = 0,125 * 300 = 37,5 m^2 \quad \text{mit } 0,125 m^2 \text{ pro Person [3]}$$

Personendichte:

$$D_1 = \frac{P_f}{F} = \frac{37,5}{100} = 0,375 \quad \text{Gl. (1)}$$

Gehgeschwindigkeit und Bewegungsintensität:

$$V_1 = 25,5 \frac{m}{min} \qquad q_1 = 9,57 \frac{m}{min} \qquad \text{aus Tabelle}$$

Durchlassfähigkeit:

$$Q_1 = b_1 * q_1 = 10 * 9,57 = 95,7 \frac{m^2}{min} \qquad \text{Gl. (2), Gl. (3)}$$

Wegzeit für Abschnitt 1:

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1} = \frac{10}{25,5} = 0,39 \text{ min}$$

### 2. Abschnitt (Warteschlange vor dem Flur)

$$b_{Tür} = 1,5 \text{ m}$$

$$Q_{Tür} = Q_1 = 95,7 \frac{m^2}{min} \qquad \text{Gl. (4)}$$

$$q_{Tür} = \frac{95,7}{1,5} = 63,8 \frac{m}{min}$$

$$q_{Tür} \geq q_{max} = 13,32 \frac{m}{min} \quad \Rightarrow \quad \text{Stau} \qquad \text{Gl. (6)}$$

$$\Rightarrow \quad \max \text{ Dichte } D = 0,92 \qquad q_{D=0,92} = 10,38 \qquad \text{aus Tabelle}$$

$$V_{zugehörig} = 50,14 \frac{m}{min} \qquad D_{zugehörig} = 0,21 \qquad \text{aus Tabelle}$$

$$Q_{Tür} = 10,38 * 1,5 = 15,57 \frac{m^2}{min}$$

Verzögerungszeit durch Warteschlange:

$$t_{Verz} = 37,5 * \left( \frac{1}{15,57} - \frac{1}{95,7} \right) = 2,01 \text{ min}$$

### 3. Abschnitt (Flur bis Treppe)

$$Q_3 = Q_{Tür} = 15,57 \frac{m^2}{min}$$

$$q_3 = \frac{15,57}{1,5} = 10,38 \frac{m}{min}$$

$$V_3 = 22,57 \frac{m}{min}$$

$$D_3 = 0,46$$

*aus Tabelle*

Wegzeit für Abschnitt 3:

$$t_3 = \frac{l_3}{V_3} = \frac{25}{22,57} = 1,11 \text{ min}$$

### 4. Abschnitt (Warteschlange vor der Treppe)

$$l_{Treppe} = \frac{l_{horizontal}}{\cos \alpha} = \frac{5}{0,85} = 5,88m$$

*mit  $\cos \alpha = 0,85$ , Gl. (8)*

$$q_{Treppe} = \frac{15,57}{1,5} = 10,38 \frac{m}{min} \geq q_{max} = 9,04 \frac{m}{min}$$

$$q_{D=0,92,Trepp} = 5,38 \frac{m}{min} \Rightarrow Q_{Treppe} = 5,38 * 1,5 = 8,07 \frac{m^2}{min}$$

Verzögerungszeit durch Warteschlange:

$$t_{Verz} = 37,5 * \left( \frac{1}{8,07} - \frac{1}{15,57} \right) = 2,1 \text{ min}$$

$$V_{Stau} = 5,84 \frac{m}{min}$$

$$V_{zugehörig} = 50,25 \frac{m}{min}$$

*aus Tabelle*

### 5. Abschnitt (Treppe abwärts)

$$l_{Treppe} = 5,88\,m \qquad V_{zugehörig} = 50,25 \frac{m}{min}$$

Wegzeit auf Treppe:

$$t_{Treppe} = \frac{5,88}{50,25} = 0,12\,min$$

### Gesamtzeit für die letzte Person

$$t_{gesamt} = 0,39 + 2,01 + 1,11 + 2,1 + 0,12 = 5,73\,min \quad \Rightarrow \quad 5\,Minuten \quad 44\,Sekunden$$

### 5.2.4 Gegenüberstellung der Ergebnisse

Die Entfluchtungszeiten aus buildingExodus zeigen, dass es für diese einfache Geometrie sehr gute Übereinstimmungen mit dem Handrechenverfahren gibt. Der Bereich, in dem sich die Simulationsergebnisse bewegen, deckt sich optimal mit der Evakuierungsdauer nach Predtetschenski und Milinski.

Betrachtet man den Ablauf der Simulation (Abbildung 5.6) genauer, wird deutlich, dass sich exakt an den Stellen Warteschlangen ausbilden, die im Handrechenverfahren berücksichtigt sind. Da der Population keine Möglichkeiten bezüglich der Wahl von Fluchtwegen und Ausgängen gegeben wird, ist der Einfluss von Verhaltensparametern oder Potentialfeldfunktionen äußerst gering. Dennoch sollen die entscheidenden Einstellungen hier stichwortartig benannt werden, um eine Reproduzierbarkeit der Simulation zu gewährleisten.

- Local Potential
- 300 Personen der Standardpopulation
- Internal Exit am Übergang zum Flurbereich
- Keine Brand- oder Rauchmodelle
- „normale“ Ausgangsparameter, 1m Breite

Verfahren		Entfluchtungszeiten
Handrechnung		5:44
buildingExodus	Durchschnitt	5:45
	Höchster Wert	5:53
	Niedrigster Wert	5:38

**Tabelle 7 Entfluchtungszeiten aus Simulation und nach Predtetschenski**

### 5.3 Validierungsrechnung ausgewählter Teilabschnitte des Goya-Projektes

Handrechenverfahren lassen es nicht zu, die gesamte Evakuierung aus einem komplexen Gebäude, wie dem Goya Hauptstadtclub, zu berechnen. Die Fluchtwege aller Personen unterscheiden sich sehr stark voneinander, was mit den theoretischen Ansätzen nicht vereinbar ist.

Aus diesem Grund wurde ein geeignet erscheinender Raum des Gebäudes ausgewählt und mit einer definierten Anzahl von Personen gefüllt. Der Ausgang aus dem Gebäude war in diesem Szenario für alle Individuen vorgegeben, sodass sich daraus ein Fluchtweg für die gesamte Population ergab. Dennoch unterscheidet sich diese Simulation deutlich von der vorhergehenden fiktiven Geometrie, da es sich um längere und inhomogenere Wege handelt, die zum Verlassen des Gebäudes zurückgelegt werden müssen.

#### 5.3.1 Simulation mit buildingExodus

Die Situation, kurze Zeit nach Beginn der Evakuierung, ist in Abbildung 5.8 dargestellt. Es zeigt sich, dass ähnlich wie bei dem vorhergehenden Versuch Warteschlangen am Übergang zum Flurbereich und vor der Treppe entstehen.

Zum Startzeitpunkt der Simulation befanden sich alle 180 Personen in dem rot umrandeten Raum im dritten Stockwerk.

Der gesamte Fluchtweg einer Person ist in Abbildung 5.9 markiert und führt, im dritten Stock beginnend, durch das Treppenhaus B bis ins Erdgeschoss und anschließend zum Ausgang. Als mittlere Wegstrecke aller Personen kann ein Wert von ca. 60 m angenommen werden.

Die Dauer für die Evakuierung der Population berechnet buildingExodus auf durchschnittlich 4 Minuten und 46 Sekunden mit einer maximalen Abweichung von 15 Sekunden.

Zu beobachten ist, dass sich mit zunehmender Entfernung vom Startpunkt eine Auflockerung der Personengruppe ergibt und Warteschlangen vor den unteren Treppen kaum auftreten.

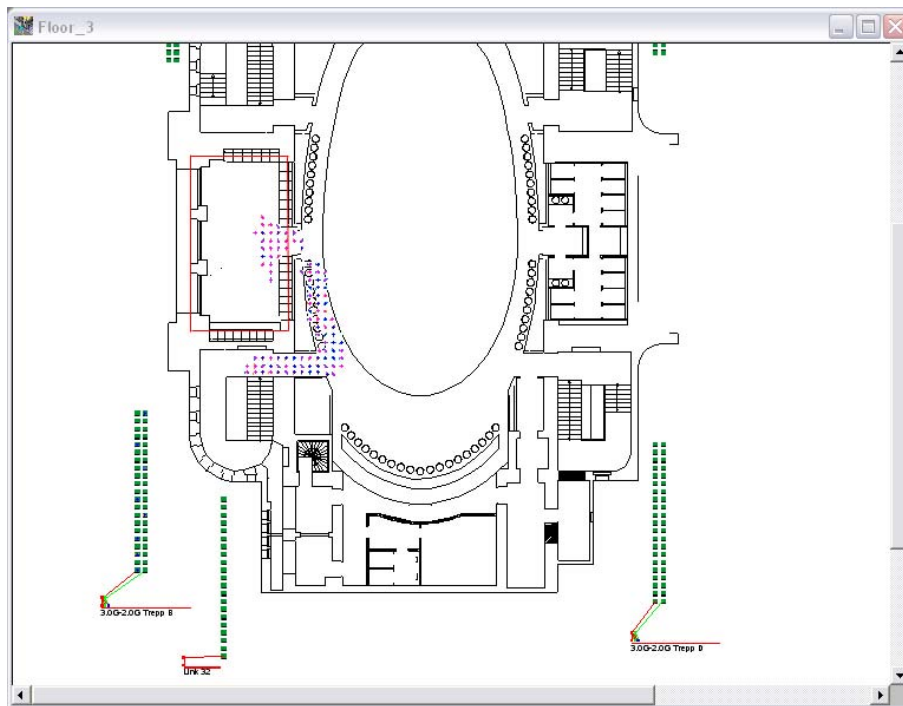


Abbildung 5.8 Szenario zur Validierung mit Handrechnung

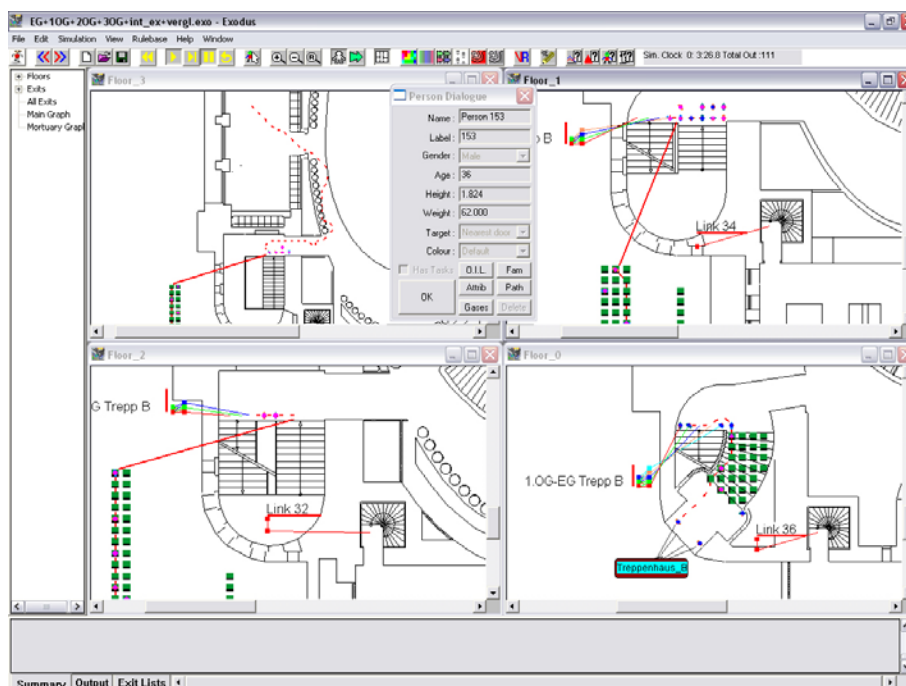


Abbildung 5.9 Fluchtweg einer Person aus dem 3.OG bis zum Ausgang "Treppenhaus B"

### 5.3.2 Vergleichende Handrechnung

#### 1. Abschnitt (Weg innerhalb des Raumes)

Abschnittsfläche:

$$A = 10,5 * 5,5 = 57,75 m^2$$

Fläche der Personen:

$$P_f = 0,125 * 185 = 23,125 m^2 \quad \text{mit } 0,125 m^2 \text{ pro Person [3]}$$

Personendichte:

$$D_1 = \frac{23,125}{57,75} = 0,4$$

Gehgeschwindigkeit und Bewegungsintensität:

$$V_1 = 24,48 \frac{m}{min} \quad q_1 = 9,79 \frac{m}{min} \quad \text{aus Tabelle}$$

Durchlassfähigkeit:

$$Q_1 = 10,5 * 9,79 = 102,795 \frac{m^2}{min}$$

Wegzeit für Abschnitt 1:

$$t_1 = \frac{5,5}{24,48} = 0,23 min$$

#### 2. Abschnitt (Warteschlange vor dem Flur)

$$b_{Tür} = 1,5 m \quad Q_{Tür} = Q_1 = 102,795 \frac{m^2}{min}$$



$$q_{Tür} = \frac{102,795}{1,5} = 68,52 \frac{m}{min}$$

$$q_{Tür} \geq q_{max} = 13,32 \frac{m}{min} \quad \Rightarrow \quad \text{Stau}$$

$$\Rightarrow \quad \max \text{ Dichte } D = 0,92 \quad q_{D=0,92} = 10,38 \quad \text{aus Tabelle}$$

$$V_{zugehörig} = 50,14 \frac{m}{min} \quad D_{zugehörig} = 0,21 \quad \text{aus Tabelle}$$

$$Q_{Tür} = 10,38 * 1,5 = 15,57 \frac{m^2}{min}$$

Verzögerungszeit durch Warteschlange vor der Engstelle:

$$t_{Verz} = 23,125 * \left( \frac{1}{15,57} - \frac{1}{102,795} \right) = 1,26 \text{ min}$$

### 3. Abschnitt (horizontaler Weg bis Treppe)

$$l = 13,7 \text{ m}$$

$$b = 1,5 \text{ m}$$

$$Q_3 = Q_{Tür} = 15,57 \frac{m^2}{min}$$

$$q_3 = \frac{15,57}{1,5} = 10,38 \frac{m}{min}$$

$$V_3 = 22,57 \frac{m}{min} \quad D_3 = 0,46 \quad \text{aus Tabelle}$$

Wegzeit für Abschnitt 3:

$$t_3 = \frac{l}{V_3} = \frac{13,7}{22,57} = 0,61 \text{ min}$$

### 4. Abschnitt (Warteschlange vor der Treppe)

$$l_{Treppe} = \frac{l_{horizontal}}{\cos \alpha} = \frac{4}{0,85} * 2 + 4 = 13,42 \text{ m} \quad \text{mit } \cos \alpha = 0,85$$

$$b = 1,63 \text{ m}$$

$$q_{Treppe} = \frac{15,57}{1,63} = 9,55 \frac{\text{m}}{\text{min}} \geq q_{\max} = 9,04 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$q_{D=0,92,Trepp} = 5,38 \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad \text{aus Tabelle}$$

$$\Rightarrow Q_{Treppe} = 5,38 * 1,63 = 8,77 \frac{\text{m}^2}{\text{min}}$$

Verzögerungszeit durch Warteschlange vor der Treppe:

$$t_{Verz} = 23,125 * \left( \frac{1}{8,77} - \frac{1}{15,57} \right) = 1,15 \text{ min}$$

$$V_{Stau} = 5,84 \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad V_{zugehörig} = 50,25 \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad \text{aus Tabelle}$$

### 5. Abschnitt (Treppe abwärts)

$$l_{Treppe} = 13,41 * 3 + 10 = 50,23 \text{ m} \quad V_{zugehörig} = 50,25 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Wegzeit auf Treppe:

$$t_{Trepp} = \frac{50,23}{50,25} = 1,00 \text{ min}$$

### Gesamtzeit für die letzte Person

$$t_{gesamt} = 0,23 + 1,26 + 0,61 + 1,15 + 1,00 = 4,25 \text{ min} \quad \Rightarrow \quad 4 \text{ Minuten } 15 \text{ Sekunden}$$

### 5.3.3 Ergebnisvergleich zwischen Simulation und Handrechnung

Gegenüber den Vergleichsrechnungen an der fiktiven Geometrie ergeben sich im vorliegenden Fall bereits geringe Abweichungen. Die Handrechnung nach Predtetschenski und Milinski liefert etwas kürzere Entfluchtungszeiten, im Bereich von ca. 30 Sekunden. Hier zeigen sich erste Schwierigkeiten einer komplexen Geometrie. Es handelt sich bei den zu berechnenden Fluchtwegen nicht mehr ausschließlich um gerade, genau definierte Räumlichkeiten, sondern um gekrümmte oder verschieden breite Wegabschnitte. In diesem Fall müssen Mittelwerte für die Abmessungen angenommen werden bzw. Vereinfachungen der Geometrie getroffen werden.

Beachtet man diese Schwierigkeiten, können die beobachteten Abweichungen von maximal 7% als realistisch und durchaus brauchbar bezeichnet werden. Sie liegen mit dieser Größenordnung geringfügig über den Schwankungen, die sich bei der Durchführung mehrerer Simulationen ergeben. Zusätzlich zeigen sich auch auf Seiten der Simulation bereits deutlichere Unterschiede in der Evakuierungszeit, wenn Änderungen an Parametern vorgenommen werden. Die Variablen, denen die Simulation zu Grunde liegt, sollen hier ebenfalls aufgeführt werden.

- 185 Personen der Standardpopulation
- Keine Brand- oder Rauchmodelle
- Local Potential
- „normale“ Ausgangsparameter, 2m Breite

Verfahren		Entfluchtungszeiten
Handrechnung		4:15
buildingExodus	Durchschnitt	4:46
	Höchster Wert	5:02
	Niedrigster Wert	4:36

**Tabelle 8 Vergleich der Entfluchtungszeiten am Beispiel ausgewählter Teilabschnitte**

## **6 Simulationsergebnisse für den Goya Club**

In den folgenden Kapiteln sollen die Ergebnisse für die Entfluchtungssimulation des Goya Hauptstadclubs dargestellt werden. Auf Grund der bereits beschriebenen umfangreichen Anzahl von Parametern ist es unmöglich, eine genaue Evakuierungsdauer anzugeben. Stattdessen werden die Resultate in Bezug zu den gewählten Einstellungen gesetzt und in Form von Durchschnittswerten und Abweichungen präsentiert.

Zudem wird eine Unterteilung in verschiedene Fluchtszenarien vorgenommen, um den verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten des Gebäudes gerecht zu werden und ebenfalls gewisse Einschränkungen in der Zugänglichkeit der Rettungswege zu simulieren.

Am Ende des Kapitels wird eine Variante aufgezeigt, die eine eventuelle Fluchterleichterung ermöglicht bzw. eine Erhöhung der Besucherzahlen zulässt.

Alle Versuchsergebnisse beruhen, falls nicht anders angegeben, auf Simulationen mit 1300 bzw. 1500 Personen der Standardpopulation, die frei über die Geometrie verteilt sind.

Die Variation von Parametern wird reduziert auf die Funktionen bezüglich des Potentialfeldes, „local Potential“ und „floor Potential“.

