

# **Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen**

Version: 2.2.0

21. Februar 2009

## **Präambel**

Nach der Musterbauordnung (MBO) in der Fassung vom November 2002 sind bauliche Anlagen so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden. Des Weiteren müssen bauliche Anlagen so beschaffen sein, dass im Brandfall die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.

Entsprechende Vorschriften für Versammlungsstätten enthält die Muster-Versammlungsstättenverordnung (MVStättV, in der Fassung vom Juni 2005). Teil 2, Abschnitt 2 der MVStättV behandelt die Führung und Bemessung von Flucht- und Rettungswegen.

Der § 51 Absatz 7 der MBO erlaubt im Einzelfall für Sonderbauten die Abweichung von den allgemeinen Vorschriften hinsichtlich Brandschutzanlagen, -einrichtungen und -vorkehrungen.

Zusätzlich zur Einhaltung bauordnungsrechtlicher Anforderungen zu zulässigen Rettungsweglängen und notwendigen Ausgangsbreiten sind, insbesondere für Gebäude die planmäßig von einer großen Anzahl an Personen genutzt werden, Entfluchtungsberechnungen als Teil eines ganzheitlichen Brandschutzkonzeptes zu empfehlen. Das gleiche gilt für den Fall der Sonderbauten, insbesondere im Falle der o.g. Abweichungen.

Der Einsatz rechnergestützter Verfahren bei solchen Nachweisen, stellt die Bauaufsichtsbehörden vor neue Herausforderungen. Insbesondere für die bei einer Fluchtwegeberechnung angenommenen Szenarien und Parameter sind standardisierte Kriterien notwendig.

Das gleiche gilt für die Beurteilung der Verlässlichkeit und Richtigkeit von Softwareprogrammen.

Die hier vorgelegte Muster-Richtlinie stellt eine Handreichung für die Genehmigungsbehörden dar, die für diese beiden Anforderungen standardisierte Verfahren festlegt.

Es wird darauf hingewiesen, dass Fluchtwegeberechnungen nicht alle Einflüsse der Realität berücksichtigen können. Psychologische Aspekte, die zum Beispiel die Routenwahl und das Verhalten der Person beeinflussen sind bisher noch nicht wissenschaftlich fundiert untersucht worden und können nur durch statistische Verhaltensweisen implementiert werden. Da jedoch das Verhalten in der Realität durch den Einfluss von psychologischen Aspekten stark und unvorhersehbar variieren kann, können solche Effekte in der Simulation nur bedingt berücksichtigt werden. Somit stellt die Simulation einen idealisierten Fall dar, bei dem sich die Personen gemäß der Parameter und Routenvorgaben des Benutzers bewegen.

Bemerkung: Zahlenwerte in [ ] sind angenommene Werte und sollen durch genauere ersetzt werden, sobald welche zu Verfügung stehen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Präambel</b>	<b>i</b>
<b>1 Allgemeines</b>	<b>1</b>
<b>2 Ziele</b>	<b>1</b>
<b>3 Anwendungsbereich</b>	<b>1</b>
<b>4 Begriffe</b>	<b>2</b>
4.1 <i>Mikroskopische Entfluchtungsanalyse</i>	2
4.2 <i>Bauliche Anlagen</i>	2
4.3 <i>Versammlungsstätten</i>	2
4.4 <i>Entfluchtung</i>	2
4.5 <i>Flucht- und Rettungswege</i>	2
4.6 <i>Gesicherter Bereich</i>	2
4.7 <i>Personenbelegung</i>	2
4.8 <i>Dauern</i>	2
4.8.1 <i>Detektionsdauer <math>t_{\text{Detekt}}</math></i>	2
4.8.2 <i>Alarmierungsdauer <math>t_{\text{Alarm}}</math></i>	2
4.8.3 <i>Individuelle Reaktionsdauer <math>t_{i, \text{Reakt}}</math></i>	3
4.8.4 <i>Individuelle Laufdauer <math>t_{i, \text{Lauf}}</math></i>	3
4.8.5 <i>Individuelle Entfluchtungsdauer <math>t_{i, \text{Flucht}}</math></i>	3
4.8.6 <i>Gesamtentfluchtungsdauer <math>t_{\text{Flucht}}</math></i>	3
4.8.7 <i>Minimale Gesamtentfluchtungsdauer <math>t_{\text{Flucht}, \text{min}}</math></i>	3
4.8.8 <i>Maximale Gesamtentfluchtungsdauer <math>t_{\text{Flucht}, \text{max}}</math></i>	3
4.8.9 <i>Mittlere Gesamtentfluchtungsdauer <math>t_{\text{Flucht}, \text{mittel}}</math></i>	3
4.8.10 <i>Signifikante Gesamtentfluchtungsdauer <math>t_{\text{Flucht}, \text{signifikant}}</math></i>	3
<b>5 Eigenschaften der Simulationsmodelle</b>	<b>3</b>
5.1 <i>Kategorie GEOMETRIE</i>	4
5.2 <i>Kategorie POPULATION</i>	4
5.2.1 <i>Allgemeines</i>	4
5.2.2 <i>Altersverteilung der Population</i>	4
5.2.3 <i>Reaktionsdauer</i>	5
5.2.4 <i>Ungehinderte Gehgeschwindigkeit in der Ebene</i>	5
5.2.5 <i>Ungehinderte Gehgeschwindigkeiten auf Treppen</i>	6
5.2.6 <i>Personendichten der Anfangsverteilung</i>	7
<b>6 Entfluchtungsanalyse</b>	<b>7</b>
6.1 <i>Beschreibung der einflussnehmenden Faktoren und Randbedingungen</i>	7
6.2 <i>Betrachtete Szenarien</i>	8
6.2.1 <i>Anfangsverteilung der Personen</i>	8
6.2.2 <i>Anordnung der Flucht- und Rettungswege - grundlegender Entfluchtungsfall</i>	8
6.2.3 <i>Flexibilität der Flucht- und Rettungswege -zusätzliche Entfluchtungsfälle</i>	8
6.2.4 <i>Berechnung der Maximalbelegungszahl</i>	8
6.3 <i>Behandlung der signifikanten Gesamtentfluchtungsdauer</i>	8
6.4 <i>Identifizierung von Stauungen</i>	9