### **6.1 Entfluchtung des bestehenden Gebäudes unter definierten Randbedingungen**

Die Entfluchtungszeiten für das Gebäude, wie es in Kapitel 4.2.2 beschrieben ist, ergeben sich aus vier Versuchsreihen, die wiederum aus mehreren Einzelversuchen bestehen.

Für jede Populationsgröße wurden die Funktionen „local Potential“ und „floor Potential“ gewählt.

Die Durchschnittsergebnisse einer Versuchsreihe setzen sich aus fünf Einzelversuchen zusammen.

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Entfluchtungssimulation dargestellt. Es wird ersichtlich, dass sehr große Unterschiede zwischen den Verfahren „local Potential“ und „floor Potential“ bestehen. Unter Nutzung der erstgenannten Funktion flüchten die Personen ausschließlich durch die vier Treppenhäuser ins Freie und lassen die Treppen im Gebäudeinneren außer

Acht. Dadurch entstehen an den verwendeten Fluchtwegen lange Warteschlangen, die die Evakuierung verzögern.

Der genauere Verlauf der Simulation kann in Abbildung 6.1 betrachtet werden. Die Graphen 1 und 2 zeigen den Hergang für „local Potential“, die übrigen Graphen repräsentieren den Verlauf mit „floor Potential“. Hier wird ein weiterer Grund für die zeitlichen Unterschiede erkennbar. Die Graphen 3, 4 und 5 weisen etwa bis zu dem Zeitpunkt 120 Sekunden eine gleich bleibende Steigung auf, was darauf schließen lässt, dass bis dahin alle Ausgänge genutzt werden. Die Simulation unter Nutzung der Funktion „local Potential“ führt hingegen dazu, dass bereits nach ca. 50 Sekunden ein Abfall in der Steigung des Graphen zu beobachten ist. An dieser Stelle erreichen keine Personen mehr die Hauptausgänge im Eingangsbereich des Goya Clubs, da diese größtenteils über die Treppen im Gebäudeinneren erreichbar sind.

Die Funktion „floor Potential“ führt demnach zu einer besseren Verteilung der Population auf alle Ausgänge, was insgesamt kleinere Warteschlangen und kürzeren Evakuierungsdauern zur Folge hat.

Beide Verfahren für sich betrachtet, spiegeln ein unrealistisches Verhalten der Simulationsbevölkerung wider. Die Evakuierungsdauer muss als Zwischenwert beider Ergebnisse gesehen werden, was bei einer Population von 1300 Personen etwa 7:30 ergibt.

Betrachtet man die Ergebnisse und Graphen gleicher Simulationsbedingungen, erkennt man Abweichungen in einer Größenordnung von ca. 5%.

Wird die Population um 200 Individuen vergrößert, ergeben sich längere Evakuierungszeiten.

Im Anhang befindet sich eine Ergebnisdatei für die Entfluchtungssimulation des Goya Clubs nach dem Verfahren „floor Potential“. Auf Grund des Dateiumfangs wurde die Populationsgröße auf 500 Personen begrenzt.

Entfluchtungszeiten [mm:ss]		Local Potential	Floor Potential
1300 Personen	Durchschnitt	9:10	5:49
	höchster Wert	9:36	6:01
	niedrigster Wert	8:43	5:37
	Abweichung nach oben/unten in %	4,7% / 4,9%	3,4% / 3,5%
1500 Personen	Durchschnitt	9:40	6:15
	höchster Wert	9:51	6:39
	niedrigster Wert	9:31	5:55
	Abweichung nach oben/unten in %	2% / 1,6	6,4% / 5,3%

Tabelle 9 Entfluchtungszeiten für den Goyahauptstadtclub

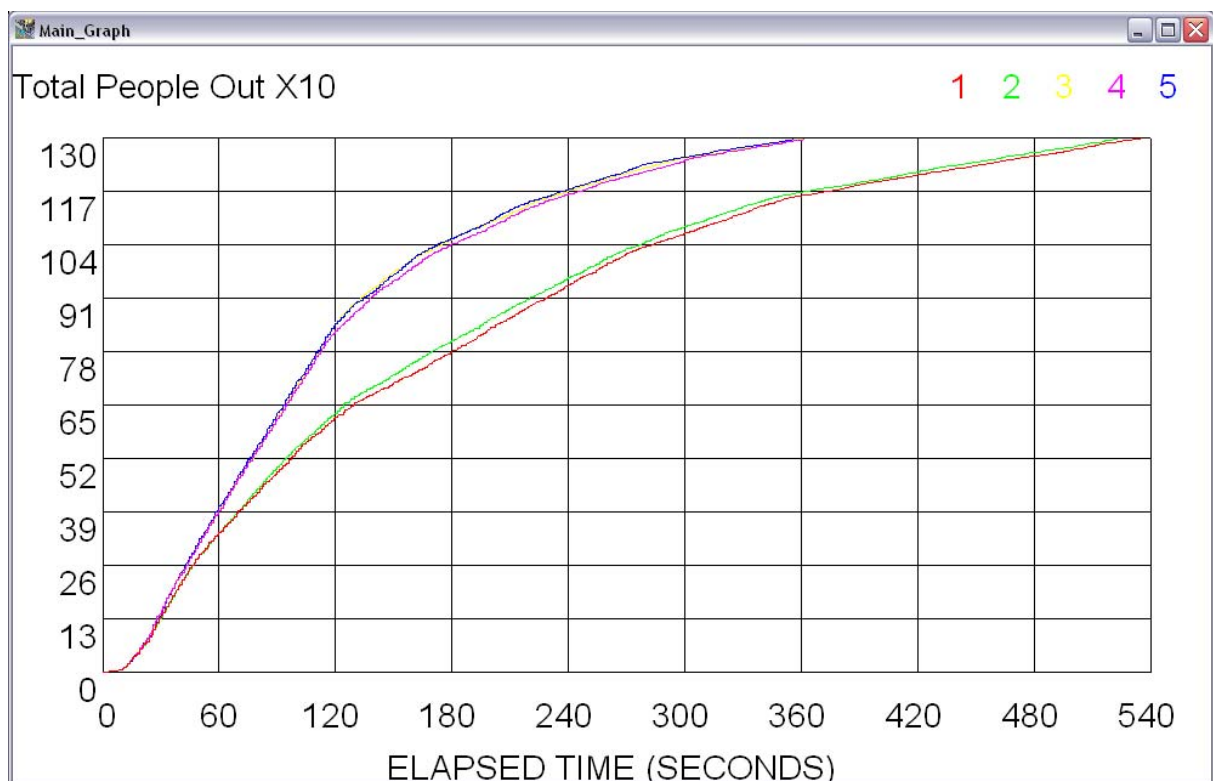


Abbildung 6.1 Graphische Darstellung der Entfluchtung

## 6.2 Nutzung des ersten Stockwerkes als Tanzfläche oder Gastronomiebereich

Der innere Bereich des ersten Stockwerkes kann sowohl als Tanzfläche genutzt als auch mit Tischen und Stühlen zur Bewirtung der Gäste ausgestattet werden. Um diesen unterschiedlichen Nutzungsszenarien gerecht zu werden, müssen verschiedene Simulationen durchgeführt werden. Abbildung 6.2 zeigt einen Ausschnitt dieses Dinnerbereichs mit Sitzplätzen für 360 Personen. Auf der übrigen Simulationsfläche befinden sich weitere 940 bzw. 1140 Individuen. Wie zu erkennen ist, sind die Sitzreihen untereinander verbunden und können an den Rändern zu den freien Knoten verlassen werden.

Bereits in der CAD-Zeichnung ergeben sich zwischen den Sitzbereichen zum Teil sehr enge Durchgänge, die auf Grund der Diskretisierung nochmals eingegrenzt werden. Es ist zu prüfen, ob diese Behinderungen Einfluss auf die Simulation oder die Entfluchtungszeiten nehmen.

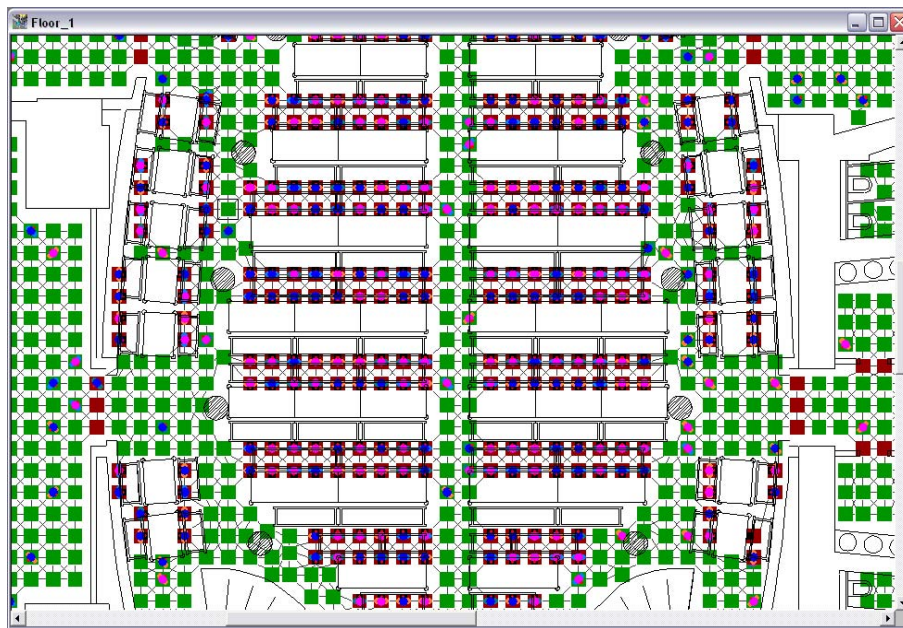


Abbildung 6.2 Die ersten Etage mit Stühlen und Tischen

Die Situation während der Evakuierung ist in Abbildung 6.3 dargestellt. Es zeigt sich, dass insgesamt längere Warteschlangen vor den Treppenhäusern entstehen, wobei zudem eine Verlagerung der Stauungen auf Grund der beengten Platzverhältnisse zu beobachten ist. Die

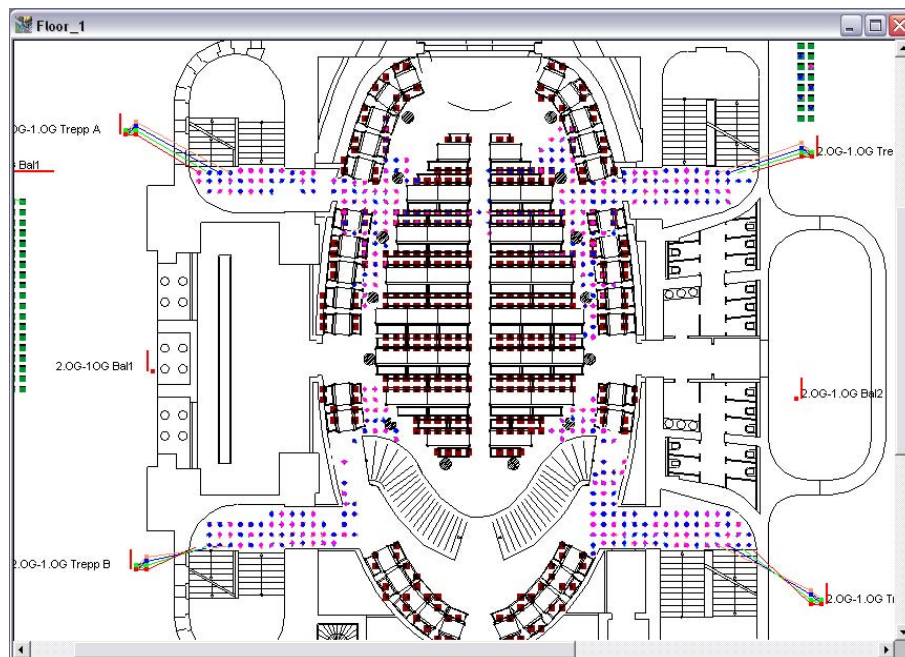
oben genannten schmalen Durchgänge zwischen den Sitzplätzen bilden erkennbare Problemzonen aus, die eine Entfluchtung behindern.

Bei der Betrachtung dieser Fluchtsituation im ersten Stockwerk muss beachtet werden, dass sich dort insgesamt mehr Personen aufhalten als bei den vorhergehenden Simulationen. Gegenüber einem Szenario mit freier Tanzfläche müssen hier etwa zusätzliche 150 Personen die Etage verlassen.

Die Entfluchtungszeit für das gesamte Gebäude ändert sich trotz der oben genannten Einschränkungen und Behinderungen nicht signifikant.

Die Verzögerungen, als Ergebnis der Einrichtungsgegenstände und der höheren Personendichte im ersten Stockwerk, werden kompensiert durch die kurzen Fluchtwege, die für diese Personen gelten.

In Tabelle 10 sind die Entfluchtungszeiten der berechneten Simulationen zusammengefasst.



**Abbildung 6.3 Stauungen im Bereich der Sitzplätze**

Entfluchtungszeiten [mm:ss]	1300 Personen	1500 Personen
1. Etage als Dinnerbereich	5:43	6:10
1. Etage als Tanzfläche	5:49	6:15

**Tabelle 10 Entfluchtungszeiten für Tanz- oder Dinnerfläche**



### 6.3 Veränderungen bei eingeschränkter Nutzung von Ausgängen

Die Simulationen in diesem Kapitel sollen Aufschluss geben, inwieweit Hindernisse oder Einengungen in Fluchtwegen Auswirkungen auf die Evakuierungszeit haben. Weiterhin wird betrachtet, welche Effekte auftreten, wenn ein oder mehrere Ausgänge nicht nutzbar sind.

Abbildung 6.4 zeigt zwei Hindernisse, die entscheidende Stellen der Fluchtwege einengen und zu längeren Warteschlangen in dem entsprechenden Stockwerk führen. Es werden außerdem die Personen behindert, die aus den darüber liegenden Etagen flüchten wollen.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei einer Simulation mit 1500 Personen deutliche Verzögerungen bei der Evakuierung auftreten. Die bereits vorhandenen Warteschlangen vergrößern sich durch die Hindernisse zusätzlich. Demgegenüber verändern sich die Zeiten von 1300 Personen nicht signifikant.

Eine starke Gefährdung für die Population tritt ein, wenn ein oder mehrere Ausgänge nicht nutzbar sind. In Tabelle 11 sind die Evakuierungszeiten für derartige Szenarien aufgeführt. Bereits ein verschlossener Ausgang verzögert die Entfluchtung um mindestens 3 Minuten. Sind zwei Ausgänge unpassierbar, erhöht sich diese Zeit auf ca. 14 bzw. 16 Minuten.

Als Konsequenz dieser Simulationen wird ersichtlich, dass es notwendig ist, alle Ausgänge bei diesen Besucherzahlen ständig offen zu halten sowie keinerlei Hindernisse in den Fluchtwegen aufzustellen.

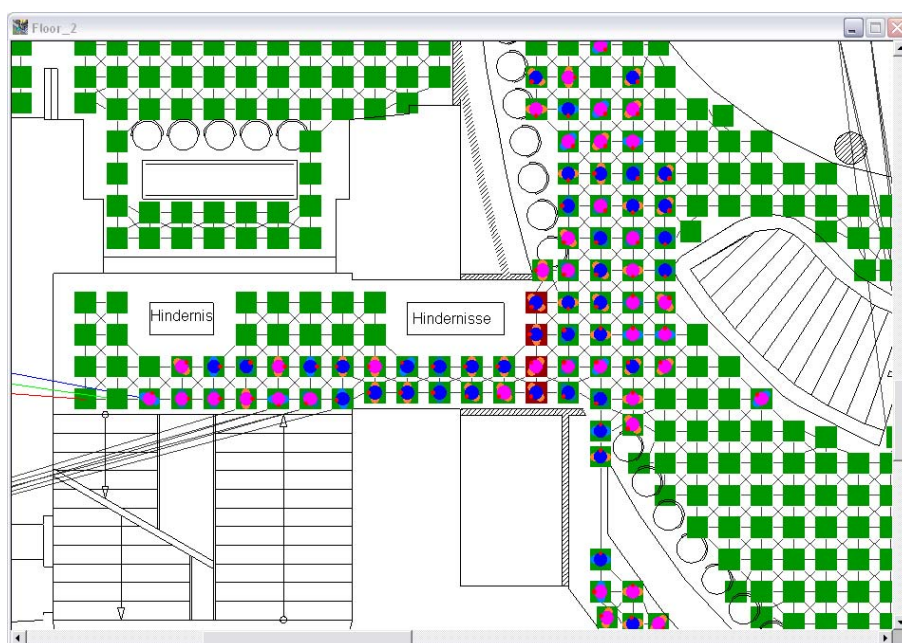


Abbildung 6.4 Hindernisse im Fluchtweg

Entfluchtungszeiten [mm:ss]	1300 Personen	1500 Personen
Ohne Hindernisse	9:10	9:40
Hindernisse im Fluchtweg	9:12	10:43
Ein verschlossener Ausgang	12:56	14:10
Zwei verschlossene Ausgänge	13:47	16:02

**Tabelle 11 Entfluchtungszeiten bei Hindernissen oder verschlossenen Ausgängen**

### 6.4 Evakuierungsergebnisse unter Berücksichtigung baulicher Änderungen

Die Evakuierung der Besucher des Goyahauptstadtclubs findet hauptsächlich über die vier Treppenhäuser in den Gebäudeecken statt. Eine Entlastung dieser vorhandenen Fluchtwege oder einer Erhöhung der Besucherzahl könnte durch einen zusätzlichen Ausgang erreicht werden.

Die durchgeführten Simulationen sollen die Wirkung eines erdachten Notausganges zeigen und verdeutlichen, wie sich die Evakuierungszeit verändert oder wie viele Personen sich zusätzlich in dem Gebäude aufhalten könnten.

Der erarbeitete Ausgang bietet Personen aus dem zweiten und dritten Obergeschoss einen weiteren Fluchtweg. Bei den vorherigen Versuchen hat sich gezeigt, dass der Aufenthalt in diesen Etagen die längste Evakuierungszeit hervorruft.

Abbildung 6.5 zeigt einen Teil der Konstruktion aus dem dritten Obergeschoss. Gedacht sind zwei Podeste an der Außenfassade des Gebäudes und entsprechende Treppen auf das Niveau des Erdgeschosses. Die Breite der Fluchtwege wird mit 1,8 m angenommen, was einer zusätzlichen Besucherzahl von 300 Personen entsprechen würde.