<b>7 Korrekturmaßnahmen</b>	<b>9</b>
<b>8 Dokumentation</b>	<b>10</b>
<b>Anhang 1: Gliederung und Mindestinhalt eines Evakuierungsgutachtens</b>	<b>11</b>
<b>Anhang 2: Vorläufige Anleitung zur Validierung / Verifizierung von Simulationsprogrammen</b>	<b>13</b>
<i>A 1 Allgemein</i>	<i>13</i>
<i>A 2 Überprüfung der Komponenten</i>	<i>13</i>
<i>A 3 Funktionale Verifizierung</i>	<i>15</i>
<i>A 4 Qualitative Verifizierung</i>	<i>16</i>
<i>A 5 Quantitative Verifizierung</i>	<i>21</i>
<b>Anhang 3: Verteilung der individuellen Reaktionsdauern</b>	<b>22</b>
<b>Anhang 4: Literaturverzeichnis</b>	<b>24</b>
<b>Anhang 5: RiMEA-Mitglieder</b>	<b>25</b>
<b>Anhang 6: RiMEA-Initiatoren</b>	<b>27</b>
<b>Anhang 7: RiMEA-Beiträge</b>	<b>28</b>

## **1 Allgemeines**

Die simulationsgestützte Entfluchtungsanalyse dient zur Bestimmung der Entfluchtdauer von baulichen Anlagen und Freiflächen auf denen der freie ungehinderte Personenstrom beeinflusst wird und zur Überprüfung der Konzeption und Leistungsfähigkeit von Flucht- und Rettungswegen, insbesondere der Lokalisierung von Bereichen mit signifikanten Stauungen. Sie basiert auf einer rechnergestützten Simulation in der jede Person individuell und der Grundriss detailliert abgebildet wird. Die Bewegung der Personen sowie die Wechselwirkung mit der baulichen Anlage werden auf Grundlage von empirischen Untersuchungen, Beobachtungen und der Auswertung von Schadensfällen in Form von vereinfachten mathematischen Regeln mit Hilfe eines rechnerischen Entfluchtungsmodells nachgebildet.

## **2 Ziele**

Ziel dieser Richtlinie ist es die Methodik (u.a. themenbezogene Begriffe, allgemeine Eigenschaften von Simulationsmodellen sowie die Bestandteile und notwendigen Arbeitsschritte,...) für die Erstellung einer simulationsgestützten Entfluchtungsanalyse festzulegen und:

1. die Gesamtentfluchtdauer bzw. die Entfluchtdauer von Teilbereichen baulicher Anlagen statistisch zu erfassen und unter Berücksichtigung von sicherheitstechnischen Aspekten zu bewerten;
2. im Einzelfall den Nachweis zu führen, dass die geplanten oder bestehenden Flucht- und Rettungswege abweichend von den Dimensionierungsvorgaben des Bauordnungsrechts für die angenommenen Personenzahlen ausreichen;
3. zu zeigen, dass die Fluchtvorkehrungen ausreichend flexibel sind für den Fall, dass bestimmte Flucht- und Rettungswege oder gesicherte Bereiche aufgrund eines Zwischenfalls nicht verfügbar sind;
4. soweit möglich, signifikante Stauungen die während der Entfluchtung aufgrund der normalen Bewegung von Personen entlang der Flucht- und Rettungswege auftreten zu erkennen.

Diese Richtlinie definiert einen Mindeststandard in Bezug auf die Eingangsgrößen, die Modellbildung, die rechnerische Simulation und die Auswertung und Dokumentation einer Entfluchtungsanalyse.

Mit Hilfe der in dieser Richtlinie dargestellten Methodik einer simulationsgestützten Entfluchtungsanalyse soll die Leistungsfähigkeit eines Flucht- und Rettungskonzeptes als Bestandteil einer baulichen Anlage bewertet werden.

## **3 Anwendungsbereich**

Diese Richtlinie kann im Allgemeinen auf alle baulichen Anlagen im Sinne des § 2 (1) der Musterbauordnung, einschließlich aller anderen Freiflächen oder Objekte die im Rahmen einer Entfluchtungsanalyse bewertet werden sollen, angewendet werden.

Im Schwerpunkt richtet sich die in dieser Richtlinie beschriebene Methode zur Entfluchtungsanalyse an Versammlungsstätten im Sinne der Muster-Versammlungsstättenverordnung [1], insbesondere:

1. Versammlungsstätten mit Versammlungsräumen, die insgesamt mehr als 200 Personen fassen;
2. Versammlungsstätten im Freien, die mehr als 1.000 Besucher fassen;
3. Sportstadien, die mehr als 5.000 Besucher fassen;
4. Gebäude besonderer Art und Nutzung (Sonderbauten).

Die in dieser Richtlinie dargestellte Methodik kann zusätzlich für alle weiteren Gebäude eingesetzt werden.

## 4 Begriffe

### 4.1 Mikroskopische Entfluchtungsanalyse

Im Gegensatz zu Flussrechnungen (z.B. Predtetschenski & Milinski), die Personenströme wie Flüssigkeitsströme behandeln (=makroskopisch), wird in der mikroskopischen Entfluchtungsanalyse die Bewegung jeder einzelnen Person dargestellt. Dabei verfügt jede Person über individuelle Fähigkeiten, die ihr Verhalten charakterisieren. Die Entfluchtungsanalyse liefert sowohl Aussagen zur Gesamtentfluchtungsdauer als auch über Orte und Dauern von Stauungen.