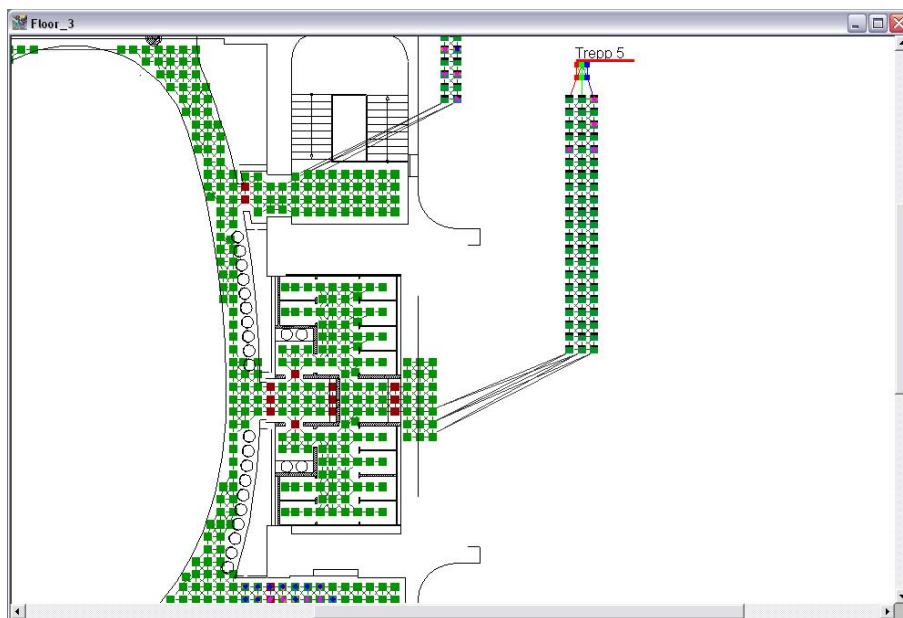
Die Ergebnisse aus Tabelle 12 zeigen, dass sich deutliche Vorteile bei der Evakuierung ergeben. Für 1300 und 1500 Personen ergeben sich Zeitunterschiede von 60 bzw. 45 Sekunden.

Ohne nennenswerte Änderungen bei der Evakuierungsdauer könnten ca. 1700 Personen für den Club zugelassen werden. Da der zusätzliche Ausgang nur Personen aus den oberen

Etagen zur Verfügung steht, ergeben sich bei einer Erhöhung um 300 Individuen längere Fluchtzeiten.

Entfluchtungszeiten [mm:ss]	Ohne Änderung	Mit weiterem Ausgang
1300 Personen	5:49	4:51
1500 Personen	6:15	5:30
1700 Personen	7:29	6:20
1800 Personen	8:17	7:38

**Tabelle 12 Entfluchtungszeiten mit und ohne bauliche Änderungen**



**Abbildung 6.5 Zusätzlicher Ausgang**

## 7 Zusammenfassung und Fazit

Die Sicherheit von Personen ist das oberste Ziel des Brandschutzes. Um diese sicherzustellen, ist es insbesondere bei Sonderbauten, wie Versammlungsstätten, unter bestimmten Voraussetzungen sinnvoll, die deskriptiven Bemessungsansätze der Bauordnung durch ingenieurmäßige Verfahren zu ergänzen und somit die zeitgerechte Evakuierung der Personen zu gewährleisten. Dieses Vorgehen ist u.a. dort angeraten, wo mit großen Menschenansammlungen zu rechnen ist oder komplexe Gebäudegeometrien vorzufinden sind. Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher ingenieurmäßiger Berechnungsverfahren, die von einfachen empirisch abgeleiteten Formeln bis zu komplexen computergestützten Individualmodellen reichen. Dabei werden von den einzelnen Modellen die zahlreichen Faktoren, durch die der Evakuierungsprozess bestimmt ist, unterschiedlich berücksichtigt. Einen besonders großen Unsicherheitsfaktor innerhalb der Berechnungsmodelle stellt der Faktor Mensch dar. Seine physischen und psychischen Reaktionen auf Brandereignisse sind sehr schwer vorherzusagen, weshalb es u.a. zu Differenzen innerhalb der Ergebnisse der einzelnen Verfahren und auch der Realität kommen kann. Die Panikreaktion als ein typisch menschliches Verhalten wird von den wenigsten Verfahren modelliert.

In dieser Arbeit wurde anhand zweier ausgewählter ingenieurmäßiger Berechnungsverfahren die Entfluchtung des Goya Hauptstadtclubs untersucht. Die zusätzlichen Evakuierungsberechnungen waren notwendig, da die Forderungen der Versammlungsstättenverordnung nicht vollständig eingehalten werden konnten. Für die Berechnungen wurde maßgeblich das Programm buildingExodus eingesetzt, das ein Individualmodell verwendet. Teile der erzielten Ergebnisse wurden denen des hydraulischen Modells von Predtetschenski und Milinski gegenübergestellt.

Das Vorgehen zur Evakuierungsberechnung mit buildingExodus wurde im Detail beschrieben. Dabei wurden die einzelnen Funktionen und Module der Anwendung hinlänglich erläutert, sodass dem Leser die Möglichkeit gegeben ist, die Berechnung anhand der Software nachzuvollziehen. Das Programm bietet eine große Anzahl an Parametern die sowohl das Verhalten der Personengruppen als auch die zugrunde liegende Gebäudegeometrie betreffen. Der Einfluss dieser Parameter auf die Simulation bzw. die Evakuierungsdauer wurde in einer umfangreichen Studie untersucht und die Ergebnisse dargelegt. Ebenfalls in der Arbeit besprochen, wurde das verwendete Verfahren zur Verifikation ausgewählter Ergebnisse nach Predtetschenski und Milinski.

Es hat sich gezeigt, dass das Programm buildingExodus eine sehr mächtige Anwendung zur Berechnung von Evakuierungszeiten ist. Nach einer gewissen Einarbeitungszeit ermöglicht sie dem Anwender auch für komplexe Gebäudegeometrien mit großen Personengruppen Angaben über die zu erwartenden Entfluchtungszeiten zu machen. Das Programm bietet eine große Zahl an Parametern, über die der Anwender sowohl die Eigenschaften und das Verhalten der Personen als auch die Gebäudegeometrie spezifizieren kann. Es hat sich gezeigt, dass die Simulationsergebnisse maßgeblich von diesen Parametern bestimmt werden, sodass sie mit großer Sorgfalt ausgewählt werden sollten. Ähnlich wie in der Realität kann auch unter Zuhilfenahme des Programms buildingExodus keine exakte Entfluchtungszeit für ein Gebäude berechnet werden. Vielmehr sind die zu erwartenden Ergebnisse einer bestimmten Verteilung unterlegen, deren Mittelwert ein ungefähres Maß für die zu erwartende Entfluchtungszeit darstellt. Ein Vergleich der erzielten Ergebnisse mit alternativen Berechnungsansätzen hat zu einer ausreichenden Übereinstimmung geführt. Neben der Möglichkeit zur Evakuierungsberechnung von komplexen Geometrien und großen Menschenansammlungen hat ein computergestütztes Simulationsprogramm den Vorteil auf einfache Art Variationen an den Eingangsdaten zuzulassen und deren Auswirkung auf die Simulationsergebnisse zu erarbeiten. Der Anwender bekommt somit ein Verständnis der individuellen Zusammenhänge aus Gebäude, Personen und Umwelt. Auf diese Weise lassen sich insbesondere kritische Punkte im Brandschutzkonzept ausmachen und gezielt hervorheben.

## Literaturverzeichnis

- [1] U. Schneider, C. Lebeda, *Baulicher Brandschutz*, Stuttgart; Berlin; Köln, 2000
- [2] U. Schneider, *Ingenieurmethoden im Baulichen Brandschutz*, Renningen, 2001
- [3] Predtetschenski, Milinski, *Personenströme in Gebäuden*, Berlin, 1972
- [4] D. Plog, *Katastrophenmedizin, Leitfaden für die ärztliche Versorgung im Katastrophenfall*, Bonn, 1997
- [5] R. Mark, *Das Fluchtverhalten von Menschen in Extremsituationen*, Brandverhütung 1/2001, S. 7-10, 2001
- [6] U. Schneider et. al., *Evakuierung bei Brandereignissen*, Melk, Februar 2004
- [7] N. Waldau, Diplomarbeit, *Massenpanik in Gebäuden*, Wien, Januar 2004
- [8] W. Klingsch, *Gutachterliche Stellungnahme BPK-G 117/2002*, Düsseldorf; Frankfurt a.M.; Remscheid, 2002
- [9] Fire Safety Engineering Group, Webseite, <http://fseg.gre.ac.uk>
- [10] Fire Safety Engineering Group, *buildingExodus Anleitung und Tutorial*, London, 2004
- [11] ARGEBAU Fachkommission Bauaufsicht, *Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten*, Fassung Mai 2002
- [12] *Musterbauordnung*, Fassung November 2002
- [13] *Musterindustriebaurichtlinie*, Fassung Mai 2002
- [14] W. Klingsch, *Wie schnell kann evakuiert werden?*, aus „Brand Aktuell“, Ausgabe 17/03
- [15] ARGEBAU Fachkommission Bauaufsicht, *Begründung und Erläuterung zum Entwurf einer Muster-Versammlungsstättenverordnung*, Fassung Mai 2002
- [16] IBMB, *Brandschutz in Diskotheken und ähnlichen Vergnügungsstätten*, Braunschweig, Mai 2002

## **Inhalt der CD-Rom**

Auf der beigefügten CD-Rom befindet sich:

- Elektronische Version dieser Arbeit im pdf und html-Format
- Demonstrationsvideos ausgewählter Bearbeitungsschritte
- Dreidimensionales VR-Simulationsvideo
- Die in der Arbeit vorkommenden Abbildungen im jpg-Format
- BuildingExodus-Projektdateien des Goya Hauptstadtclubs
- Ausgabedatei einer Simulation
- CAD-Zeichnungen in originaler und bearbeiteter Ausführung
- Adobe Acrobat Reader 6
- DivX Codec 5

## **Informationen im Internet**

- <http://www.bau-ings.de/exodus/>
- <http://fseg.gre.ac.uk/>

## **Anhang**

- Berechnungstabellen nach Predtetschenski und Milinski
- Ausdruck einer Simulationsergebnisdatei



**Berechnungstabellen für die von der Dichte abhängigen Parameter  
der Bewegung  $v$  und  $q$**

**Tabelle:** Horizontale Wege

Dichte	Gefahrenbedingungen		Normalbedingungen		komfortable Bedingungen	
$D$	$v$	$q$	$v$	$q$	$v$	$q$
0,01	81,56	0,82	54,87	0,55	34,71	0,35
0,02	78,34	1,57	52,83	1,06	33,55	0,67
0,03	75,25	2,26	50,87	1,53	32,43	0,97
0,04	72,29	2,89	48,99	1,96	31,35	1,25
0,05	69,46	3,47	47,19	2,36	30,32	1,52
0,06	66,76	4,00	45,46	2,73	29,32	1,76
0,07	64,17	4,49	43,81	3,07	28,37	1,98
0,08	61,70	4,94	42,23	3,38	27,45	2,00
0,09	59,35	5,34	40,72	3,66	26,57	2,39
0,10	57,10	5,71	39,27	3,93	25,72	2,57
0,11	54,96	6,04	37,89	4,17	24,91	2,74
0,12	52,92	6,35	36,58	4,39	24,14	2,90
0,13	50,98	6,63	35,32	4,59	23,40	3,04
0,14	49,13	6,88	34,13	4,78	22,69	3,18
0,15	47,37	7,10	32,99	4,95	22,02	3,30
0,16	45,70	7,31	31,91	5,10	21,38	3,42
0,17	44,10	7,50	30,88	5,25	20,77	3,53
0,18	42,62	7,67	29,90	5,38	20,18	3,63
0,19	41,19	7,83	28,98	5,50	19,63	3,73
0,20	39,84	7,97	28,10	5,62	19,11	3,82
0,21	38,57	8,10	27,27	5,73	18,61	3,91
0,22	37,36	8,22	26,48	5,82	18,14	3,99

Dichte <i>D</i>	Gefahrenbedingungen		Normalbedingungen		komfortable Bedingungen	
	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>
0,23	36,22	8,33	25,74	5,92	17,70	4,07
0,24	35,14	8,43	25,04	6,01	17,28	4,15
0,25	34,12	8,53	24,38	6,09	16,88	4,22
0,26	33,17	8,62	23,75	6,18	16,51	4,29
0,27	32,26	8,71	23,16	6,25	16,16	4,36
0,28	31,41	8,80	22,61	6,32	15,83	4,43
0,29	30,61	8,88	22,09	6,41	15,52	4,50
0,30	29,86	8,96	21,61	6,48	15,23	4,57
0,31	29,15	9,04	21,15	6,56	14,96	4,64
0,32	28,29	9,12	20,72	6,63	14,71	4,71
0,33	27,87	9,20	20,32	6,71	14,48	4,78
0,34	27,28	9,28	19,95	6,78	14,26	4,85
0,35	26,74	9,36	19,60	6,86	14,06	4,92
0,36	26,23	9,44	19,28	6,94	13,88	5,00
0,37	25,74	9,53	18,98	7,02	13,71	5,07
0,38	25,30	9,61	18,69	7,10	13,55	5,15
0,39	24,87	9,70	18,43	7,19	13,41	5,23
0,40	24,48	9,79	18,19	7,27	13,28	5,31
0,41	24,11	9,88	17,96	7,36	13,16	5,39
0,42	23,76	9,98	17,75	7,45	13,04	5,48
0,43	23,44	10,08	17,55	7,55	12,94	5,57
0,44	23,13	10,18	17,37	7,64	12,85	5,66
0,45	22,84	10,28	17,20	7,74	12,77	5,75
0,46	22,57	10,38	17,04	7,84	12,70	5,84
0,47	22,31	10,49	16,89	7,94	12,63	5,93
0,48	22,07	10,59	16,75	8,04	12,56	6,03
0,49	21,84	10,70	16,62	8,14	12,51	6,13
0,50	21,62	10,81	16,50	8,25	12,46	6,23
0,51	21,40	10,92	16,38	8,36	12,41	6,33
0,52	21,20	11,02	16,27	8,46	12,37	6,43

Dichte	Gefahrenbedingungen		Normalbedingungen		komfortable Bedingungen	
<i>D</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>
0,53	21,00	11,13	16,16	8,58	12,32	6,53
0,54	20,81	11,24	16,06	8,67	12,29	6,64
0,55	20,62	11,34	15,96	8,78	12,25	6,74
0,56	20,44	11,44	15,86	8,88	12,21	6,84
0,57	20,26	11,54	15,76	8,99	12,18	6,94
0,58	20,08	11,65	15,67	9,09	12,14	7,04
0,59	19,90	11,74	15,57	9,19	12,11	7,14
0,60	19,72	11,83	15,48	9,28	12,07	7,24
0,61	19,53	11,92	15,38	9,38	12,03	7,34
0,62	19,35	12,00	15,27	9,47	11,99	7,43
0,63	19,16	12,07	15,17	9,56	11,95	7,53
0,64	18,97	12,14	15,06	9,64	11,90	7,62
0,65	18,78	12,20	14,95	9,72	11,85	7,70
0,66	18,58	12,26	14,83	9,79	11,79	7,78
0,67	18,37	12,30	14,71	9,86	11,73	7,76
0,68	18,16	12,35	14,58	9,92	11,67	7,93
0,69	17,94	12,38	14,45	9,97	11,60	8,00
0,70	17,72	12,40	14,31	10,02	11,52	8,06
0,71	17,48	12,41	14,16	10,06	11,44	8,12
0,72	17,24	12,42	14,01	10,09	11,35	8,17
0,73	16,99	12,40	13,85	10,11	11,25	8,21
0,74	16,74	12,38	13,68	10,12	11,15	8,25
0,75	16,47	12,35	13,50	10,12	11,04	8,28
0,76	16,19	12,31	13,31	10,12	10,92	8,30
0,77	15,91	12,25	13,12	10,10	10,79	8,31
0,78	15,61	12,18	12,91	10,07	10,65	8,31
0,79	15,31	12,09	12,70	10,03	10,51	8,30
0,80	15,00	12,00	12,48	9,98	10,35	8,28
0,81	14,67	11,88	12,24	9,92	10,19	8,26
0,82	14,34	11,76	12,00	9,84	10,02	8,22

Dichte	Gefahrenbedingungen		Normalbedingungen		komfortable Bedingungen	
<i>D</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>
0,83	13,99	11,61	11,75	9,75	9,84	8,16
0,84	13,64	11,46	11,48	9,65	9,65	8,18
0,85	13,28	11,28	11,21	9,53	9,45	8,03
0,86	12,90	11,10	10,93	9,40	9,24	7,90
0,87	12,52	10,89	10,64	9,26	9,02	7,84
0,88	12,13	10,67	10,34	9,10	8,78	7,73
0,89	11,72	10,43	10,02	8,92	8,54	7,60
0,90	11,31	10,18	9,70	8,73	8,30	7,47
0,91	10,89	9,91	9,37	8,53	8,04	7,31
0,92	10,52	9,68	9,08	8,36	7,80	7,18

**Tabelle: Wegeinengungen und Durchgänge**

Dichte	Gefahrenbedingungen		Normalbedingungen		komfortable Bedingungen	
<i>D</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>
0,01	94,80	0,95	63,78	0,64	40,34	0,40
0,02	91,66	1,83	61,82	1,24	39,25	0,78
0,03	88,63	2,66	59,92	1,80	38,20	1,14
0,04	85,72	3,43	58,09	2,32	37,18	1,49
0,05	82,90	4,14	56,32	2,82	36,18	1,81
0,06	80,18	4,81	54,60	3,28	35,22	2,11
0,07	77,56	5,43	52,95	3,71	34,28	2,40
0,08	75,04	6,00	51,35	4,11	33,38	2,67
0,09	72,60	6,53	49,81	4,48	32,50	2,92
0,10	70,25	7,02	48,32	4,83	31,65	3,16
0,11	68,00	7,48	46,88	5,16	30,82	3,39
0,12	65,82	7,90	45,49	5,46	30,02	3,60
0,13	63,72	8,28	44,16	5,74	29,25	3,80
0,14	61,71	8,64	42,87	6,00	28,51	3,99
0,15	59,78	8,97	41,63	6,24	27,79	4,17
0,16	57,92	9,27	40,43	6,47	27,09	4,33
0,17	56,13	9,54	39,28	6,68	26,42	4,49
0,18	54,42	9,80	38,18	6,87	25,77	4,64
0,19	52,78	10,03	37,12	7,05	25,15	4,78
0,20	51,20	10,24	36,11	7,22	24,55	4,91
0,21	49,69	10,44	35,13	7,38	23,98	5,04
0,22	48,25	10,61	34,20	7,52	23,43	5,15
0,23	46,87	10,78	33,31	7,66	22,90	5,27
0,24	45,55	10,93	32,45	7,79	22,39	5,37
0,25	44,29	11,07	31,63	7,91	21,91	5,48
0,26	43,08	11,20	30,85	8,02	21,44	5,58
0,27	41,93	11,32	30,11	8,13	21,00	5,67
0,28	40,84	11,43	29,40	8,23	20,58	5,76
0,29	39,79	11,54	28,72	8,33	20,17	5,85
0,30	38,79	11,64	28,07	8,42	19,79	5,94

Dichte	Gefahrenbedingungen		Normalbedingungen		komfortable Bedingungen	
<i>D</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>
0,31	37,84	11,73	27,45	8,51	19,42	6,02
0,32	36,93	11,82	26,86	8,60	19,07	6,10
0,33	36,07	11,90	26,30	8,68	18,74	6,18
0,34	35,24	11,98	25,77	8,76	18,43	6,26
0,35	34,46	12,06	25,26	8,84	18,13	6,34
0,36	33,71	12,13	24,78	8,92	17,84	6,42
0,37	32,99	12,21	24,32	9,00	17,57	6,50
0,38	32,31	12,28	23,88	9,07	17,31	6,58
0,39	31,66	12,34	23,46	9,15	17,06	6,66
0,40	31,03	12,41	23,05	9,22	16,83	6,73
0,41	30,43	12,48	22,67	9,30	16,61	6,81
0,42	29,86	12,54	22,30	9,37	16,39	6,88
0,43	29,31	12,60	21,95	9,44	16,19	6,96
0,44	28,78	12,66	21,61	9,51	15,99	7,04
0,45	28,27	12,72	21,29	9,58	15,81	7,11
0,46	27,78	12,78	20,98	9,65	15,65	7,19
0,47	27,31	12,83	20,68	9,72	15,45	7,26
0,48	26,85	12,89	20,38	9,78	15,29	7,34
0,49	26,41	12,94	20,10	9,85	15,13	7,41
0,50	25,98	12,99	20,83	9,91	14,97	7,48
0,51	25,56	13,03	19,56	9,98	14,82	7,56
0,52	25,15	13,08	19,30	10,04	14,67	7,63
0,53	24,75	13,12	19,05	10,10	14,53	7,70
0,54	24,36	13,16	18,80	10,15	14,38	7,77
0,55	23,98	13,19	18,56	10,21	14,24	7,83
0,56	23,61	13,22	18,32	10,26	14,11	7,90
0,57	23,24	13,25	18,09	10,31	13,97	7,96
0,58	22,88	13,27	17,86	10,36	13,84	8,03
0,59	22,52	13,29	17,63	10,40	13,71	8,09
0,60	22,17	13,30	17,40	10,44	13,58	8,14

**Tabelle: Wegeinengungen und Durchgänge**

Dichte	Gefahrenbedingungen		Normalbedingungen		komfortable Bedingungen	
<i>D</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>
0,01	94,80	0,95	63,78	0,64	40,34	0,40
0,02	91,66	1,83	61,82	1,24	39,25	0,78
0,03	88,63	2,66	59,92	1,80	38,20	1,14
0,04	85,72	3,43	58,09	2,32	37,18	1,49
0,05	82,90	4,14	56,32	2,82	36,18	1,81
0,06	80,18	4,81	54,60	3,28	35,22	2,11
0,07	77,56	5,43	52,95	3,71	34,28	2,40
0,08	75,04	6,00	51,35	4,11	33,38	2,67
0,09	72,60	6,53	49,81	4,48	32,50	2,92
0,10	70,25	7,02	48,32	4,83	31,65	3,16
0,11	68,00	7,48	46,88	5,16	30,82	3,39
0,12	65,82	7,90	45,49	5,46	30,02	3,60
0,13	63,72	8,28	44,16	5,74	29,25	3,80
0,14	61,71	8,64	42,87	6,00	28,51	3,99
0,15	59,78	8,97	41,63	6,24	27,79	4,17
0,16	57,92	9,27	40,43	6,47	27,09	4,33
0,17	56,13	9,54	39,28	6,68	26,42	4,49
0,18	54,42	9,80	38,18	6,87	25,77	4,64
0,19	52,78	10,03	37,12	7,05	25,15	4,78
0,20	51,20	10,24	36,11	7,22	24,55	4,91
0,21	49,69	10,44	35,13	7,38	23,98	5,04
0,22	48,25	10,61	34,20	7,52	23,43	5,15
0,23	46,87	10,78	33,31	7,66	22,90	5,27
0,24	45,55	10,93	32,45	7,79	22,39	5,37
0,25	44,29	11,07	31,63	7,91	21,91	5,48
0,26	43,08	11,20	30,85	8,02	21,44	5,58
0,27	41,93	11,32	30,11	8,13	21,00	5,67
0,28	40,84	11,43	29,40	8,23	20,58	5,76
0,29	39,79	11,54	28,72	8,33	20,17	5,85
0,30	38,79	11,64	28,07	8,42	19,79	5,94

**Tabelle: Treppe abwärts**

Dichte <i>D</i>	Gefahrenbedingungen		Normalbedingungen		komfortable Bedingungen	
	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>
0,01	59,50	0,60	49,18	0,49	37,37	0,37
0,02	58,75	1,17	48,55	0,97	36,90	0,74
0,03	57,94	1,74	47,88	1,44	36,39	1,09
0,04	57,07	2,28	47,17	1,89	35,85	1,43
0,05	56,16	2,81	46,41	2,32	35,27	1,76
0,06	55,20	3,31	45,62	2,74	34,67	2,08
0,07	54,21	3,79	44,80	3,14	34,05	2,38
0,08	53,18	4,25	43,95	3,52	33,40	2,67
0,09	52,12	4,69	43,08	3,88	32,74	2,95
0,10	51,04	5,10	42,18	4,22	32,06	3,20
0,11	49,94	5,49	41,27	4,54	31,37	3,45
0,12	48,82	5,86	40,35	4,84	30,66	3,68
0,13	47,70	6,20	39,42	5,12	29,96	3,89
0,14	46,56	6,52	38,48	5,39	29,25	4,09
0,15	45,43	6,81	37,55	5,63	28,54	4,28
0,16	44,30	7,09	36,61	5,86	27,82	4,45
0,17	43,17	7,34	35,68	6,06	27,11	4,61
0,18	42,05	7,57	34,75	6,26	26,41	4,75
0,19	40,94	7,78	33,83	6,43	25,71	4,88
0,20	39,84	7,97	32,92	6,58	25,02	5,00
0,21	38,76	8,14	32,03	6,73	24,34	5,11
0,22	37,69	8,29	31,15	6,85	23,67	5,21
0,23	36,64	8,43	30,28	6,96	23,02	5,29
0,24	35,62	8,55	29,44	7,06	22,37	5,37
0,25	34,61	8,65	28,60	7,15	21,74	5,43
0,26	33,63	8,74	27,79	7,22	21,12	5,49
0,27	32,67	8,82	27,00	7,29	20,52	5,54
0,28	31,73	8,88	26,22	7,34	19,93	5,58
0,29	30,81	8,94	25,46	7,38	19,95	5,61
0,30	29,92	8,98	24,73	7,42	18,79	5,64

Dichte <i>D</i>	Gefahrenbedingungen		Normalbedingungen		komfortable Bedingungen	
	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>
0,31	29,05	9,01	24,01	7,44	18,25	5,66
0,32	28,21	9,03	23,31	7,46	17,72	5,67
0,33	27,39	9,04	22,64	7,47	17,20	5,68
0,34	26,59	9,04	21,97	7,47	16,70	5,68
0,35	25,81	9,03	21,33	7,46	16,21	5,67
0,36	25,05	9,02	20,70	7,45	15,73	5,66
0,37	24,32	9,00	20,10	7,44	15,27	5,65
0,38	23,60	8,97	19,50	7,41	14,82	5,63
0,39	22,90	8,93	18,93	7,38	14,38	5,61
0,40	22,22	8,89	18,36	7,35	13,96	5,58
0,41	21,56	8,84	17,82	7,30	13,54	5,55
0,42	20,91	8,78	17,28	7,26	13,14	5,72
0,43	20,28	8,72	16,76	7,21	12,74	5,48
0,44	19,67	8,66	16,26	7,15	12,36	5,44
0,45	19,07	8,58	15,76	7,09	11,98	5,39
0,46	18,49	8,50	15,28	7,03	11,61	5,34
0,47	17,92	8,42	14,81	6,96	11,25	5,29
0,48	17,36	8,33	14,35	6,89	10,90	5,23
0,49	16,82	8,24	13,90	6,81	10,56	5,18
0,50	16,28	8,14	13,46	6,73	10,23	5,11
0,51	15,77	8,04	13,03	6,64	9,90	5,05
0,52	15,26	7,94	12,61	6,56	9,58	4,98
0,53	14,77	7,83	12,20	6,47	9,28	4,92
0,54	14,29	7,72	11,81	6,38	8,97	4,85
0,55	13,82	7,60	11,42	6,28	8,68	4,77
0,56	13,37	7,48	11,05	6,19	8,40	4,70
0,57	12,93	7,37	10,68	6,09	8,12	4,63
0,58	12,50	7,25	10,33	5,99	7,85	4,55
0,59	12,08	7,13	9,99	5,89	7,59	4,48
0,60	11,68	7,01	9,66	5,79	7,34	4,40



Dichte	Gefahrenbedingungen		Normalbedingungen		komfortable Bedingungen	
<i>D</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>
0,61	11,30	6,89	9,34	5,70	7,10	4,33
0,62	10,93	6,78	9,03	5,60	6,86	4,26
0,63	10,57	6,66	8,74	5,50	6,64	4,18
0,64	10,23	6,55	8,46	5,41	6,43	4,11
0,65	9,90	6,44	8,19	5,32	6,22	4,04
0,66	9,59	6,33	7,93	5,23	6,03	3,98
0,67	9,30	6,23	7,69	5,15	5,84	3,91
0,68	9,02	6,13	7,46	5,07	5,67	3,85
0,69	8,76	6,04	7,24	4,99	5,50	3,80
0,70	8,51	5,96	7,03	4,92	5,34	3,74
0,71	8,28	5,88	6,84	4,86	5,20	3,69
0,72	8,06	5,80	6,66	4,80	5,06	3,65
0,73	7,86	5,74	6,50	4,74	4,94	3,60
0,74	7,68	5,68	6,34	4,70	4,82	3,57
0,75	7,50	5,63	6,20	4,65	4,71	3,54
0,76	7,35	5,58	6,07	4,61	4,61	3,51
0,77	7,20	5,54	5,95	4,58	4,52	3,48
0,78	7,07	5,51	5,84	4,56	4,44	3,46
0,79	6,95	5,49	5,74	4,54	4,36	3,45
0,80	6,84	5,47	5,65	4,52	4,29	3,44
0,81	6,74	5,46	5,57	4,51	4,23	3,43
0,82	6,64	5,45	5,49	4,50	4,17	3,42
0,83	6,55	5,44	5,42	4,50	4,12	3,42
0,84	6,47	5,43	5,35	4,49	4,06	3,42
0,85	6,40	5,44	5,29	4,49	4,02	3,41
0,86	6,32	5,44	5,22	4,49	3,97	3,41
0,87	6,25	5,44	5,16	4,49	3,92	3,41
0,88	6,17	5,43	5,10	4,49	3,88	3,41
0,89	6,10	5,43	5,04	4,48	3,83	3,41
0,90	6,02	5,42	4,97	4,48	3,78	3,40
0,91	5,93	5,40	4,90	4,46	3,73	3,39
0,92	5,84	5,38	4,83	4,44	3,67	3,38

**Tabelle: Treppe aufwärts**

Dichte <i>D</i>	Gefahrenbedingungen		Normalbedingungen		komfortable Bedingungen	
	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>
0,01	55,21	0,55	43,82	0,44	35,93	0,36
0,02	53,98	1,08	42,84	0,86	35,13	0,70
0,03	52,68	1,58	41,81	1,25	34,28	1,03
0,04	51,30	2,05	40,71	1,63	33,38	1,34
0,05	49,86	2,49	39,57	1,98	32,45	1,62
0,06	48,36	2,90	38,38	2,30	31,50	1,89
0,07	46,81	3,28	37,15	2,60	30,46	2,13
0,08	45,22	3,62	35,89	2,87	29,43	2,35
0,09	43,61	3,92	34,61	3,12	28,38	2,55
0,10	42,00	4,20	33,33	3,33	27,33	2,73
0,11	40,38	4,44	32,05	3,52	26,28	2,89
0,12	38,78	4,65	30,78	3,69	25,24	3,03
0,13	37,22	4,84	29,54	3,84	24,22	3,15
0,14	35,69	5,00	28,32	3,96	23,22	3,25
0,15	34,21	5,13	27,15	4,07	22,26	3,34
0,16	32,79	5,24	26,02	4,16	21,34	3,41
0,17	31,43	5,34	24,94	4,24	20,45	3,48
0,18	30,14	5,42	23,92	4,31	19,62	3,53
0,19	28,93	5,50	22,96	4,36	18,83	3,58
0,20	27,80	5,56	22,06	4,41	18,09	3,62
0,21	26,74	5,62	21,22	4,46	17,41	3,65
0,22	25,76	5,67	20,44	4,50	16,76	3,69
0,23	24,86	5,72	19,73	4,54	16,18	3,72
0,24	24,04	5,77	19,08	4,58	15,64	3,75
0,25	23,28	5,82	18,48	4,62	15,15	3,79
0,26	22,60	5,88	17,94	4,66	14,71	3,82
0,27	21,99	5,94	17,45	4,71	14,31	3,86
0,28	21,44	6,00	17,01	4,76	13,95	3,91
0,29	20,84	6,07	16,62	4,82	13,63	3,95
0,30	20,50	6,15	16,27	4,88	13,34	4,00

Dichte	Gefahrenbedingungen		Normalbedingungen		komfortable Bedingungen	
<i>D</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>
0,31	20,11	6,23	15,96	4,95	13,08	4,06
0,32	19,76	6,32	15,68	5,02	12,86	4,11
0,33	19,44	6,42	15,43	5,09	12,65	4,18
0,34	19,17	6,52	15,21	5,17	12,47	4,24
0,35	18,92	6,62	15,01	5,26	12,31	4,31
0,36	18,70	6,73	14,84	5,34	12,17	4,38
0,37	18,49	6,84	14,68	5,43	12,04	4,45
0,38	18,31	6,96	14,53	5,52	11,92	4,53
0,39	18,14	7,08	14,40	5,62	11,81	4,60
0,40	17,99	7,19	14,28	5,71	11,71	4,68
0,41	17,84	7,31	14,16	5,80	11,61	4,76
0,42	17,70	7,43	14,05	5,90	11,52	4,84
0,43	17,56	7,55	13,94	5,99	11,43	4,92
0,44	17,43	7,67	12,84	6,09	11,34	4,99
0,45	17,30	7,79	13,73	6,18	11,26	5,07
0,46	17,17	7,90	13,63	6,27	11,18	5,14
0,47	17,04	8,01	13,53	6,36	11,09	5,21
0,48	16,92	8,12	13,42	6,44	11,01	5,28
0,49	16,78	8,22	13,32	6,53	10,92	5,35
0,50	16,65	8,33	13,22	6,61	10,84	5,42
0,51	16,52	8,42	13,11	6,69	10,75	5,48
0,52	16,39	8,52	13,00	6,76	10,66	5,54
0,53	16,25	8,61	12,90	6,84	10,58	5,60
0,54	16,12	8,70	12,79	6,91	10,49	5,66
0,55	15,98	8,79	12,68	6,98	10,40	5,72
0,56	15,84	8,87	12,57	7,04	10,31	5,77
0,57	15,71	8,95	12,47	7,11	10,22	5,83
0,58	15,57	9,03	12,36	7,17	10,14	5,88
0,59	15,44	9,11	12,25	7,23	10,05	5,93
0,60	15,31	9,18	12,15	7,29	9,96	5,98

Dichte	Gefahrenbedingungen		Normalbedingungen		komfortable Bedingungen	
<i>D</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>q</i>
0,61	15,06	9,19	11,95	7,29	9,80	5,98
0,62	14,81	9,18	11,76	7,29	9,64	5,98
0,63	14,56	9,18	11,56	7,28	9,48	5,97
0,64	14,32	9,16	11,36	7,27	9,32	5,96
0,65	14,07	9,15	11,17	7,26	9,16	5,95
0,66	13,83	9,13	10,98	7,24	9,00	5,94
0,67	13,59	9,10	10,78	7,22	8,84	5,92
0,68	13,35	9,08	10,60	7,20	8,69	5,91
0,69	13,12	9,05	10,41	7,18	8,54	5,89
0,70	12,88	9,02	10,22	7,16	8,38	5,87
0,71	12,66	8,99	10,04	7,13	8,24	5,85
0,72	12,43	8,95	9,87	7,10	8,09	5,82
0,73	12,21	8,92	9,69	7,08	7,95	5,80
0,74	12,00	8,88	9,52	7,04	7,81	5,78
0,75	11,78	8,84	9,35	7,01	7,67	5,75
0,76	11,57	8,80	9,19	6,98	7,53	5,72
0,77	11,37	8,75	9,02	6,95	7,40	5,70
0,78	11,16	8,72	8,86	6,91	7,27	5,67
0,79	10,96	8,66	8,70	6,88	7,14	5,64
0,80	10,77	8,61	8,54	6,84	7,01	5,60
0,81	10,57	8,56	8,39	6,80	6,88	5,57
0,82	10,37	8,51	8,23	6,75	6,75	5,54
0,83	10,18	8,45	8,08	6,70	6,62	5,50
0,84	9,98	8,38	7,92	6,65	6,50	5,46
0,85	9,78	8,32	7,76	6,60	6,37	5,41
0,86	9,58	8,24	7,60	6,54	6,20	5,36
0,87	9,38	8,16	7,44	6,47	6,10	5,31
0,88	9,17	8,07	7,28	6,40	5,96	5,25
0,89	8,95	7,97	7,10	6,32	5,82	5,18
0,90	8,73	7,86	6,93	6,24	5,68	5,11
0,91	8,50	7,73	6,74	6,14	5,53	5,03
0,92	8,29	7,64	6,58	6,06	5,40	4,86

+++++

Simulation of EG+1OG+2OG+3OG+int\_ex\_loc\_pot.exo, with 499 People, Generated Thu Aug 12 08:56:04 2004

buildingEXODUS V4.0  
Academic  
Licence No: 672596169  
Expires on: 25/5/2005  
Markus

buildingEXODUS is a product of  
U.G.M.T.  
a subsidiary of  
the University of Greenwich

+++++

Simulation Options User Defined

+++++

+++++

Attribute	Average	Min	Max
Males	257	257	257
Female	242	242	242
Age	39.80	20.00	59.00
Agility	4.98	3.01	7.00
Drive	7.81	1.15	14.97
F. Walk(m/s)	1.15	0.80	1.50
Walk (m/s)	1.03	0.72	1.35
Crawl (m/s)	0.23	0.16	0.30
Leap (m/s)	0.92	0.64	1.20
Mobility	1.00	1.00	1.00
Patience (s)	1000.00	1000.00	1000.00
Response (s)	14.46	0.02	30.00
Weight	60.96	49.00	74.00
Height	1.69	1.54	1.83

+++++

+++++

Switch |Value |

```

+++++
Angle of Movement      |OFF      |
Avoid Congestion       |OFF      |
Avoid Pop. Density     |OFF      |
Crawling               |ON       |
Extreme Behaviour      |OFF      |
Floor Potentials       |ON       |
Impatient              |OFF      |
Local Familiarity      |OFF      |
Local Fam.Main Exits   |OFF      |
Local Potentials       |OFF      |
Maintain Target Exit   |OFF      |
Maintain Itinerary     |OFF      |
Milling               |OFF      |
Response Zones         |OFF      |
Seat Jumping           |OFF      |
Specified Response     |OFF      |
Specified Resp. Time   |          0.00|
Stair Packing          |OFF      |
Stair Edge Perf        |ON       |
Smoke Redirection      |OFF      |
Smoke Redir. Type      |Woods    |
Smoke Gender Inf.      |ON       |
Smoke Stagger          |OFF      |
Smoke Viz. Coef.       |          2.00|
Wall Proximity         |OFF      |
Max Sim.              |OFF      |
Max Sim. Time          |          3600.00|