### 4.2 Bauliche Anlagen

Bauliche Anlagen sind mit dem Erdboden verbundene, aus Bauprodukten hergestellte Anlagen.

### 4.3 Versammlungsstätten

Versammlungsstätten sind bauliche Anlagen oder Teile baulicher Anlagen, die für die Zusammenkunft einer größeren Zahl von Menschen bei Veranstaltungen, insbesondere erzieherischer, wirtschaftlicher, geselliger, kultureller, politischer, sportlicher oder unterhaltender Art, bestimmt sind.

### 4.4 Entfluchtung

Das „In-Sicherheit-Bringen“ von Personen aus einem gefährdeten Bereich wird als Entfluchtung bezeichnet.

### 4.5 Flucht- und Rettungswege

Flucht- und Rettungswege sind ununterbrochene und unversperrte Laufwege (Flure, Gänge, Hallen, Treppenräume, Ausgänge, usw.) von einem beliebigen Ausgangspunkt im Gebäude (oder einer baulichen Struktur) zu einem sicheren Bereich, der aus drei Abschnitten besteht: (1) dem Weg zum Ausgang, (2) dem Ausgang und (3) dem Verlassen des Ausgangs bis zum Erreichen eines sicheren Bereichs. Sie werden im Sinne des Baurechts von flüchtenden Personen zur Sicherstellung des ersten und zweiten Rettungsweges benötigt.

### 4.6 Gesicherter Bereich

Bereich am Ende des Fluchtweges in dem Menschen und Tiere vor den Einwirkungen des Schadensereignisses geschützt sind und durch Helfer oder Einsatzkräfte versorgt werden können. Ein gesicherter Bereich kann sowohl innerhalb eines Gebäudes, als auch außerhalb eines Gebäudes angeordnet werden. Die Fläche eines gesicherten Bereiches muss für die max. zu erwartende Anzahl von flüchtenden Personen und deren Versorgung ausreichen.

### 4.7 Personenbelegung

Die Personenbelegung ist die Anzahl der Personen im zu untersuchenden Gebäude, die für die Analyse der Flucht- und Rettungswege berücksichtigt wird.

### 4.8 Dauern

#### 4.8.1 Detektionsdauer $t_{\text{Detekt}}$

Die Dauer vom Beginn des auslösenden Ereignisses (z.B. Brand) bis zu seiner Entdeckung wird als Detektionsdauer  $t_{\text{Detekt}}$  bezeichnet.

#### 4.8.2 Alarmierungsdauer $t_{\text{Alarm}}$

Die Dauer zwischen der Entdeckung eines auslösenden Ereignisses und dem Auslösen des Entfluchtungssignals wird als Alarmierungsdauer bezeichnet.

#### 4.8.3 Individuelle Reaktionsdauer $t_{i, \text{Reakt}}$

Die Dauer zwischen der Alarmierung und dem Beginn der Entfluchtung einer einzelnen Person wird als individuelle Reaktionsdauer  $t_{i, \text{Reakt}}$  bezeichnet. Das schließt die Wahrnehmung von Hinweisen, das Erteilen und Aufnehmen von Anweisungen, individuelle Reaktionsdauern und die Durchführung aller anderen Tätigkeiten vor Beginn der Entfluchtung ein.

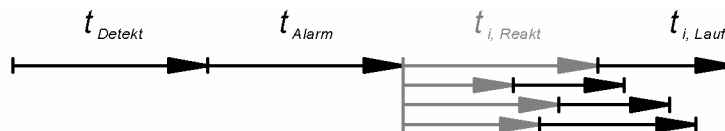
#### 4.8.4 Individuelle Laufdauer $t_{i, \text{Lauf}}$

Die Dauer, die eine Person benötigt, um von ihrer initialen Position zu einem als sicher geltenden Bereich (Sammelplatz, anderer Brandabschnitt, Ausgang) zu gelangen wird als individuelle Laufdauer  $t_{i, \text{Lauf}}$  bezeichnet.

#### 4.8.5 Individuelle Entfluchtungsdauer $t_{i, \text{Flucht}}$

Die individuelle Entfluchtungsdauer  $t_{i, \text{Flucht}}$  ist die Summe der allgemeinen Detektions- und Alarmierungsdauer sowie der individuellen Reaktions- und Laufdauer.

$$t_{i, \text{Flucht}} = t_{\text{Detekt}} + t_{\text{Alarm}} + t_{i, \text{Reakt}} + t_{i, \text{Lauf}}$$



#### 4.8.6 Gesamtentfluchtungsdauer $t_{\text{Flucht}}$

Das Maximum aus den individuellen Entfluchtungsdauern wird als Gesamtentfluchtungsdauer  $t_{\text{Flucht}}$  bezeichnet.

$$T_{\text{Flucht}} = \max(t_{i, \text{Flucht}})$$

#### 4.8.7 Minimale Gesamtentfluchtungsdauer $t_{\text{Flucht}, \text{min}}$

Das Minimum aus einem Ensemble von Gesamtentfluchtungsdauern wird als minimale Gesamtentfluchtungsdauer  $t_{\text{Flucht}, \text{min}}$  bezeichnet.

#### 4.8.8 Maximale Gesamtentfluchtungsdauer $t_{\text{Flucht}, \text{max}}$

Das Maximum aus einem Ensemble von Gesamtentfluchtungsdauern wird als maximale Gesamtentfluchtungsdauer  $t_{\text{Flucht}, \text{max}}$  bezeichnet.

#### 4.8.9 Mittlere Gesamtentfluchtungsdauer $t_{\text{Flucht}, \text{mittel}}$

Der arithmetische Mittelwert aus einem Ensemble von Gesamtentfluchtungsdauern wird als mittlere Gesamtentfluchtungsdauer  $t_{\text{Flucht}, \text{mittel}}$  bezeichnet.