```

Number of People out 499, first out (secs) 2.59 last 166.61

Final Simulation time 166.61

```

Number of People Starting on floor 0 (Floor_0) was 100, last exit (secs) 166.61
Number of People Starting on floor 1 (Floor_1) was 131, last exit (secs) 138.48
Number of People Starting on floor 2 (Floor_2) was 160, last exit (secs) 85.78
Number of People Starting on floor 3 (Floor_3) was 108, last exit (secs) 57.05
+++++

```

Exit results table:-

+++++

Pos	Gender	Start Node	Level	Floor	Age	Agility	Drive	Mobility	End Node	CWT	Distance	PET	Jumps
1	Male	1465	0	Floor_0	58	4.69	8.05	1.00	Hauptausgang	0.00	0.00	2.59	0
2	Male	1359	0	Floor_0	34	4.38	6.19	1.00	Treppenhaus_B	0.00	0.40	3.24	0
3	Male	1391	0	Floor_0	53	3.51	8.64	1.00	Treppenhaus_D	0.00	0.50	4.29	0
4	Female	1119	0	Floor_0	41	3.11	6.41	1.00	Treppenhaus_B	0.00	7.28	11.01	0
5	Male	4020	1	Floor_1	47	3.96	5.61	1.00	Treppenhaus_C	0.00	7.26	11.31	0
6	Female	1248	0	Floor_0	22	5.13	5.88	1.00	Treppenhaus_A	0.00	0.50	12.86	0
7	Male	414	0	Floor_0	23	4.39	13.38	1.00	Haupteingang	0.00	9.23	13.27	0
8	Male	1372	0	Floor_0	33	6.10	10.99	1.00	Treppenhaus_B	0.00	2.12	13.47	0
9	Male	430	0	Floor_0	46	4.53	10.89	1.00	Haupteingang	0.00	10.73	14.73	0
10	Female	1718	0	Floor_0	40	5.11	7.78	1.00	Hauptausgang	0.00	2.90	14.76	0
11	Female	731	0	Floor_0	32	5.59	6.47	1.00	Hauptausgang	0.00	12.06	15.17	0
12	Female	1128	0	Floor_0	56	6.45	4.12	1.00	Treppenhaus_D	0.00	10.50	15.23	0
13	Female	646	0	Floor_0	38	3.59	2.78	1.00	Haupteingang	0.00	5.11	15.27	0
14	Male	4079	1	Floor_1	27	3.22	14.97	1.00	Treppenhaus_B	0.00	12.80	15.42	0
15	Female	1726	0	Floor_0	27	4.22	6.03	1.00	Hauptausgang	0.00	1.90	16.30	0
16	Female	541	0	Floor_0	22	3.82	6.51	1.00	Hauptausgang	0.00	13.26	16.31	0
17	Female	13401	1	Floor_1	45	5.85	1.99	1.00	Treppenhaus_C	0.00	13.98	16.38	0
18	Female	6279	2	Floor_2	54	6.75	4.83	1.00	Treppenhaus_A	0.00	14.00	17.05	0
19	Male	1027	0	Floor_0	40	5.05	9.99	1.00	Hauptausgang	0.00	6.40	18.19	0
20	Female	90	0	Floor_0	36	6.58	5.73	1.00	Haupteingang	0.57	14.73	18.29	0
21	Male	1271	0	Floor_0	48	5.48	7.24	1.00	Treppenhaus_A	0.00	2.48	18.33	0
22	Male	853	0	Floor_0	49	5.70	9.24	1.00	Haupteingang	0.57	17.00	18.70	0
23	Female	239	0	Floor_0	59	5.86	3.19	1.00	Haupteingang	0.00	10.61	18.90	0
24	Female	13065	1	Floor_1	37	4.06	1.17	1.00	Treppenhaus_C	0.00	13.13	19.06	0
25	Male	715	0	Floor_0	34	5.31	8.96	1.00	Hauptausgang	0.00	18.03	19.32	0
26	Male	1312	0	Floor_0	28	4.43	9.21	1.00	Treppenhaus_C	0.00	4.12	19.68	0
27	Female	1713	0	Floor_0	47	3.60	9.31	1.00	Haupteingang	0.00	1.40	20.11	0
28	Male	1080	0	Floor_0	50	5.21	11.56	1.00	Hauptausgang	0.00	4.90	20.29	0
29	Male	602	0	Floor_0	34	5.08	5.51	1.00	Haupteingang	0.00	5.40	20.46	0
30	Female	140	0	Floor_0	22	6.02	3.84	1.00	Haupteingang	0.11	17.30	20.59	0
31	Female	1911	1	Floor_1	50	4.18	2.54	1.00	Treppenhaus_A	0.00	17.71	20.66	0
32	Male	13482	1	Floor_1	47	3.92	6.36	1.00	Haupteingang	0.87	20.51	20.74	0
33	Female	1069	0	Floor_0	51	5.45	7.49	1.00	Treppenhaus_B	0.00	18.90	21.17	0
34	Male	4004	1	Floor_1	24	3.18	10.00	1.00	Treppenhaus_C	0.00	8.88	21.22	0
35	Female	13954	1	Floor_1	36	6.41	2.52	1.00	Treppenhaus_A	0.87	8.53	21.51	0
36	Male	1747	0	Floor_0	25	4.68	8.13	1.00	Haupteingang	0.95	4.90	21.59	0
37	Female	4124	1	Floor_1	52	5.96	7.28	1.00	Treppenhaus_B	0.00	10.99	21.78	0
38	Male	574	0	Floor_0	50	5.14	6.33	1.00	Haupteingang	0.36	11.73	22.04	0
39	Male	1425	0	Floor_0	40	3.33	7.09	1.00	Treppenhaus_D	0.00	4.00	22.12	0
40	Male	10	0	Floor_0	39	5.80	13.89	1.00	Haupteingang	0.00	14.35	22.91	0
41	Female	4185	1	Floor_1	40	4.49	6.04	1.00	Haupteingang	0.88	13.12	23.09	0
42	Female	1076	0	Floor_0	35	3.50	7.51	1.00	Treppenhaus_B	0.15	9.20	23.13	0
43	Male	12266	1	Floor_1	28	4.14	9.40	1.00	Treppenhaus_C	0.96	20.56	23.21	0
44	Male	12423	1	Floor_1	35	5.98	13.53	1.00	Treppenhaus_A	1.20	12.61	23.27	0

45 Male	4002		1 Floor_1		56	6.45	5.12	1.00 Treppenhaus_C	0.81	8.82	23.38	0
46 Male	3931		1 Floor_1		29	5.34	11.46	1.00 Treppenhaus_D	0.00	21.32	24.47	0
47 Female	523		0 Floor_0		51	3.49	5.39	1.00 Haupteingang	0.00	23.73	24.57	0
48 Male	2780		1 Floor_1		26	4.83	9.70	1.00 Treppenhaus_C	0.41	14.82	25.32	0
49 Male	965		0 Floor_0		37	5.36	7.12	1.00 Treppenhaus_D	0.57	19.46	25.63	0
50 Male	1989		1 Floor_1		21	5.27	13.09	1.00 Treppenhaus_A	0.40	19.90	25.76	0
51 Male	4094		1 Floor_1		40	6.54	5.21	1.00 Treppenhaus_B	0.43	15.68	25.89	0
52 Female	4197		1 Floor_1		26	6.49	4.85	1.00 Haupteingang	0.64	19.09	26.03	0
53 Female	267		0 Floor_0		34	4.17	4.29	1.00 Haupteingang	0.00	19.06	26.31	0
54 Male	170		0 Floor_0		54	3.66	11.02	1.00 Haupteingang	0.00	17.44	26.38	0
55 Male	1187		0 Floor_0		32	6.35	6.35	1.00 Treppenhaus_B	0.00	7.98	26.66	0
56 Male	632		0 Floor_0		37	3.45	12.09	1.00 Hauptausgang	0.00	10.88	26.68	0
57 Male	4010		1 Floor_1		43	5.21	9.86	1.00 Treppenhaus_C	1.18	11.74	26.91	0
58 Female	2978		1 Floor_1		27	5.70	9.90	1.00 Treppenhaus_A	1.47	10.74	26.99	0
59 Male	1993		1 Floor_1		54	5.91	5.47	1.00 Treppenhaus_A	2.36	20.05	27.29	0
60 Male	6357		2 Floor_2		29	4.31	8.18	1.00 Treppenhaus_C	2.57	17.00	27.72	0
61 Female	7		0 Floor_0		45	6.87	6.27	1.00 Haupteingang	0.00	14.85	27.95	0
62 Male	6319		2 Floor_2		46	3.29	11.62	1.00 Treppenhaus_A	0.00	19.87	27.96	0
63 Female	1304		0 Floor_0		50	4.42	5.39	1.00 Treppenhaus_C	0.00	2.50	27.98	0
64 Male	425		0 Floor_0		58	6.94	6.25	1.00 Hauptausgang	1.20	15.26	28.43	0
65 Female	926		0 Floor_0		54	3.08	2.01	1.00 Treppenhaus_D	0.57	19.93	28.57	0
66 Male	2011		1 Floor_1		46	6.77	12.05	1.00 Haupteingang	0.00	28.09	28.80	0
67 Male	6499		2 Floor_2		43	5.05	6.12	1.00 Treppenhaus_B	0.56	27.05	28.93	0
68 Male	1704		0 Floor_0		50	3.65	13.45	1.00 Haupteingang	0.00	2.90	28.94	0
69 Female	963		0 Floor_0		26	4.35	4.90	1.00 Treppenhaus_D	0.00	13.13	29.92	0
70 Male	1305		0 Floor_0		39	6.12	11.78	1.00 Treppenhaus_C	0.00	2.50	30.02	0
71 Female	2600		1 Floor_1		49	3.27	6.77	1.00 Treppenhaus_C	5.02	22.99	30.11	0
72 Female	2493		1 Floor_1		45	3.25	2.51	1.00 Treppenhaus_B	0.88	24.72	30.12	0
73 Female	3521		1 Floor_1		25	4.90	6.11	1.00 Haupteingang	0.00	23.71	30.21	0
74 Male	8032		3 Floor_3		42	3.38	10.28	1.00 Treppenhaus_A	3.23	25.54	30.51	0
75 Male	770		0 Floor_0		23	3.06	6.40	1.00 Treppenhaus_B	0.00	14.24	30.54	0
76 Male	1961		1 Floor_1		29	3.66	14.86	1.00 Treppenhaus_A	0.29	18.00	30.57	0
77 Female	667		0 Floor_0		20	4.22	3.70	1.00 Hauptausgang	0.00	13.47	30.60	0
78 Male	972		0 Floor_0		30	4.18	13.78	1.00 Haupteingang	0.00	19.00	30.69	0
79 Male	465		0 Floor_0		21	4.38	7.86	1.00 Hauptausgang	1.20	16.00	31.12	0
80 Female	1082		0 Floor_0		42	3.90	5.66	1.00 Hauptausgang	0.00	5.90	31.24	0
81 Male	1920		1 Floor_1		52	5.38	14.41	1.00 Treppenhaus_C	2.83	26.05	31.25	0
82 Male	1752		0 Floor_0		47	4.64	11.66	1.00 Treppenhaus_B	0.00	4.03	31.58	0
83 Female	5507		2 Floor_2		55	4.19	1.15	1.00 Treppenhaus_C	3.17	25.31	31.83	0
84 Female	6469		2 Floor_2		55	4.11	6.25	1.00 Treppenhaus_B	0.13	23.15	31.83	0
85 Female	3040		1 Floor_1		58	6.57	6.92	1.00 Treppenhaus_B	0.00	21.87	32.00	0
86 Female	8024		3 Floor_3		39	3.21	9.59	1.00 Treppenhaus_A	1.00	23.56	32.38	0
87 Female	6559		2 Floor_2		30	5.19	1.65	1.00 Treppenhaus_D	1.03	31.81	32.42	0
88 Female	2490		1 Floor_1		23	3.95	6.20	1.00 Haupteingang	1.27	24.93	32.67	0
89 Female	112		0 Floor_0		46	6.38	4.49	1.00 Haupteingang	0.00	13.26	32.81	0
90 Male	3061		1 Floor_1		31	4.05	8.80	1.00 Haupteingang	0.16	34.94	33.24	0
91 Male	2830		1 Floor_1		57	6.26	10.02	1.00 Treppenhaus_A	3.65	25.16	33.33	0
92 Male	3976		1 Floor_1		26	5.37	8.48	1.00 Treppenhaus_A	0.67	2.97	33.35	0



93 Male	6466		2 Floor_2		56	4.52	10.93	1.00 Treppenhaus_B	1.93	16.10	33.38	0
94 Female	854		0 Floor_0		38	6.24	9.33	1.00 Haupteingang	0.00	16.59	33.47	0
95 Male	2762		1 Floor_1		45	5.89	14.61	1.00 Treppenhaus_C	2.99	22.96	33.49	0
96 Female	1815		1 Floor_1		20	3.85	6.84	1.00 Treppenhaus_A	4.07	20.79	33.52	0
97 Female	2853		1 Floor_1		35	4.48	3.97	1.00 Treppenhaus_D	0.00	25.52	33.54	0
98 Male	536		0 Floor_0		31	5.18	12.02	1.00 Hauptaussgang	0.00	15.79	33.67	0
99 Female	867		0 Floor_0		56	5.41	6.15	1.00 Treppenhaus_B	0.00	14.52	33.89	0
100 Male	1314		0 Floor_0		24	5.64	12.76	1.00 Treppenhaus_C	0.61	4.33	33.91	0
101 Female	2665		1 Floor_1		52	4.69	4.46	1.00 Haupteingang	0.45	33.11	34.44	0
102 Female	4121		1 Floor_1		55	6.30	5.12	1.00 Treppenhaus_B	13.58	12.06	34.63	0
103 Male	2209		1 Floor_1		33	5.98	5.02	1.00 Treppenhaus_A	5.16	18.20	34.75	0
104 Female	682		0 Floor_0		23	5.43	5.69	1.00 Treppenhaus_D	0.00	19.49	35.05	0
105 Female	290		0 Floor_0		27	5.43	2.44	1.00 Haupteingang	0.00	10.40	35.06	0
106 Female	3937		1 Floor_1		52	6.03	7.25	1.00 Treppenhaus_D	0.69	20.61	35.17	0
107 Male	1529		0 Floor_0		59	4.28	9.18	1.00 Treppenhaus_D	0.00	33.33	35.28	0
108 Female	440		0 Floor_0		23	4.78	2.33	1.00 Haupteingang	0.00	7.40	35.59	0
109 Male	996		0 Floor_0		33	6.84	14.85	1.00 Hauptaussgang	0.00	6.40	35.80	0
110 Female	4125		1 Floor_1		24	5.67	8.55	1.00 Treppenhaus_B	0.61	12.28	35.86	0
111 Male	2213		1 Floor_1		35	4.99	9.18	1.00 Treppenhaus_A	3.42	18.48	36.01	0
112 Female	1065		0 Floor_0		22	4.38	8.98	1.00 Haupteingang	0.00	17.16	36.16	0
113 Female	2635		1 Floor_1		49	5.95	7.00	1.00 Treppenhaus_A	6.04	18.65	36.42	0
114 Female	1057		0 Floor_0		30	5.27	2.26	1.00 Hauptaussgang	0.00	5.40	36.54	0
115 Female	1651		0 Floor_0		20	3.53	4.70	1.00 Treppenhaus_D	0.00	25.37	36.65	0
116 Female	3114		1 Floor_1		37	6.49	3.29	1.00 Treppenhaus_D	1.17	20.94	36.69	0
117 Female	3613		1 Floor_1		36	6.53	6.47	1.00 Treppenhaus_B	2.63	17.74	36.83	0
118 Female	4177		1 Floor_1		32	4.68	3.35	1.00 Haupteingang	0.68	17.38	37.11	0
119 Female	1224		0 Floor_0		44	5.51	6.57	1.00 Treppenhaus_D	2.00	8.12	37.33	0
120 Male	421		0 Floor_0		41	6.88	9.76	1.00 Hauptaussgang	0.00	14.00	37.37	0
121 Male	4301		2 Floor_2		44	4.63	5.13	1.00 Treppenhaus_A	1.77	30.27	37.44	0
122 Female	2615		1 Floor_1		46	3.71	8.19	1.00 Treppenhaus_C	6.82	19.14	37.66	0
123 Male	3407		1 Floor_1		22	6.80	7.02	1.00 Haupteingang	0.00	31.05	37.71	0
124 Male	378		0 Floor_0		25	5.31	12.00	1.00 Hauptaussgang	0.00	16.71	37.82	0
125 Male	1767		1 Floor_1		38	3.40	7.76	1.00 Treppenhaus_A	5.04	22.76	37.92	0
126 Male	4331		2 Floor_2		31	4.91	9.33	1.00 Treppenhaus_A	4.41	31.79	38.01	0
127 Female	3849		1 Floor_1		25	5.89	7.96	1.00 Treppenhaus_D	2.10	26.57	38.22	0
128 Female	6277		2 Floor_2		38	4.59	6.66	1.00 Treppenhaus_A	2.01	13.57	38.22	0
129 Female	2416		1 Floor_1		31	6.97	2.21	1.00 Treppenhaus_B	1.60	27.35	38.57	0
130 Male	164		0 Floor_0		42	4.23	5.84	1.00 Haupteingang	0.58	17.85	38.59	0
131 Female	6538		2 Floor_2		41	3.90	7.35	1.00 Treppenhaus_D	1.41	32.83	38.67	0
132 Male	2803		1 Floor_1		51	4.87	5.64	1.00 Treppenhaus_C	15.49	21.90	38.79	0
133 Male	1901		1 Floor_1		55	5.42	12.53	1.00 Haupteingang	0.52	28.44	38.82	0
134 Female	656		0 Floor_0		35	4.34	6.62	1.00 Haupteingang	0.67	15.06	38.89	0
135 Female	3219		1 Floor_1		56	4.70	7.24	1.00 Treppenhaus_D	0.37	17.58	38.90	0
136 Male	716		0 Floor_0		49	6.11	12.49	1.00 Hauptaussgang	0.00	14.00	39.01	0
137 Male	4105		1 Floor_1		36	6.06	5.60	1.00 Treppenhaus_B	4.86	10.95	39.09	0
138 Male	2032		1 Floor_1		29	5.30	11.08	1.00 Treppenhaus_A	4.03	16.17	39.09	0
139 Female	2456		1 Floor_1		49	4.96	4.28	1.00 Treppenhaus_A	5.42	18.74	39.56	0
140 Male	2016		1 Floor_1		29	3.86	6.40	1.00 Haupteingang	2.26	40.37	39.75	0