#### 4.8.10 Signifikante Gesamtentfluchtungsdauer $t_{\text{Flucht}, \text{signifikant}}$

Die Dauer eines Ensembles von Gesamtentfluchtungsdauern, die größer als oder gleich 95% der Gesamtentfluchtungsdauern ist, wird als signifikante Gesamtentfluchtungsdauer  $t_{\text{Flucht}, \text{signifikant}}$  bezeichnet.

### 5 Eigenschaften der Simulationsmodelle

Die in die Berechnung einfließenden Faktoren werden in zwei Kategorien eingeteilt: GEOMETRIE und POPULATION. Sie werden zum einen durch Modelleigenschaften und zum anderen durch Eingabedaten des Benutzers definiert. Modelle, die für Evakuierungsanalysen eingesetzt werden, müssen die nachfolgenden Anforderungen erfüllen und die Eingabedaten den aufgezählten Werten entsprechen.

## 5.1 Kategorie GEOMETRIE

Diese Kategorie beschreibt die räumliche Anordnung und Geometrie des Gebäudes bzw. der Flucht- und Rettungswege, ihre Versperrung und teilweise Nicht-Verfügbarkeit.

Die Gebäudegeometrie ist in allen für den Ablauf der Simulation wichtigen Details wie die Einteilung in Ebenen und Geschossen, und die Eigenschaften von Hindernissen, Wände, Treppen, Rampen, Türen und Ausgänge, zu berücksichtigen.

## 5.2 Kategorie POPULATION

Die Zusammenstellung der Population erfolgt im Hinblick auf Alter, physische Attribute und Reaktionsdauer. Die statistische Zusammensetzung der Population ist identisch für alle Szenarien mit Ausnahme der Reaktionsdauer und der Anfangsposition der Personen. Liegen Daten zur Populationszusammensetzung vor, so sollten sie in Abstimmung mit den zuständigen Behörden verwendet werden.

### 5.2.1 Allgemeines

Diese Kategorie POPULATION beschreibt die minimalen Anforderungen an die Eigenschaften und die Zusammensetzung der Population:

5. Jede Person wird in der Simulation individuell repräsentiert.
6. Die grundlegenden Regeln für die Entscheidungen und Bewegungen sind für alle Personen gleich und werden durch einen dokumentierten, universellen Algorithmus beschrieben.
7. Die Leistungsfähigkeit jeder Person oder Personengruppe wird durch einen Satz von Personenparametern festgelegt. Einige dieser Parameter wirken sich stochastisch auf das Verhalten der Personen aus.
8. Die Bewegung jeder einzelnen Person wird aufgezeichnet.
9. Die Personenparameter variieren zwischen den Individuen einer Population.
10. Der Zeitunterschied zwischen den Aktionen zweier Personen in der Simulation (also die Zeit, innerhalb derer alle Personen agieren) soll zeitlich hoch aufgelöst und im Verhältnis zur Gesamtentfluchtungsdauer mikroskopisch klein sein. Die Aktualisierung aller Aktionen wird als Update bezeichnet.
11. Bei der Auswahl der analysierten Szenarien ist die für das Objekt zutreffende Population, die Wahl der Flucht- und Rettungswege und gegebenenfalls die Auswirkung von Umwelteinflüssen zu berücksichtigen. Simulationen können mit folgenden Vereinfachungen durchgeführt werden:
  - a. Die Personen bewegen sich entlang der Flucht- und Rettungswege.
  - b. Da eine gefahrlose Entfluchtung das Grundziel einer Entfluchtungsanalyse darstellt, können die Auswirkungen von Umwelteinflüssen wie z.B. Rauch, Hitze, giftige Stoffe oder die Statik eines Gebäudes zur Festlegung der maximal erlaubten signifikanten Gesamtentfluchtungsdauer herangezogen werden.
  - c. Gruppenverhalten wird implizit dadurch berücksichtigt, dass definierte Personengruppen gleiche Fluchtwege nutzen. Explizites Gruppenverhalten wie z.B. das Zusammenbleiben einer Gruppe wird in der Analyse nicht berücksichtigt.
12. Beim Wegfall einer oder mehrere Vereinfachungen kann die zulässige signifikante Gesamtentfluchtungsdauer in Abstimmung mit den zuständigen Behörden angepasst werden.

### 5.2.2 Altersverteilung der Population

Stehen keine Daten zur Verfügung, soll die folgende Standardpopulation verwendet werden. Sie besteht zu jeweils 50 % aus Männern und Frauen deren Alter wie in Abbildung 1 dargestellt zwischen dem Minimum- und Maximumwert normalverteilt ist. Der Mittelwert des Alters ist 50 Jahre, die Standardabweichung 20 Jahre. Das Minimalalter beträgt 10 Jahre, das Maximumalter 85 Jahre.



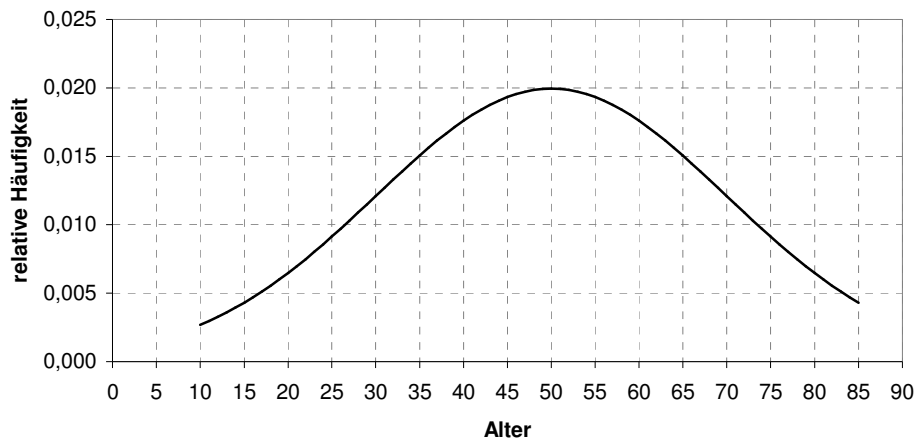


Abbildung 1: Altersverteilung der RiMEA-Standardpopulation, die zu jeweils 50 % aus Männern und Frauen besteht.

### 5.2.3 Reaktionsdauer

Sind genaue Kenntnisse zum Entfluchtungskonzept bekannt, können die Reaktionsdauern gemäß Anhang 3: Verteilung der individuellen Reaktionsdauern festgelegt werden. In allen anderen Fällen muss die Sensitivität des Entfluchtungskonzepts anhand von drei Szenarien mit den folgenden drei Reaktionsdauerverteilungen bestimmt werden.

- **Schnelle Entfluchtung:** Alle Personen erhalten eine Reaktionsdauer von 0 Sekunden. Dies bewirkt durch die gleichzeitige Reaktion aller Personen ein hohes Personenaufkommen auf den Flucht- und Rettungswegen.
- **Zügige Entfluchtung:** Die Personen erhalten eine gleichverteilte Reaktionsdauer von 0-60 Sekunden zugewiesen und reagieren somit innerhalb einer Minute.
- **Langsame Entfluchtung:** Die Personen erhalten eine gleichverteilte Reaktionsdauer. Die Werte können aus „Anhang 3: Verteilung der individuellen Reaktionsdauern“ entnommen werden.

Die Verteilung der Reaktionsdauern kann je nach Gebäudetyp und Veranstaltungsart variieren und ist im Falle von Abweichungen von o.g. Beispiel mit der zuständigen Behörde abzustimmen.

### 5.2.4 Ungehinderte Gehgeschwindigkeit in der Ebene

Zur durchschnittlichen Gehgeschwindigkeiten für eine stadtypische Bevölkerung in Abhängigkeit vom Alter gibt es verschiedene Veröffentlichungen. Es empfiehlt sich, die Werte entsprechend der Veröffentlichungen von Weidmann [2] zu verwenden.

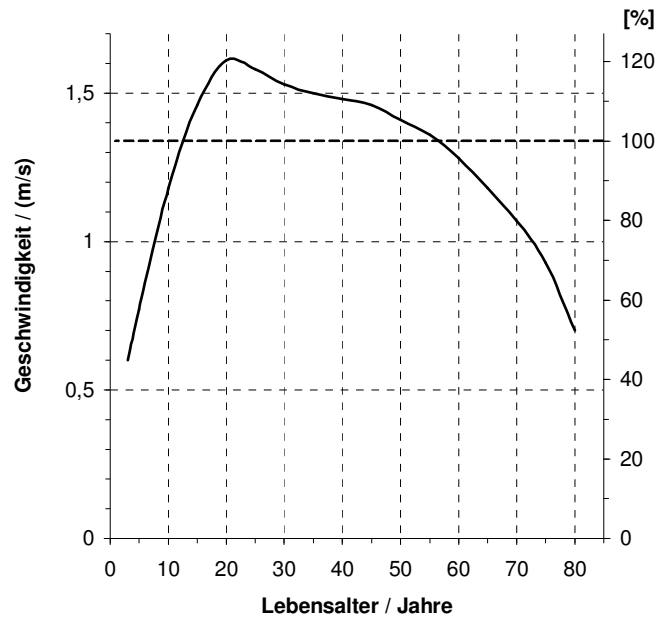


Abbildung 2: Gehgeschwindigkeit in der Ebene in Abhängigkeit des Alters nach Weidmann [2].

Personengruppe	Gehgeschwindigkeit in der Ebene (m/s)	
	Minimum	Maximum
Unter 30 Jahre	0,58	1,61
30 bis 50 Jahre	1,41	1,54
Über 50 Jahre	0,68	1,41
Personen mit beeinträchtigter Mobilität <sup>1</sup>	0,46	0,76

Tabelle 1: Gehgeschwindigkeiten in der Ebene nach Weidmann [2].

Die Gehgeschwindigkeit von Männern ist im Mittel um 10,9 % höher als die von Frauen. Dies ergibt für Männer eine mittlere Gehgeschwindigkeit von 1,41 m/s und für Frauen eine von 1,27 m/s.

### 5.2.5 Ungehinderte Gehgeschwindigkeiten auf Treppen

Fruin [3] untersuchte die Gehgeschwindigkeiten auf Treppen. Er unterschied dabei zwischen Innen- (Nr. 1, Steigungsverhältnis 17,8 cm / 28,6 cm) und Außentreppen (Nr. 2, Steigungsverhältnis 15,2 cm / 30,5 cm). Die mittleren Gehgeschwindigkeiten (Horizontalgeschwindigkeiten) sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

<sup>1</sup> Diese Werte sind entnommen aus:

Interim Guidelines for Evacuation Analyses for New and Existing Passenger Ships: Maritime Safety Committee Circular 1033, IMO, London 2002.

Personengruppe	Mittlere Gehgeschwindigkeiten auf Treppen (m/s)			
	Treppe abwärts		Treppe aufwärts	
	(1)	(2)	(1)	(2)
Unter 30 Jahre	0,76	0,81	0,55	0,58
30 bis 50 Jahre	0,65	0,78	0,50	0,58
Über 50 Jahre	0,55	0,59	0,42	0,42
Personen mit beeinträchtigter Mobilität	0,42		0,32	

Tabelle 2: Mittlere Gehgeschwindigkeiten auf Treppen nach Fruin [3].

Simulationsmodelle müssen die hier dargestellten Tendenzen ausreichend genau berücksichtigen.