141 Male	4040		1 Floor_1		25	4.23	8.60	1.00 Treppenhaus_D	3.19	14.42	39.81	0
142 Female	2371		1 Floor_1		20	5.93	9.83	1.00 Treppenhaus_A	2.50	21.26	39.89	0
143 Female	2771		1 Floor_1		31	6.94	9.02	1.00 Treppenhaus_C	5.98	19.19	39.90	0
144 Female	6462		2 Floor_2		32	4.67	1.22	1.00 Treppenhaus_B	0.76	18.18	39.91	0
145 Male	6390		2 Floor_2		33	3.07	10.94	1.00 Treppenhaus_D	1.20	18.01	39.98	0
146 Male	831		0 Floor_0		57	4.92	5.94	1.00 Treppenhaus_B	0.00	13.81	40.34	0
147 Male	20		0 Floor_0		46	6.71	11.42	1.00 Haupteingang	0.25	15.89	40.42	0
148 Male	4358		2 Floor_2		52	5.71	11.64	1.00 Treppenhaus_A	0.69	32.77	41.03	0
149 Female	2776		1 Floor_1		39	4.60	1.61	1.00 Haupteingang	1.18	41.68	41.15	0
150 Female	249		0 Floor_0		34	6.15	7.85	1.00 Hauptausgang	0.00	17.83	41.22	0
151 Male	226		0 Floor_0		32	4.97	7.28	1.00 Haupteingang	1.10	20.80	41.23	0
152 Male	3098		1 Floor_1		26	3.44	6.48	1.00 Treppenhaus_C	8.85	30.01	41.27	0
153 Female	592		0 Floor_0		25	3.19	9.22	1.00 Treppenhaus_D	0.61	19.86	41.38	0
154 Female	1061		0 Floor_0		42	3.46	9.17	1.00 Haupteingang	0.22	23.73	41.42	0
155 Female	1806		1 Floor_1		39	3.98	9.24	1.00 Treppenhaus_A	1.13	21.07	41.44	0
156 Female	6560		2 Floor_2		42	3.76	2.53	1.00 Treppenhaus_D	3.21	32.07	41.61	0
157 Male	2512		1 Floor_1		53	3.45	12.05	1.00 Treppenhaus_C	6.48	22.42	41.86	0
158 Female	4263		2 Floor_2		47	3.26	2.04	1.00 Treppenhaus_A	3.94	27.96	42.15	0
159 Male	40		0 Floor_0		35	6.44	5.91	1.00 Haupteingang	0.54	15.18	42.18	0
160 Female	4708		2 Floor_2		39	6.72	2.28	1.00 Treppenhaus_B	0.00	39.83	42.29	0
161 Female	8148		3 Floor_3		48	3.90	8.41	1.00 Treppenhaus_D	10.88	31.83	42.62	0
162 Male	5265		2 Floor_2		40	6.84	13.47	1.00 Treppenhaus_D	9.48	30.03	42.69	0
163 Female	3075		1 Floor_1		22	3.19	7.46	1.00 Treppenhaus_B	0.00	19.54	42.71	0
164 Male	1792		1 Floor_1		26	3.52	13.08	1.00 Treppenhaus_A	2.58	22.69	42.75	0
165 Female	2237		1 Floor_1		37	3.37	2.23	1.00 Haupteingang	0.63	37.73	42.89	0
166 Female	171		0 Floor_0		49	5.19	3.79	1.00 Haupteingang	0.86	19.59	42.96	0
167 Male	721		0 Floor_0		52	3.13	9.41	1.00 Treppenhaus_D	0.54	21.44	42.99	0
168 Male	2454		1 Floor_1		50	5.32	12.21	1.00 Treppenhaus_A	0.76	18.53	43.05	0
169 Male	1167		0 Floor_0		51	5.19	9.72	1.00 Haupteingang	0.67	27.21	43.21	0
170 Male	943		0 Floor_0		37	4.55	14.11	1.00 Treppenhaus_B	0.13	14.91	43.38	0
171 Male	4285		2 Floor_2		25	5.40	11.16	1.00 Treppenhaus_A	1.71	27.46	43.71	0
172 Male	1903		1 Floor_1		44	4.26	5.25	1.00 Haupteingang	1.95	30.18	43.80	0
173 Female	5607		2 Floor_2		34	4.78	9.02	1.00 Treppenhaus_C	8.21	32.21	43.87	0
174 Female	4909		2 Floor_2		33	6.44	7.68	1.00 Treppenhaus_D	4.77	36.85	44.00	0
175 Female	4692		2 Floor_2		47	3.81	1.34	1.00 Treppenhaus_B	0.44	40.17	44.03	0
176 Female	1927		1 Floor_1		45	4.83	4.50	1.00 Treppenhaus_C	12.41	26.30	44.43	0
177 Male	6257		2 Floor_2		49	6.81	13.80	1.00 Treppenhaus_A	2.64	35.82	44.76	0
178 Male	3529		1 Floor_1		20	5.81	5.47	1.00 Haupteingang	0.46	24.30	44.97	0
179 Female	1802		1 Floor_1		34	5.29	7.52	1.00 Treppenhaus_A	0.53	21.47	44.99	0
180 Male	1522		0 Floor_0		24	5.66	6.58	1.00 Treppenhaus_D	0.79	34.33	45.00	0
181 Male	3378		1 Floor_1		53	4.54	11.41	1.00 Treppenhaus_A	0.57	31.26	45.03	0
182 Female	1652		0 Floor_0		38	5.68	5.65	1.00 Treppenhaus_D	0.81	25.76	45.22	0
183 Female	3279		1 Floor_1		28	6.84	9.94	1.00 Haupteingang	0.75	23.01	45.42	0
184 Female	4484		2 Floor_2		59	5.14	1.31	1.00 Treppenhaus_B	0.00	39.87	45.82	0
185 Male	1922		1 Floor_1		46	4.78	10.80	1.00 Treppenhaus_C	7.42	26.37	45.82	0
186 Female	4141		1 Floor_1		32	6.09	9.18	1.00 Haupteingang	0.74	27.69	45.86	0
187 Male	6318		2 Floor_2		55	6.85	9.10	1.00 Treppenhaus_A	1.50	17.76	46.42	0
188 Male	4294		2 Floor_2		31	3.10	11.08	1.00 Treppenhaus_A	0.86	28.47	46.42	0

189 Male	1609		0 Floor_0		49	6.82	6.83	1.00 Treppenhaus_D	1.54	27.11	46.44	0
190 Female	4009		1 Floor_1		49	4.32	2.16	1.00 Treppenhaus_C	4.57	13.86	46.76	0
191 Male	4317		2 Floor_2		42	4.20	14.86	1.00 Treppenhaus_A	0.74	20.29	46.76	0
192 Male	192		0 Floor_0		40	6.97	13.26	1.00 Haupteingang	0.00	15.68	46.77	0
193 Male	3644		1 Floor_1		41	4.52	6.04	1.00 Haupteingang	0.19	28.25	46.82	0
194 Female	3082		1 Floor_1		28	6.56	4.45	1.00 Haupteingang	1.81	39.35	46.92	0
195 Female	2170		1 Floor_1		58	3.33	3.22	1.00 Treppenhaus_A	0.00	19.43	46.98	0
196 Female	4787		2 Floor_2		26	3.01	3.35	1.00 Treppenhaus_B	6.61	30.42	47.19	0
197 Male	516		0 Floor_0		33	5.71	13.93	1.00 Haupteingang	0.94	23.83	47.83	0
198 Male	6072		2 Floor_2		44	6.08	10.30	1.00 Treppenhaus_A	0.00	37.96	48.05	0
199 Female	5545		2 Floor_2		58	6.57	4.45	1.00 Treppenhaus_C	16.19	29.30	48.24	0
200 Male	6425		2 Floor_2		33	4.14	11.50	1.00 Treppenhaus_B	0.19	24.96	48.29	0
201 Female	6400		2 Floor_2		25	4.95	1.61	1.00 Treppenhaus_D	15.82	26.41	48.37	0
202 Male	1196		0 Floor_0		53	6.49	13.95	1.00 Haupteingang	0.66	27.49	48.42	0
203 Male	1595		0 Floor_0		57	6.63	6.75	1.00 Treppenhaus_D	2.29	42.24	48.45	0
204 Male	7235		3 Floor_3		48	3.70	10.20	1.00 Treppenhaus_A	1.35	46.25	48.61	0
205 Female	5041		2 Floor_2		20	6.32	1.93	1.00 Treppenhaus_D	5.29	38.07	48.71	0
206 Female	1871		1 Floor_1		42	3.26	8.61	1.00 Treppenhaus_A	0.52	16.92	48.76	0
207 Female	4688		2 Floor_2		30	6.93	7.26	1.00 Treppenhaus_B	0.75	39.89	48.94	0
208 Female	5037		2 Floor_2		28	5.42	5.41	1.00 Treppenhaus_D	5.68	41.22	49.05	0
209 Male	4374		2 Floor_2		54	4.83	5.43	1.00 Treppenhaus_A	0.00	33.29	49.10	0
210 Female	1090		0 Floor_0		49	6.75	7.56	1.00 Haupteingang	0.00	17.66	49.52	0
211 Female	6269		2 Floor_2		54	4.68	3.66	1.00 Treppenhaus_C	8.45	37.02	49.69	0
212 Female	499		0 Floor_0		29	3.41	3.44	1.00 Hauptausgang	0.00	15.09	49.74	0
213 Male	611		0 Floor_0		56	5.65	14.29	1.00 Haupteingang	2.34	23.40	49.92	0
214 Female	2672		1 Floor_1		54	3.63	6.62	1.00 Haupteingang	0.00	32.31	50.20	0
215 Female	6449		2 Floor_2		28	5.04	2.65	1.00 Treppenhaus_B	3.47	22.55	50.81	0
216 Male	8088		3 Floor_3		55	5.99	7.68	1.00 Treppenhaus_C	7.34	34.91	50.93	0
217 Female	4913		2 Floor_2		45	3.28	8.19	1.00 Treppenhaus_B	0.74	37.19	50.94	0
218 Male	6385		2 Floor_2		23	4.57	12.76	1.00 Treppenhaus_D	5.65	24.36	51.12	0
219 Female	2670		1 Floor_1		58	4.41	6.28	1.00 Haupteingang	1.15	33.81	51.19	0
220 Female	7742		3 Floor_3		44	4.95	4.42	1.00 Treppenhaus_A	0.11	39.30	51.26	0
221 Male	5197		2 Floor_2		28	3.57	11.00	1.00 Treppenhaus_D	11.28	27.99	51.37	0
222 Male	3282		1 Floor_1		34	3.32	11.37	1.00 Treppenhaus_C	9.12	31.79	51.40	0
223 Female	2731		1 Floor_1		55	3.01	9.62	1.00 Haupteingang	2.05	23.85	51.56	0
224 Male	8184		3 Floor_3		33	6.40	8.19	1.00 Treppenhaus_B	3.05	30.02	51.64	0
225 Male	4481		2 Floor_2		27	5.43	12.70	1.00 Treppenhaus_D	3.94	49.09	51.89	0
226 Female	3729		1 Floor_1		50	3.02	8.31	1.00 Haupteingang	0.53	41.92	51.93	0
227 Female	4541		2 Floor_2		27	4.38	7.01	1.00 Treppenhaus_B	3.53	51.24	52.62	0
228 Male	6481		2 Floor_2		24	6.27	14.06	1.00 Treppenhaus_B	0.86	27.53	52.84	0
229 Male	3143		1 Floor_1		24	4.59	9.34	1.00 Haupteingang	1.96	39.85	52.92	0
230 Male	4249		2 Floor_2		28	4.21	12.92	1.00 Treppenhaus_A	0.62	26.14	53.15	0
231 Male	2544		1 Floor_1		20	5.28	13.62	1.00 Treppenhaus_C	10.49	24.88	53.20	0
232 Male	2643		1 Floor_1		42	3.28	9.86	1.00 Treppenhaus_C	16.64	21.15	53.26	0
233 Female	7040		3 Floor_3		48	3.43	3.46	1.00 Treppenhaus_A	3.33	45.80	53.42	0
234 Male	3918		1 Floor_1		41	6.51	9.98	1.00 Treppenhaus_D	4.14	21.43	53.42	0
235 Female	2400		1 Floor_1		38	3.27	6.07	1.00 Haupteingang	0.00	25.68	53.49	0
236 Female	167		0 Floor_0		23	3.34	6.59	1.00 Haupteingang	0.00	18.47	53.53	0

237 Female	3514		1 Floor_1		53	3.61	5.21	1.00 Treppenhaus_D	4.74	19.11	53.75	0
238 Female	4948		2 Floor_2		46	6.63	8.14	1.00 Treppenhaus_D	5.98	38.45	53.98	0
239 Female	4664		2 Floor_2		37	3.47	9.26	1.00 Treppenhaus_B	3.47	35.93	54.31	0
240 Male	4390		2 Floor_2		58	5.09	14.05	1.00 Treppenhaus_A	1.66	32.28	54.57	0
241 Female	7246		3 Floor_3		45	3.51	3.75	1.00 Treppenhaus_A	2.53	49.28	54.66	0
242 Female	3757		1 Floor_1		28	3.67	3.75	1.00 Haupteingang	0.53	43.37	55.03	0
243 Male	1518		0 Floor_0		45	6.98	12.23	1.00 Treppenhaus_D	1.34	35.17	55.34	0
244 Male	3748		1 Floor_1		29	4.75	14.71	1.00 Treppenhaus_D	5.44	28.68	55.49	0
245 Male	2469		1 Floor_1		38	4.37	14.62	1.00 Treppenhaus_C	7.21	20.92	56.05	0
246 Male	8174		3 Floor_3		45	3.49	6.02	1.00 Treppenhaus_B	12.57	35.64	56.06	0
247 Male	6980		3 Floor_3		42	3.59	11.91	1.00 Treppenhaus_B	7.89	42.94	56.20	0
248 Male	7701		3 Floor_3		26	6.04	14.09	1.00 Treppenhaus_A	0.58	31.24	56.62	0
249 Female	4756		2 Floor_2		39	3.24	8.87	1.00 Treppenhaus_D	4.24	33.34	56.87	0
250 Male	2781		1 Floor_1		43	5.57	8.49	1.00 Treppenhaus_D	2.96	25.68	56.91	0
251 Female	3770		1 Floor_1		50	5.85	9.64	1.00 Treppenhaus_D	3.53	25.17	57.19	0
252 Male	2889		1 Floor_1		50	4.57	6.37	1.00 Haupteingang	0.00	34.02	57.27	0
253 Male	7093		3 Floor_3		58	5.19	14.18	1.00 Treppenhaus_D	9.62	51.71	57.31	0
254 Female	5893		2 Floor_2		41	5.61	8.13	1.00 Treppenhaus_B	16.66	35.05	57.73	0
255 Male	7249		3 Floor_3		48	6.23	9.35	1.00 Treppenhaus_A	1.68	50.42	58.21	0
256 Male	6254		2 Floor_2		58	6.80	7.13	1.00 Treppenhaus_A	0.84	32.61	58.93	0
257 Male	2515		1 Floor_1		29	6.43	9.19	1.00 Treppenhaus_C	21.78	20.62	58.94	0
258 Male	1878		1 Floor_1		46	6.33	9.12	1.00 Treppenhaus_C	20.11	29.15	59.04	0
259 Female	1492		0 Floor_0		51	6.39	2.86	1.00 Treppenhaus_D	6.11	43.77	59.27	0
260 Female	2906		1 Floor_1		43	3.66	7.12	1.00 Haupteingang	4.67	46.54	59.55	0
261 Male	6869		3 Floor_3		37	5.52	8.55	1.00 Treppenhaus_B	17.21	38.88	59.62	0
262 Male	4631		2 Floor_2		30	6.28	10.00	1.00 Treppenhaus_B	0.77	41.88	59.96	0
263 Male	6074		2 Floor_2		31	3.73	11.52	1.00 Treppenhaus_A	1.36	36.53	60.09	0
264 Male	6085		2 Floor_2		31	6.70	13.78	1.00 Treppenhaus_A	1.89	39.20	60.14	0
265 Female	4899		2 Floor_2		29	3.72	6.80	1.00 Treppenhaus_D	10.63	35.91	60.18	0
266 Female	2188		1 Floor_1		57	5.56	9.46	1.00 Treppenhaus_C	21.78	23.00	60.61	0
267 Male	4705		2 Floor_2		44	6.42	13.59	1.00 Treppenhaus_B	9.20	33.74	61.14	0
268 Male	3088		1 Floor_1		52	5.75	5.15	1.00 Haupteingang	0.00	36.70	61.34	0
269 Female	2819		1 Floor_1		47	4.85	2.38	1.00 Haupteingang	0.00	34.73	61.37	0
270 Male	4807		2 Floor_2		32	3.16	14.23	1.00 Treppenhaus_D	7.77	30.42	61.38	0
271 Female	1589		0 Floor_0		44	5.63	7.10	1.00 Treppenhaus_D	3.75	45.93	61.50	0
272 Female	6075		2 Floor_2		33	5.44	8.94	1.00 Treppenhaus_A	1.19	40.15	61.59	0
273 Male	4642		2 Floor_2		59	6.32	13.58	1.00 Treppenhaus_B	2.70	53.75	61.74	0
274 Female	2447		1 Floor_1		56	6.41	9.83	1.00 Haupteingang	0.69	38.97	61.78	0
275 Male	5619		2 Floor_2		50	5.07	13.70	1.00 Treppenhaus_D	9.87	48.46	61.90	0
276 Male	7138		3 Floor_3		49	5.93	7.99	1.00 Treppenhaus_A	0.00	44.30	62.20	0
277 Male	6515		2 Floor_2		39	5.50	7.24	1.00 Treppenhaus_B	6.17	34.32	62.29	0
278 Female	5488		2 Floor_2		20	6.43	9.16	1.00 Treppenhaus_D	20.47	41.45	62.58	0
279 Female	3005		1 Floor_1		31	5.56	3.77	1.00 Haupteingang	3.02	33.94	62.96	0
280 Male	1845		1 Floor_1		54	4.52	11.25	1.00 Haupteingang	0.00	40.28	63.33	0
281 Male	6739		3 Floor_3		45	6.52	5.53	1.00 Treppenhaus_B	19.24	45.29	63.65	0
282 Male	1502		0 Floor_0		53	3.80	5.84	1.00 Treppenhaus_D	5.62	32.40	63.68	0
283 Female	1976		1 Floor_1		21	3.46	7.34	1.00 Treppenhaus_C	16.07	24.23	63.69	0
284 Male	2528		1 Floor_1		21	5.19	6.58	1.00 Treppenhaus_C	16.30	20.17	63.74	0