Vereinfacht kann auf Treppen auch mit einer Gehgeschwindigkeit gerechnet werden, deren Horizontalkomponente in beide Richtungen (treppauf und treppab) der Hälfte der Gehgeschwindigkeit in der Ebene (Tabelle 1) entspricht.

### 5.2.6 Personendichten der Anfangsverteilung

Die Anfangsverteilung der Personen gibt vor, gemäß welcher Personendichten die Personen zu Beginn der Simulation verteilt werden müssen. Liegen konkrete Daten vor, sollten sie unter Bekanntgabe der Quelle in die Analyse einfließen. Ansonsten gelten die Richtwerte aus Tabelle 3.

Gebäudetyp	Personendichte (Personen/m <sup>2</sup> )	Quelle
Kaufhaus	0,18 - 0,36	NFPA <sup>2</sup>
Bürogebäude	0,11	NFPA
Lager	0,04	NFPA
Messen	1,00	MVStättV <sup>3</sup>
Versammlungsräume	2,00	MVStättV
Stehplatzbereiche in Zuschaueranlagen	4,70	EN 13200-1 <sup>4</sup>

Tabelle 3: Richtwerte als Dichten für die Anfangsverteilung der Population.

## 6 Entfluchtungsanalyse

Die Entfluchtungsanalyse beschreibt die Einbindung der signifikanten Gesamtentfluchtungsdauer der Entfluchtungssimulation in den Kontext der brandschutztechnischen Infrastruktur und der objektspezifischen Risikobeurteilung durch den Verfasser des Entfluchtungskonzeptes. Sie besteht aus folgenden Schritten:

### 6.1 Beschreibung der einflussnehmenden Faktoren und Randbedingungen

13. Definition des Geometriemodells.
14. Definition der Populations-Zusammensetzung und Verteilung.
15. Beschreibung des Flucht- und Rettungswegekonzeptes.

<sup>2</sup> National Fire Protection Association

<sup>3</sup> Muster-Versammlungsstättenverordnung, Fassung Juni 2005

<sup>4</sup> Zuschaueranlagen Teil 1: Kriterien für die räumliche Anordnung von Zuschauerplätzen – Anforderungen, Dezember 2003

16. Benennung des auslösenden Ereignisses für die Entfluchtung.
17. Definition der Abschnittsbildung.
18. Definition der sicheren Bereiche.
19. Beschreibung des Alarmierungssystems.
20. Beschreibung organisatorischer Maßnahmen.

## **6.2 Betrachtete Szenarien**

Die Berechnung der Entfluchtungsdauer erfolgt durch die Analyse eines oder mehrerer Szenarien. Ein Szenarium ist durch eine Geometrie, eine Anfangspersonenverteilung, eine Routenverteilung und die statistische Zusammensetzung der Population definiert. Durch die Änderungen eines Parameters entsteht ein neues Szenarium. Die geplante Nutzungsart sowie die zu erwartenden Personenzahlen sind detailliert zu beschreiben. Besonders zu berücksichtigen sind unterschiedliche Nutzungsarten innerhalb eines Objektes (z. B. Einkaufszentrum mit Multiplexkino und Versammlungsstätte). Aufgrund von unterschiedlichen Nutzungszeiten und Nutzungsdauern, ist es erforderlich differenzierte Entfluchtungsszenarien zu entwickeln.

### **6.2.1 Anfangsverteilung der Personen**

Für die Entfluchtungsanalyse soll die Anfangsverteilung der Personen berücksichtigt werden, welche in den Einreich-/Eingabeplänen oder sonstigen Dokumenten für das jeweilige Objekt oder Räumlichkeiten vorgesehen ist. Da diese stark von der Nutzungs- bzw. Veranstaltungsart abhängig sein kann, muss sie gegebenenfalls beim Nutzer/Betreiber oder Planer erfragt werden. Gibt es keinerlei Angaben über die höchstzulässige Zahl der Personen im Gebäude, so muss diese wie in Abschnitt 6.2.4 erläutert, errechnet werden.

### **6.2.2 Anordnung der Flucht- und Rettungswege - grundlegender Entfluchtungsfall**

Alle vorhandenen Flucht- und Rettungswege stehen für die Entfluchtung zur Verfügung. Die Personen bewegen sich entlang der Flucht- und Rettungswege und kennen den Weg ins Freie bzw. zum nächstgelegenen sicheren Bereich. Hierbei wird unterstellt, dass Beschilderung, Leitsysteme, Schulung eventuell vorhandener Sicherheitskräfte und andere Einflüsse bezüglich Gestaltung und Betrieb der Entfluchtungseinrichtungen mit den Anforderungen der entsprechenden Gesetze und Verordnungen im Einklang stehen.

### **6.2.3 Flexibilität der Flucht- und Rettungswege -zusätzliche Entfluchtungsfälle**

Es empfiehlt sich, in Abstimmung mit der zuständigen Behörde zusätzliche Szenarien zu untersuchen. Hierdurch können die Auswirkungen versperrter Flucht- und Rettungswege und damit die Flexibilität des Entfluchtungskonzepts aufgezeichnet werden.

### **6.2.4 Berechnung der Maximalbelegungszahl**

Für die Ermittlung der Maximalbelegungszahl wird wie in Abschnitt 6.2.2 davon ausgegangen, dass alle zur Verfügung stehenden Flucht- und Rettungswege benutzbar sind und rechtliche und normative Anforderungen an die Entfluchtung erfüllt sind.

Die Simulation wird mit schrittweise reduzierter Personenanzahl soweit fortgesetzt, bis eine Gesamtentfluchtungsdauer innerhalb der durch die rechtliche und normative definierte Entfluchtungsdauer erreicht ist.