285 Male	3249		1 Floor_1		32	3.08	10.65	1.00 Treppenhaus_C	21.31	31.92	64.50	0
286 Male	8160		3 Floor_3		59	3.78	10.97	1.00 Treppenhaus_B	7.66	37.67	64.60	0
287 Male	4839		2 Floor_2		20	6.95	14.51	1.00 Treppenhaus_D	5.40	35.04	64.73	0
288 Female	7048		3 Floor_3		50	6.49	5.66	1.00 Treppenhaus_B	14.01	45.78	65.27	0
289 Male	6950		3 Floor_3		28	6.66	7.55	1.00 Treppenhaus_D	17.97	48.74	65.38	0
290 Male	6190		2 Floor_2		31	3.67	13.72	1.00 Treppenhaus_C	18.53	43.56	65.38	0
291 Female	2494		1 Floor_1		49	6.66	2.30	1.00 Haupteingang	1.88	35.97	65.53	0
292 Male	6206		2 Floor_2		24	4.39	11.56	1.00 Treppenhaus_C	15.52	41.91	65.66	0
293 Female	5176		2 Floor_2		32	4.87	4.89	1.00 Treppenhaus_D	28.32	28.49	65.97	0
294 Male	4759		2 Floor_2		36	6.78	14.33	1.00 Treppenhaus_B	7.52	35.13	66.03	0
295 Male	6118		2 Floor_2		38	6.32	10.41	1.00 Treppenhaus_A	0.00	36.64	66.45	0
296 Male	3875		1 Floor_1		26	4.37	6.71	1.00 Haupteingang	0.00	45.73	66.46	0
297 Male	4976		2 Floor_2		49	3.29	10.95	1.00 Treppenhaus_D	5.49	38.39	66.58	0
298 Female	2800		1 Floor_1		56	4.10	5.90	1.00 Treppenhaus_C	17.74	21.17	67.03	0
299 Male	4676		2 Floor_2		49	6.10	13.77	1.00 Treppenhaus_B	6.68	55.24	67.28	0
300 Female	2199		1 Floor_1		56	6.65	9.88	1.00 Haupteingang	0.00	37.87	67.74	0
301 Male	7157		3 Floor_3		40	6.88	13.08	1.00 Treppenhaus_B	7.54	45.76	67.79	0
302 Male	5276		2 Floor_2		22	6.41	9.04	1.00 Treppenhaus_D	7.74	51.52	67.82	0
303 Male	6094		2 Floor_2		20	4.92	7.45	1.00 Treppenhaus_A	1.31	35.83	67.93	0
304 Male	6589		3 Floor_3		57	4.56	7.11	1.00 Treppenhaus_B	11.93	47.85	68.19	0
305 Male	5004		2 Floor_2		38	4.19	9.43	1.00 Treppenhaus_D	4.50	34.33	68.22	0
306 Female	7101		3 Floor_3		42	6.64	1.81	1.00 Treppenhaus_A	0.47	45.24	68.22	0
307 Male	4822		2 Floor_2		26	5.11	9.46	1.00 Treppenhaus_B	3.31	36.00	68.52	0
308 Female	5609		2 Floor_2		58	3.90	9.46	1.00 Treppenhaus_C	18.21	24.59	68.87	0
309 Male	7797		3 Floor_3		41	5.85	10.12	1.00 Treppenhaus_C	16.85	49.17	69.28	0
310 Male	5125		2 Floor_2		44	6.02	7.09	1.00 Treppenhaus_D	23.74	36.46	69.34	0
311 Male	6851		3 Floor_3		27	3.85	7.27	1.00 Treppenhaus_B	18.77	43.54	69.54	0
312 Female	4359		2 Floor_2		58	4.05	8.23	1.00 Treppenhaus_A	1.31	33.98	70.21	0
313 Male	5562		2 Floor_2		24	4.00	8.09	1.00 Treppenhaus_D	11.11	48.39	70.29	0
314 Female	4548		2 Floor_2		31	4.80	7.39	1.00 Treppenhaus_B	11.26	51.63	70.92	0
315 Male	7801		3 Floor_3		25	3.34	12.74	1.00 Treppenhaus_C	20.28	40.91	71.01	0
316 Male	4683		2 Floor_2		40	6.44	7.72	1.00 Treppenhaus_B	9.90	50.76	71.02	0
317 Male	2766		1 Floor_1		26	6.42	7.79	1.00 Treppenhaus_C	21.07	23.12	71.48	0
318 Female	4399		2 Floor_2		33	4.06	7.87	1.00 Treppenhaus_D	10.58	51.20	71.52	0
319 Male	1566		0 Floor_0		40	5.63	14.13	1.00 Treppenhaus_D	5.40	35.90	71.91	0
320 Female	6982		3 Floor_3		56	6.80	7.03	1.00 Treppenhaus_B	9.38	39.91	72.64	0
321 Female	5076		2 Floor_2		57	4.77	6.75	1.00 Treppenhaus_D	37.40	29.38	72.64	0
322 Male	4845		2 Floor_2		58	3.81	10.58	1.00 Treppenhaus_B	6.23	42.63	72.69	0
323 Female	8083		3 Floor_3		27	5.26	8.48	1.00 Treppenhaus_C	19.06	35.50	72.96	0
324 Female	6569		2 Floor_2		59	5.27	6.25	1.00 Treppenhaus_D	5.21	55.65	73.34	0
325 Female	2700		1 Floor_1		38	5.23	8.06	1.00 Treppenhaus_D	18.81	24.43	74.10	0
326 Female	4778		2 Floor_2		36	4.14	9.93	1.00 Treppenhaus_B	9.51	38.70	74.19	0
327 Female	6203		2 Floor_2		35	5.96	8.69	1.00 Treppenhaus_C	23.06	42.37	74.43	0
328 Female	3383		1 Floor_1		43	4.20	8.58	1.00 Treppenhaus_C	20.11	29.96	74.81	0
329 Male	3864		1 Floor_1		44	6.84	6.17	1.00 Treppenhaus_D	16.30	51.40	75.15	0
330 Female	6959		3 Floor_3		21	5.32	7.53	1.00 Treppenhaus_B	6.15	39.57	75.17	0
331 Female	2587		1 Floor_1		47	5.71	4.62	1.00 Haupteingang	0.00	43.74	75.70	0
332 Female	4638		2 Floor_2		46	3.32	6.16	1.00 Treppenhaus_B	12.40	54.03	76.03	0

333 Male	7366		3 Floor_3		48	6.02	14.69	1.00 Treppenhaus_D	20.73	46.30	76.05	0
334 Male	6371		2 Floor_2		29	3.25	6.46	1.00 Treppenhaus_C	25.64	25.82	76.21	0
335 Male	1579		0 Floor_0		35	6.09	12.57	1.00 Treppenhaus_D	3.53	41.77	76.29	0
336 Male	4586		2 Floor_2		57	5.77	5.54	1.00 Treppenhaus_B	10.73	55.17	76.41	0
337 Male	4662		2 Floor_2		29	4.71	12.45	1.00 Treppenhaus_B	10.55	43.16	76.76	0
338 Male	5280		2 Floor_2		44	5.68	14.53	1.00 Treppenhaus_C	26.54	44.53	76.86	0
339 Female	3060		1 Floor_1		50	4.41	3.37	1.00 Haupteingang	0.22	43.33	77.01	0
340 Male	7170		3 Floor_3		32	4.07	8.32	1.00 Treppenhaus_C	26.80	45.67	77.28	0
341 Male	1591		0 Floor_0		49	4.46	5.35	1.00 Treppenhaus_D	10.54	54.44	77.73	0
342 Female	5091		2 Floor_2		52	5.12	8.62	1.00 Treppenhaus_D	13.47	35.36	77.75	0
343 Female	6615		3 Floor_3		53	6.59	6.68	1.00 Treppenhaus_B	13.41	45.16	77.84	0
344 Female	3156		1 Floor_1		25	3.29	4.09	1.00 Treppenhaus_C	29.59	28.93	78.25	0
345 Male	3775		1 Floor_1		36	3.50	10.27	1.00 Treppenhaus_D	8.88	50.67	78.28	0
346 Female	4420		2 Floor_2		58	5.16	2.01	1.00 Treppenhaus_B	12.04	57.81	78.40	0
347 Male	7288		3 Floor_3		46	4.66	14.09	1.00 Treppenhaus_A	0.00	46.36	79.08	0
348 Male	1588		0 Floor_0		59	4.66	12.09	1.00 Treppenhaus_D	6.95	43.08	79.29	0
349 Female	4585		2 Floor_2		53	5.60	1.30	1.00 Treppenhaus_B	8.52	52.37	80.13	0
350 Female	3927		1 Floor_1		58	4.87	3.04	1.00 Haupteingang	0.00	47.38	80.32	0
351 Male	3438		1 Floor_1		25	3.10	5.79	1.00 Treppenhaus_C	39.98	32.46	80.40	0
352 Male	6136		2 Floor_2		56	5.36	11.84	1.00 Treppenhaus_C	23.09	43.14	80.41	0
353 Male	6647		3 Floor_3		52	3.59	10.26	1.00 Treppenhaus_B	6.12	47.72	80.63	0
354 Male	6945		3 Floor_3		39	5.34	7.44	1.00 Treppenhaus_D	31.18	39.88	80.72	0
355 Male	6916		3 Floor_3		59	6.94	12.36	1.00 Treppenhaus_D	13.08	51.27	81.07	0
356 Male	4574		2 Floor_2		54	4.54	13.38	1.00 Treppenhaus_B	6.20	53.96	81.17	0
357 Male	5799		2 Floor_2		43	5.47	13.28	1.00 Treppenhaus_D	12.58	74.00	81.60	0
358 Female	6245		2 Floor_2		54	5.34	9.78	1.00 Treppenhaus_C	16.95	42.90	81.88	0
359 Female	6619		3 Floor_3		55	5.23	5.41	1.00 Treppenhaus_B	19.39	49.46	81.91	0
360 Male	5274		2 Floor_2		31	4.85	11.59	1.00 Treppenhaus_D	15.36	49.73	82.31	0
361 Male	4624		2 Floor_2		53	3.92	5.64	1.00 Treppenhaus_B	17.83	50.02	82.41	0
362 Male	6889		3 Floor_3		39	5.78	6.78	1.00 Treppenhaus_D	21.29	49.31	82.56	0
363 Male	5341		2 Floor_2		21	5.35	11.06	1.00 Treppenhaus_C	26.76	46.05	82.70	0
364 Female	7096		3 Floor_3		22	5.71	6.90	1.00 Treppenhaus_B	13.49	54.60	83.52	0
365 Male	6732		3 Floor_3		39	3.84	7.72	1.00 Treppenhaus_B	4.51	52.62	83.89	0
366 Female	7556		3 Floor_3		42	4.07	8.03	1.00 Treppenhaus_D	28.05	54.16	84.47	0
367 Female	5474		2 Floor_2		30	5.53	3.21	1.00 Treppenhaus_C	34.55	31.29	84.62	0
368 Female	5961		2 Floor_2		33	5.73	9.07	1.00 Treppenhaus_D	8.49	73.49	85.00	0
369 Female	5332		2 Floor_2		46	6.58	8.90	1.00 Treppenhaus_D	24.96	48.95	85.36	0
370 Female	4603		2 Floor_2		42	4.30	2.48	1.00 Treppenhaus_B	22.61	45.92	85.52	0
371 Female	4592		2 Floor_2		36	4.60	6.30	1.00 Treppenhaus_B	14.49	53.25	85.54	0
372 Female	8154		3 Floor_3		54	5.44	3.50	1.00 Treppenhaus_B	39.95	36.55	85.71	0
373 Female	2350		1 Floor_1		53	4.76	8.53	1.00 Treppenhaus_C	40.69	25.62	86.09	0
374 Male	6629		3 Floor_3		24	4.35	10.21	1.00 Treppenhaus_B	10.37	52.79	86.29	0
375 Male	5400		2 Floor_2		40	3.21	12.35	1.00 Treppenhaus_C	15.07	45.44	86.48	0
376 Male	3893		1 Floor_1		31	3.95	9.49	1.00 Treppenhaus_D	31.58	32.64	87.11	0
377 Male	4591		2 Floor_2		20	3.61	14.25	1.00 Treppenhaus_B	6.85	52.33	87.77	0
378 Male	7118		3 Floor_3		29	4.95	14.41	1.00 Treppenhaus_B	12.88	54.73	88.01	0
379 Female	7736		3 Floor_3		52	3.02	9.13	1.00 Treppenhaus_C	20.80	39.04	88.34	0
380 Male	8107		3 Floor_3		29	4.42	8.69	1.00 Treppenhaus_C	30.73	39.10	88.41	0

381 Male	6894		3 Floor_3		42	6.11	7.76	1.00 Treppenhaus_D	17.00	53.08	88.77	0
382 Male	4684		2 Floor_2		38	5.79	12.48	1.00 Treppenhaus_B	8.18	53.52	88.88	0
383 Female	6080		2 Floor_2		23	5.39	7.94	1.00 Treppenhaus_C	26.56	47.18	89.02	0
384 Male	7230		3 Floor_3		34	3.09	9.31	1.00 Treppenhaus_B	22.46	59.15	89.56	0
385 Male	7149		3 Floor_3		53	3.66	9.63	1.00 Treppenhaus_B	17.21	59.89	89.58	0
386 Female	7785		3 Floor_3		38	3.56	7.42	1.00 Treppenhaus_C	47.52	37.23	90.24	0
387 Male	5716		2 Floor_2		32	3.16	10.45	1.00 Treppenhaus_D	16.01	48.34	90.50	0
388 Male	6934		3 Floor_3		29	4.15	7.27	1.00 Treppenhaus_B	12.77	53.15	91.07	0
389 Male	5279		2 Floor_2		39	4.18	8.86	1.00 Treppenhaus_D	13.07	44.47	91.15	0
390 Male	7037		3 Floor_3		55	3.15	11.43	1.00 Treppenhaus_B	19.07	59.49	91.19	0
391 Male	3638		1 Floor_1		30	3.81	9.78	1.00 Treppenhaus_D	6.83	54.33	91.77	0
392 Male	7236		3 Floor_3		31	3.88	6.80	1.00 Treppenhaus_B	9.14	59.89	92.84	0
393 Female	5452		2 Floor_2		52	4.65	7.99	1.00 Treppenhaus_C	43.27	47.51	92.85	0
394 Female	5948		2 Floor_2		38	6.09	8.12	1.00 Treppenhaus_D	13.40	70.86	92.92	0
395 Female	1540		0 Floor_0		40	3.77	1.93	1.00 Treppenhaus_D	18.79	45.28	93.18	0
396 Female	7862		3 Floor_3		58	4.74	4.62	1.00 Treppenhaus_C	43.25	46.93	93.24	0
397 Female	4515		2 Floor_2		46	6.29	6.16	1.00 Treppenhaus_B	20.06	49.04	94.28	0
398 Male	7373		3 Floor_3		47	6.05	7.13	1.00 Treppenhaus_C	14.34	51.86	94.64	0
399 Male	7074		3 Floor_3		54	3.52	7.04	1.00 Treppenhaus_B	4.22	59.54	94.68	0
400 Male	7296		3 Floor_3		28	6.73	10.96	1.00 Treppenhaus_B	10.43	64.31	94.78	0
401 Male	3680		1 Floor_1		49	6.72	11.37	1.00 Treppenhaus_D	9.00	61.06	94.79	0
402 Female	5027		2 Floor_2		25	5.18	8.64	1.00 Treppenhaus_D	37.83	36.82	95.06	0
403 Male	6620		3 Floor_3		30	6.88	5.57	1.00 Treppenhaus_B	11.77	51.67	96.20	0
404 Female	5470		2 Floor_2		57	3.96	4.80	1.00 Treppenhaus_D	50.64	42.08	96.32	0
405 Male	4464		2 Floor_2		20	4.03	11.69	1.00 Treppenhaus_B	15.95	46.78	96.66	0
406 Male	6167		2 Floor_2		32	6.73	7.59	1.00 Treppenhaus_C	34.38	46.98	97.08	0
407 Female	7299		3 Floor_3		36	4.15	3.36	1.00 Treppenhaus_B	40.13	57.73	97.20	0
408 Female	6414		2 Floor_2		22	4.83	6.03	1.00 Treppenhaus_D	48.28	21.34	97.34	0
409 Female	6890		3 Floor_3		44	4.92	3.99	1.00 Treppenhaus_B	11.50	55.37	97.63	0
410 Female	5330		2 Floor_2		25	6.71	7.30	1.00 Treppenhaus_C	56.08	30.46	97.90	0
411 Male	5137		2 Floor_2		58	5.72	7.25	1.00 Treppenhaus_D	23.59	38.13	98.32	0
412 Male	6853		3 Floor_3		49	6.07	7.53	1.00 Treppenhaus_D	45.52	45.19	99.08	0
413 Female	6627		3 Floor_3		59	5.51	3.98	1.00 Treppenhaus_B	26.13	54.26	99.09	0
414 Male	6131		2 Floor_2		36	6.29	5.88	1.00 Treppenhaus_C	21.16	44.22	99.38	0
415 Female	6596		3 Floor_3		26	4.20	2.43	1.00 Treppenhaus_B	10.06	54.10	99.95	0
416 Female	7603		3 Floor_3		34	3.03	8.03	1.00 Treppenhaus_C	12.62	55.66	100.07	0
417 Male	5744		2 Floor_2		54	4.17	7.86	1.00 Treppenhaus_D	31.91	46.04	100.18	0
418 Female	8143		3 Floor_3		51	3.98	6.43	1.00 Treppenhaus_D	34.84	39.57	100.31	0
419 Male	7776		3 Floor_3		21	4.12	7.86	1.00 Treppenhaus_D	24.25	72.37	100.76	0
420 Female	7313		3 Floor_3		26	5.38	2.11	1.00 Treppenhaus_B	42.49	49.31	101.33	0
421 Female	5225		2 Floor_2		48	3.07	5.36	1.00 Treppenhaus_C	48.44	37.63	101.82	0
422 Female	5678		2 Floor_2		30	5.31	4.49	1.00 Treppenhaus_D	44.55	50.16	101.90	0
423 Male	5840		2 Floor_2		49	5.22	14.25	1.00 Treppenhaus_D	12.81	65.76	102.65	0
424 Female	5361		2 Floor_2		50	3.47	8.34	1.00 Treppenhaus_C	41.03	49.58	103.50	0
425 Male	4596		2 Floor_2		50	6.23	6.02	1.00 Treppenhaus_D	48.75	48.51	104.13	0
426 Male	7656		3 Floor_3		39	5.65	13.37	1.00 Treppenhaus_D	29.22	58.28	105.06	0
427 Female	4962		2 Floor_2		43	5.13	5.51	1.00 Treppenhaus_D	49.70	36.83	105.09	0
428 Female	5291		2 Floor_2		53	3.46	4.53	1.00 Treppenhaus_D	36.79	39.88	105.22	0

429 Female	2192		1 Floor_1		48	6.47	2.14	1.00 Treppenhaus_C	52.94	21.91	105.48	0
430 Male	5158		2 Floor_2		40	3.10	5.06	1.00 Treppenhaus_C	35.52	42.16	105.54	0
431 Female	6844		3 Floor_3		26	6.43	8.48	1.00 Treppenhaus_D	34.23	47.62	107.04	0
432 Female	7461		3 Floor_3		40	5.23	3.44	1.00 Treppenhaus_C	24.71	57.95	107.26	0
433 Male	7908		3 Floor_3		58	4.17	12.07	1.00 Treppenhaus_D	25.30	75.96	107.88	0
434 Female	3735		1 Floor_1		32	3.68	9.06	1.00 Treppenhaus_D	9.03	59.56	107.89	0
435 Female	5526		2 Floor_2		34	6.06	4.10	1.00 Treppenhaus_C	38.69	36.39	108.08	0
436 Male	5721		2 Floor_2		37	6.56	14.54	1.00 Treppenhaus_D	30.99	47.32	108.90	0
437 Male	6204		2 Floor_2		58	5.28	7.80	1.00 Treppenhaus_C	37.36	54.89	109.67	0
438 Male	7934		3 Floor_3		28	6.86	13.48	1.00 Treppenhaus_D	19.40	76.62	109.77	0
439 Female	5444		2 Floor_2		41	5.50	1.37	1.00 Treppenhaus_C	60.69	34.15	110.21	0
440 Female	5811		2 Floor_2		42	4.08	7.68	1.00 Treppenhaus_D	36.90	53.14	110.52	0
441 Female	5703		2 Floor_2		53	4.28	1.86	1.00 Treppenhaus_D	18.33	70.56	111.74	0
442 Female	6199		2 Floor_2		20	6.62	5.55	1.00 Treppenhaus_C	59.93	44.04	112.38	0
443 Female	6231		2 Floor_2		35	6.80	4.63	1.00 Treppenhaus_C	48.22	40.80	112.56	0
444 Male	5267		2 Floor_2		46	4.26	6.02	1.00 Treppenhaus_D	55.62	39.72	112.70	0
445 Female	6522		2 Floor_2		35	5.60	4.05	1.00 Treppenhaus_D	66.89	27.58	112.92	0
446 Male	7007		3 Floor_3		46	4.92	13.16	1.00 Treppenhaus_D	39.83	58.19	114.38	0
447 Female	7523		3 Floor_3		32	4.24	8.93	1.00 Treppenhaus_D	38.95	64.53	115.18	0
448 Female	5157		2 Floor_2		33	5.79	4.08	1.00 Treppenhaus_C	54.08	43.57	115.18	0
449 Male	5442		2 Floor_2		38	5.63	7.77	1.00 Treppenhaus_D	43.28	45.73	116.25	0
450 Male	7917		3 Floor_3		36	5.53	10.48	1.00 Treppenhaus_D	29.00	76.00	116.75	0
451 Female	5725		2 Floor_2		52	6.24	7.97	1.00 Treppenhaus_D	42.43	48.60	116.87	0
452 Female	7751		3 Floor_3		54	4.92	7.41	1.00 Treppenhaus_D	39.01	73.30	117.80	0
453 Male	6923		3 Floor_3		53	3.10	8.15	1.00 Treppenhaus_D	54.25	54.21	119.01	0
454 Female	5833		2 Floor_2		50	4.86	9.01	1.00 Treppenhaus_D	44.19	48.35	119.09	0
455 Female	5593		2 Floor_2		49	4.95	3.71	1.00 Treppenhaus_D	62.89	46.49	119.37	0
456 Female	7365		3 Floor_3		56	6.99	6.65	1.00 Treppenhaus_D	38.31	55.17	120.65	0
457 Male	7546		3 Floor_3		26	5.67	12.34	1.00 Treppenhaus_D	36.79	53.93	120.70	0
458 Female	7586		3 Floor_3		26	6.10	5.48	1.00 Treppenhaus_D	51.81	57.94	122.09	0
459 Female	7371		3 Floor_3		54	6.82	8.85	1.00 Treppenhaus_D	38.60	51.68	122.55	0
460 Female	5930		2 Floor_2		48	3.66	1.69	1.00 Treppenhaus_D	37.24	69.60	122.96	0
461 Male	6022		2 Floor_2		53	7.00	7.75	1.00 Treppenhaus_D	22.47	73.23	124.19	0
462 Male	7547		3 Floor_3		53	6.20	7.65	1.00 Treppenhaus_D	55.02	53.25	124.50	0
463 Male	7558		3 Floor_3		56	3.56	12.96	1.00 Treppenhaus_D	19.42	78.48	125.42	0
464 Male	5764		2 Floor_2		37	5.94	12.27	1.00 Treppenhaus_D	54.58	44.25	125.73	0
465 Male	5827		2 Floor_2		25	6.21	7.36	1.00 Treppenhaus_D	23.57	77.39	127.71	0
466 Male	7891		3 Floor_3		49	6.82	5.27	1.00 Treppenhaus_D	29.79	75.92	128.50	0
467 Male	7618		3 Floor_3		26	5.85	14.59	1.00 Treppenhaus_D	10.76	77.41	129.37	0
468 Male	7578		3 Floor_3		53	5.39	6.88	1.00 Treppenhaus_D	52.41	59.10	129.38	0
469 Male	5345		2 Floor_2		28	4.12	5.00	1.00 Treppenhaus_D	70.76	42.57	131.75	0
470 Male	7998		3 Floor_3		23	6.86	10.31	1.00 Treppenhaus_D	34.02	79.58	132.24	0
471 Male	7994		3 Floor_3		20	5.92	6.79	1.00 Treppenhaus_D	21.50	79.73	132.50	0
472 Female	8113		3 Floor_3		34	3.68	6.94	1.00 Treppenhaus_D	66.24	39.53	132.92	0
473 Female	8206		3 Floor_3		34	5.97	6.24	1.00 Treppenhaus_D	42.30	60.54	133.72	0
474 Female	7879		3 Floor_3		41	3.96	4.89	1.00 Treppenhaus_D	66.40	71.11	133.92	0
475 Male	6807		3 Floor_3		54	3.07	6.16	1.00 Treppenhaus_D	60.01	54.52	134.42	0
476 Male	7976		3 Floor_3		38	4.37	11.98	1.00 Treppenhaus_D	35.15	78.72	135.27	0



477 Female	7452		3 Floor_3		54	3.21	6.80	1.00 Treppenhaus_D	56.40	66.32	136.19	0
478 Female	6679		3 Floor_3		59	6.65	4.94	1.00 Treppenhaus_D	58.86	54.18	137.60	0
479 Female	7171		3 Floor_3		23	4.82	4.37	1.00 Treppenhaus_D	66.01	58.22	138.67	0
480 Female	6748		3 Floor_3		54	4.86	3.60	1.00 Treppenhaus_D	49.63	55.40	139.10	0
481 Female	6816		3 Floor_3		38	3.37	4.88	1.00 Treppenhaus_D	72.18	52.74	140.67	0
482 Male	6764		3 Floor_3		39	4.02	5.42	1.00 Treppenhaus_D	72.12	52.49	141.79	0
483 Female	6854		3 Floor_3		42	3.05	2.33	1.00 Treppenhaus_D	77.44	51.49	142.33	0
484 Female	6873		3 Floor_3		39	5.89	1.95	1.00 Treppenhaus_D	88.29	44.96	143.75	0
485 Male	7532		3 Floor_3		23	3.24	6.13	1.00 Treppenhaus_D	48.71	65.87	143.89	0
486 Female	6965		3 Floor_3		33	5.42	1.54	1.00 Treppenhaus_D	70.24	46.76	144.40	0
487 Female	5272		2 Floor_2		35	5.57	2.88	1.00 Treppenhaus_D	76.03	49.04	144.43	0
488 Female	6843		3 Floor_3		38	4.52	1.31	1.00 Treppenhaus_D	83.83	50.37	146.28	0
489 Female	8009		3 Floor_3		22	5.68	3.35	1.00 Treppenhaus_D	61.36	81.27	146.60	0
490 Female	5952		2 Floor_2		23	4.35	5.57	1.00 Treppenhaus_D	67.30	75.34	148.90	0
491 Female	5926		2 Floor_2		36	5.47	4.91	1.00 Treppenhaus_D	32.63	72.34	148.94	0
492 Female	5313		2 Floor_2		20	6.11	1.31	1.00 Treppenhaus_D	90.94	55.11	150.64	0
493 Female	5697		2 Floor_2		25	3.53	3.60	1.00 Treppenhaus_D	70.36	70.63	150.67	0
494 Female	7990		3 Floor_3		49	5.75	3.66	1.00 Treppenhaus_D	49.41	83.46	152.46	0
495 Female	3745		1 Floor_1		52	4.79	6.49	1.00 Treppenhaus_D	91.26	66.09	155.44	0
496 Female	7752		3 Floor_3		32	3.33	3.66	1.00 Treppenhaus_D	69.84	74.00	157.51	0
497 Female	5921		2 Floor_2		40	5.17	1.79	1.00 Treppenhaus_D	73.68	67.63	159.78	0
498 Male	7981		3 Floor_3		42	3.45	11.32	1.00 Treppenhaus_D	44.97	101.78	159.84	0
499 Female	5974		2 Floor_2		58	3.24	5.61	1.00 Treppenhaus_D	55.81	85.67	166.61	0
+++++												
Avg					39.8	4.98	7.81	1.00		13.88	34.82	64.60  0.0

#### Internal Doors and Census Points performances :-

+++++

Int. Exit: Drehtür\_1      Number Used:    76    First entry:    8.97 (s) Last :    75.27 (s) Avg PPM :    68.77  
Flow Time:    66.30 (s) No Flow Time:    5.69 (s) MNS :    8.59 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):    1.33    1.33

Int. Exit: Drehtür      Number Used:    19    First entry:    9.69 (s) Last :    44.53 (s) Avg PPM :    32.72  
Flow Time:    34.84 (s) No Flow Time:    7.55 (s) MNS :    21.68 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):    1.33    1.33

Int. Exit: InDoor\_3            Number Used:    3   First entry:   9.84 (s) Last :   37.05 (s) Avg PPM :   6.61  
Flow Time: 27.21 (s) No Flow Time: 21.21 (s) MNS : 77.93 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_4            Number Used:    3   First entry: 13.04 (s) Last :   19.14 (s) Avg PPM : 29.52  
Flow Time: 6.10 (s) No Flow Time: 0.98 (s) MNS : 16.13 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_5            Number Used:  52   First entry: 13.02 (s) Last : 147.08 (s) Avg PPM : 23.27  
Flow Time: 134.07 (s) No Flow Time: 31.10 (s) MNS : 23.19 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_6            Number Used:  20   First entry: 6.30 (s) Last :   32.18 (s) Avg PPM : 46.36  
Flow Time: 25.88 (s) No Flow Time: 0.53 (s) MNS : 2.06 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_7            Number Used:  28   First entry: 6.08 (s) Last :   36.83 (s) Avg PPM : 54.63  
Flow Time: 30.75 (s) No Flow Time: 0.00 (s) MNS : 0.00 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_8            Number Used:  12   First entry: 4.58 (s) Last :   29.63 (s) Avg PPM : 28.75  
Flow Time: 25.05 (s) No Flow Time: 4.46 (s) MNS : 17.80 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_9            Number Used:    8   First entry: 2.00 (s) Last :   27.72 (s) Avg PPM : 18.66  
Flow Time: 25.73 (s) No Flow Time: 8.66 (s) MNS : 33.68 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_10           Number Used:    1   First entry: 12.15 (s) Last :  12.15 (s) Avg PPM :  0.00  
Flow Time: 0.00 (s) No Flow Time: 0.00 (s) MNS : 0.00 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_11           Number Used:    4   First entry: 5.99 (s) Last :   25.10 (s) Avg PPM : 12.56  
Flow Time: 19.10 (s) No Flow Time: 10.98 (s) MNS : 57.45 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_12           Number Used:    0   First entry: 0.00 (s) Last :   0.00 (s) Avg PPM :  0.00  
Flow Time: 0.00 (s) No Flow Time: 0.00 (s) MNS : 0.00 (%)

Event Times (secs) None

Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_13 Number Used: 5 First entry: 14.42 (s) Last : 40.55 (s) Avg PPM : 11.48

Flow Time: 26.13 (s) No Flow Time: 15.72 (s) MNS : 60.14 (%)

Event Times (secs) None

Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_14 Number Used: 7 First entry: 2.45 (s) Last : 35.36 (s) Avg PPM : 12.76

Flow Time: 32.91 (s) No Flow Time: 17.43 (s) MNS : 52.97 (%)

Event Times (secs) None

Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_15 Number Used: 10 First entry: 3.86 (s) Last : 34.39 (s) Avg PPM : 19.66

Flow Time: 30.52 (s) No Flow Time: 11.82 (s) MNS : 38.72 (%)

Event Times (secs) None

Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_16 Number Used: 12 First entry: 6.72 (s) Last : 35.59 (s) Avg PPM : 24.93

Flow Time: 28.88 (s) No Flow Time: 5.98 (s) MNS : 20.73 (%)

Event Times (secs) None

Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_17 Number Used: 18 First entry: 5.90 (s) Last : 41.21 (s) Avg PPM : 30.58

Flow Time: 35.31 (s) No Flow Time: 3.81 (s) MNS : 10.78 (%)

Event Times (secs) None

Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_18 Number Used: 26 First entry: 4.32 (s) Last : 43.89 (s) Avg PPM : 39.43

Flow Time: 39.56 (s) No Flow Time: 5.78 (s) MNS : 14.60 (%)

Event Times (secs) None

Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_19 Number Used: 2 First entry: 2.37 (s) Last : 23.36 (s) Avg PPM : 5.72

Flow Time: 20.99 (s) No Flow Time: 17.98 (s) MNS : 85.69 (%)

Event Times (secs) None

Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_20 Number Used: 18 First entry: 5.87 (s) Last : 30.59 (s) Avg PPM : 43.68

Flow Time: 24.72 (s) No Flow Time: 1.88 (s) MNS : 7.62 (%)

Event Times (secs) None

Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_21 Number Used: 12 First entry: 10.14 (s) Last : 34.40 (s) Avg PPM : 29.68

Flow Time: 24.26 (s) No Flow Time: 7.17 (s) MNS : 29.55 (%)

Event Times (secs) None

Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_22          Number Used:    5   First entry:   7.78 (s) Last :   31.94 (s) Avg PPM :   12.42  
Flow Time: 24.16 (s) No Flow Time: 14.03 (s) MNS : 58.08 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_23          Number Used:    6   First entry:   6.28 (s) Last :   29.90 (s) Avg PPM :   15.25  
Flow Time: 23.61 (s) No Flow Time: 11.23 (s) MNS : 47.55 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_24          Number Used:   20   First entry:   4.02 (s) Last :   43.47 (s) Avg PPM :   30.42  
Flow Time: 39.45 (s) No Flow Time:   4.51 (s) MNS : 11.43 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_25          Number Used:    4   First entry:   6.24 (s) Last :   31.27 (s) Avg PPM :    9.59  
Flow Time: 25.03 (s) No Flow Time: 16.02 (s) MNS : 64.00 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_26          Number Used:    8   First entry: 16.84 (s) Last :   44.26 (s) Avg PPM :   17.50  
Flow Time: 27.43 (s) No Flow Time: 15.04 (s) MNS : 54.86 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_27          Number Used:    7   First entry:   9.52 (s) Last :   45.85 (s) Avg PPM :   11.56  
Flow Time: 36.33 (s) No Flow Time: 22.37 (s) MNS : 61.59 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_28          Number Used:    8   First entry:   9.65 (s) Last :   36.47 (s) Avg PPM :   17.90  
Flow Time: 26.82 (s) No Flow Time:   7.69 (s) MNS : 28.66 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_29          Number Used:    4   First entry: 20.63 (s) Last :   34.25 (s) Avg PPM :   17.63  
Flow Time: 13.61 (s) No Flow Time:   6.01 (s) MNS : 44.16 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_30          Number Used:    3   First entry:   6.55 (s) Last :   29.55 (s) Avg PPM :    7.83  
Flow Time: 23.00 (s) No Flow Time: 17.75 (s) MNS : 77.16 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s):   1.33   1.33

Int. Exit: InDoor\_31          Number Used:   15   First entry:   7.75 (s) Last :   33.14 (s) Avg PPM :   35.44  
Flow Time: 25.39 (s) No Flow Time:   5.78 (s) MNS : 22.78 (%)  
Event Times (secs) None

Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_32 Number Used: 8 First entry: 13.59 (s) Last : 38.00 (s) Avg PPM : 19.66  
Flow Time: 24.41 (s) No Flow Time: 7.75 (s) MNS : 31.74 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_33 Number Used: 21 First entry: 1.64 (s) Last : 40.49 (s) Avg PPM : 32.44  
Flow Time: 38.84 (s) No Flow Time: 13.61 (s) MNS : 35.05 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_34 Number Used: 2 First entry: 9.89 (s) Last : 17.35 (s) Avg PPM : 16.08  
Flow Time: 7.46 (s) No Flow Time: 4.46 (s) MNS : 59.74 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_35 Number Used: 36 First entry: 6.30 (s) Last : 58.10 (s) Avg PPM : 41.70  
Flow Time: 51.80 (s) No Flow Time: 3.14 (s) MNS : 6.06 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_36 Number Used: 5 First entry: 8.89 (s) Last : 31.83 (s) Avg PPM : 13.08  
Flow Time: 22.93 (s) No Flow Time: 11.10 (s) MNS : 48.39 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_38 Number Used: 22 First entry: 6.83 (s) Last : 45.98 (s) Avg PPM : 33.71  
Flow Time: 39.15 (s) No Flow Time: 3.55 (s) MNS : 9.06 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_39 Number Used: 58 First entry: 13.05 (s) Last : 154.83 (s) Avg PPM : 24.54  
Flow Time: 141.78 (s) No Flow Time: 34.06 (s) MNS : 24.02 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_40 Number Used: 48 First entry: 6.11 (s) Last : 119.78 (s) Avg PPM : 25.34  
Flow Time: 113.67 (s) No Flow Time: 32.80 (s) MNS : 28.86 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

Int. Exit: InDoor\_40 Number Used: 30 First entry: 6.22 (s) Last : 42.88 (s) Avg PPM : 49.10  
Flow Time: 36.66 (s) No Flow Time: 1.10 (s) MNS : 2.99 (%)  
Event Times (secs) None  
Potential: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

End of Internal Doors and Census Points data

Door performances :-

+++++

Ext. Exit: Haupteingang    Number Used:    77   First entry: 13.27 (s) Last : 80.32 (s) Avg PPM : 68.90  
Flow Time: 67.06 (s) No Flow Time: 5.28 (s) MNS : 7.87 (%)  
Event Times (secs) None  
Type: General   Potential: 100.00 Attractiveness: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33  
Ext. Exit: Hauptaustgang   Number Used:    21   First entry: 2.59 (s) Last : 49.74 (s) Avg PPM : 26.72  
Flow Time: 47.16 (s) No Flow Time: 18.08 (s) MNS : 38.34 (%)  
Event Times (secs) None  
Type: General   Potential: 100.00 Attractiveness: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33  
Ext. Exit: Treppenhaus\_C   Number Used:    82   First entry: 11.31 (s) Last : 115.18 (s) Avg PPM : 47.37  
Flow Time: 103.87 (s) No Flow Time: 2.88 (s) MNS : 2.77 (%)  
Event Times (secs) None  
Type: General   Potential: 100.00 Attractiveness: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33  
Ext. Exit: Treppenhaus\_A   Number Used:    60   First entry: 12.86 (s) Last : 79.08 (s) Avg PPM : 54.36  
Flow Time: 66.22 (s) No Flow Time: 8.29 (s) MNS : 12.52 (%)  
Event Times (secs) None  
Type: General   Potential: 100.00 Attractiveness: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33  
Ext. Exit: Treppenhaus\_B   Number Used:    95   First entry: 3.24 (s) Last : 101.33 (s) Avg PPM : 58.11  
Flow Time: 98.09 (s) No Flow Time: 7.51 (s) MNS : 7.66 (%)  
Event Times (secs) None  
Type: General   Potential: 100.00 Attractiveness: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33  
Ext. Exit: Treppenhaus\_D   Number Used:   164   First entry: 4.29 (s) Last : 166.61 (s) Avg PPM : 60.62  
Flow Time: 162.32 (s) No Flow Time: 15.60 (s) MNS : 9.61 (%)  
Event Times (secs) None  
Type: General   Potential: 100.00 Attractiveness: 100.00 Unit Flow Rate (occ/m/s): 1.33 1.33

OPS = 0.489

End of Door data