## **6.3 Behandlung der signifikanten Gesamtentfluchtungsdauer**

1. Sowohl die vom Modell vorhergesagte als auch die in der Realität gemessene Gesamtentfluchtungsdauer sind zufallsbehaftete Größen. Das liegt in der statistischen Natur des Entfluchtungsprozesses begründet.

2. Für jeden Simulationsdurchgang sollen die Anfangspositionen der Personen stochastisch neu bestimmt werden.
3. Für jeden Simulationsdurchgang sollen die demographischen Parameter der Personen entsprechend der dem Szenarium zugrunde liegenden Populationszusammensetzung stochastisch neu bestimmt werden.
4. Für jedes Szenario soll eine angemessene Anzahl von Simulationsdurchläufen (mindestens 10) ausgeführt werden. Das ergibt für jedes Szenario 10 Gesamtentfluchtungsauern. Je nach statistischer Verteilung der Gesamtentfluchtungsauern ist eine größere Anzahl an Simulationsdurchläufen notwendig, um eine statistisch belastbare Aussage treffen zu können.
5. Die Ergebnisse aller Simulationsdurchläufe für alle Szenarien sind nachvollziehbar zu dokumentieren. Anzugeben sind eine graphische Darstellung der Dauerverteilung (Histogramm), die minimale, maximale und die signifikante Gesamtentfluchtungsauer sowie die Standardabweichung.
6. Die zulässige signifikante Gesamtentfluchtungsauer ist im Vorfeld mit den Behörden abzustimmen. Ihre Festlegung erfolgt durch die Bestimmung der zur Verfügung stehenden Dauer in der eine Entfluchtung ohne Einflüsse durch das auslösende Ereignis möglich ist, oder entsprechend der rechtlichen und normativen Bestimmungen. Die berechnete signifikante Gesamtentfluchtungsauer muss kleiner sein.
7. Für die zulässigen Gesamtentfluchtungsauern gibt es keine gesetzlichen oder normativen Vorgaben. Die vorhandenen Werte beziehen sich auf einen Teil des Evakuierungsablaufs, z.B. auf den Fluss der Personen durch Ausgangstüren.
  - d. in der Europäischen Union [4] werden für Zuschaueranlagen im Freien 8 min genannt<sup>5</sup>, für Zuschaueranlagen im Gebäude 2 min<sup>6</sup>. Hierbei handelt es sich um beispielhafte Werte, die kein Akzeptanzkriterium beinhalten.
  - e. in Deutschland [1] werden für Tribünen im Innenraum 2 min und für Tribünen im Freien 6 min genannt. Dies sind Werte für eine fiktive Flussdauer (ohne Rückstau, reine Durchflusszeit) und wurden in einem früheren Kommentar als Werte für die Festlegung der notwendigen Fluchwegbreiten in der MVStättV (Deutschland) genannt. Diese Werte ergeben sich durch die Zurückrechnung aus den Annahmen der geforderten Fluchwegbreiten und der Annahme, dass 100 Personen für das Durchströmen einer 1,2 m breiten Tür 1 Minute benötigen (gemäß Kommentar zur MVStättV).
  - f. in der Schweiz [6] werden für Stadien mit geschlossenem Dach, Räume mit großer Personenzahl 3 bis 5 min und für Stadien mit offenem Dach 8 min als empfohlene Entfluchtungsauern in genannt.

#### 6.4 Identifizierung von Stauungen

Im Rahmen der Entfluchtungsanalyse müssen auftretende Staus identifiziert, beschrieben und bewertet werden. Ein signifikanter Stau liegt vor, wenn eine lokale Dichte von 4 Personen pro Quadratmeter länger als 10 % der Gesamtentfluchtungsauer überschritten wird.

### 7 Korrekturmaßnahmen

Falls für ein neu zu errichtendes Gebäude die berechnete Dauer die zulässige Gesamtentfluchtungsauer überschreitet, müssen Korrekturmaßnahmen am Bauwerk vorgenommen werden, bis die notwendige (beispielsweise vorgeschriebene) Entfluchtungsauer erzielt wird. Korrekturmaßnahmen können in einer Veränderung

- der Geometrie,

<sup>5</sup> Empfohlene maximale Dauer bis zum Erreichen eines Sicherheitsplatzes für Bereiche im Freien.

<sup>6</sup> Empfohlene maximale Dauer bis zum Erreichen eines Sicherheitsplatzes für Bereiche in Gebäuden.

bzw. durch Setzen von

- baulichen Maßnahmen,
- anlagentechnischen Maßnahmen,
- organisatorischen Maßnahmen,

bestehen.

Eine alleinige Veränderung von demographischen Parameter in der Entfluchtungsanalyse zum Erreichen der notwendigen Entfluchtungsdauer ist nicht zulässig.

Falls für bestehende Gebäude die berechnete Dauer die zulässige Gesamtentfluchtungsdauer überschreitet, müssen die Entfluchtungsabläufe im Gebäude mit dem Ziel überprüft werden, durch Setzen von geeigneten Maßnahmen die in der Analyse festgestellten Stauungen bzw. die Gesamtentfluchtungsdauer, zu verringern.

Die Entfluchtungsanalyse ist mit den geänderten Randbedingungen (Korrekturmaßnahmen) so lange fortzusetzen, bis die zulässige bzw. eine akzeptable Entfluchtungsdauer (-situation) erreicht wird.

Falls die angewandten Korrekturmaßnahmen keine akzeptable Entfluchtungsdauer zulassen, ist eine Reduktion der Personenzahl vorzunehmen.

## **8 Dokumentation**

Auf Anforderung der zuständigen Behörden müssen folgende Punkte erläutert bzw. nachvollzogen werden:

8. Die Annahmen, die in der Simulation gemacht wurden, müssen genannt werden. Annahmen, die Vereinfachungen enthalten, die über diejenigen in Abschnitt 5 hinausgehen, sollen nicht getroffen werden.
9. Die Dokumentation der Entfluchtungsanalyse soll folgende Bestandteile enthalten:
  - g. die im Modell zur Beschreibung der Personenbewegung benutzten Variablen, z.B. Gehgeschwindigkeit;
  - h. den funktionalen Zusammenhang zwischen den Parametern und ihren Einfluss auf die Bewegung;
  - i. die Art der Aktualisierung (des Updates), d.h. die Reihenfolge, in der die Personen sich während der Simulation bewegen (parallel, zufällig sequentiell, geordnet sequentiell oder andere);
  - j. die Darstellung von Treppen, Türen, Sammelplätzen und anderen besonderen räumlichen Elementen und ihren Einfluss auf die Variablen während der Simulation (falls es einen gibt) und die einschlägigen Parameter, die diesen Einfluss quantifizieren; und
  - k. ein detailliertes Benutzerhandbuch, das die Art des Modells und die zugrunde liegenden Annahmen beschreibt, und Richtlinien für seine Benutzung und die Interpretation der Ergebnisse sollen jederzeit zur Verfügung stehen.
  - l. die Programmversion, die für die Entfluchtungsanalyse verwendet wurde.
10. Die Ergebnisse der Analyse sollen folgendermaßen dokumentiert werden:
  - m. die Details der Berechnungen,
  - n. die Gesamtentfluchtungsdauer und ihre Verteilung,
  - o. die festgestellten Bereiche mit Stauungen.

## **Anhang 1: Gliederung und Mindestinhalt eines Evakuierungsgutachtens**

Folgende Punkte stellen den minimal erforderlichen Inhalt eines Evakuierungsgutachtens / einer Evakuierungsanalyse dar:

### **0. Titelblatt**

Informationen über den Auftrag

- Art der Darstellung (Analyse, Gutachten, ...)
- Thema
- Erstellungsdatum, ggf. Stand der vorliegenden Fassung (z.B. bei Fortschreibung)
- Auftraggeber, Auftragsdatum, Geschäftszeichen
- Gutachter
- Datum und Index der beurteilten Planunterlagen
- Umfang von Text und Anhang

### **1. Anlass und Fragestellung**

- Beschreibung, warum die Analyse bzw. das Gutachten erstellt wird und Erläuterung der Problemstellung
- Beschreibung des Schutzziels

### **2. Objektbeschreibung**

Beschreibung des Objektes (Raum- / Gebäudegeometrien) evtl. mit Grafik / Bild

- Flächen
- Nutzungsarten
- Nutzungszeiten / -dauer
- Beschreibung der Vorkehrungen für den organisatorischen Brandschutz (verantwortliche Person, BSB, BSH, Räumungsbeauftragte, -helfer)
- Anzahl und Art der Ausgänge mit Abmessungen
- Brandschutztechnische Infrastruktur (BMA, ELA, Sicherheitsbeleuchtung, Sprinkleranlage,
- RWA, Fluchtweg-Kennzeichnung / -Leitsysteme, Brandsicherheitswache)
- Definition des „sicheren Bereiches“ mit Begründung

### **3. Beschreibung der verwendeten Software / des Modells**

- Name, Hersteller, Version der Simulationssoftware
- Zugrunde liegendes Modell, Rechenverfahren (grob)
- Max. Personendichten, Geschwindigkeiten

### **4. Beschreibung der Evakuierungsszenarien**

Erläuterung der Annahmen und Randbedingungen

- Anzahl der Simulationsdurchläufe
- Gewählte Annahmen zur Population mit Begründung (ggf. Hinweis auf Besonderheiten wie Behinderung o.ä.)

- Anzahl, Verteilung im Objekt
- Mittlere Dichte, mittlere Geschwindigkeit; Häufigkeitsverteilung
- Sonstige vom Anwender festzulegenden Randbedingungen zur Simulation
- Gewählte / erforderliche Vereinfachungen des Simulationsmodells mit Begründung
- Zuordnung von Personen zu Ausgängen mit Begründung (szenarioabhängig)

## **5. Ergebnisse / Besonderheiten**

- Darstellung der Simulationsergebnisse
  - Absolute Evakuierungsdauer; detaillierte Darstellung des Evakuierungsverlaufs in Zeitschritten von  $\Delta t \leq T_{\text{gesamt}}/10$
  - Ggf. maßgebliche Teilabschnitte
  - Grafische Darstellung (Momentaufnahmen) von Dichteverläufen / -maxima (zeitlich, räumlich)
- Auffälligkeiten / Besonderheiten während der Simulation (z.B. Auftreten von Stauungen)

## **6. Interpretation der Ergebnisse**

- Erläuterung / Interpretation der Ergebnisse
- Vergleich mit gesetzlichen Vorgaben
- Vergleich mit Literatur / allgemein anerkannten Regeln der Technik
- Vergleich der Ergebnisse mit Resultaten (Randbedingungen) aus Brandsimulationen, Behördenvorgaben, ...

## **7. Schlusswort / Fazit**

- Abschließende Bewertung der Ergebnisse / Simulationen
- Zusammenfassung / Fazit der Analyse



## **Anhang 2: Vorläufige Anleitung zur Validierung / Verifizierung von Simulationsprogrammen**

### **A 1 Allgemein**

Für jede Simulationssoftware ist die andauernde Verifikation notwendig. Es gibt mindestens vier Formen der Verifikation, denen Entfluchtungsmodelle unterzogen werden sollen. Diese sind:

1. Überprüfung der Komponenten,
2. Funktionale Verifizierung,
3. Qualitative Verifizierung und
4. Quantitative Verifizierung.

Diese Vorgehensweise ist in ISO Dokument ISO/TR 13387-8:1999 dargestellt.

Im Zuge der Überarbeitungszyklen der RiMEA-Richtlinie werden die Testszenarien den neusten Erkenntnissen entsprechend angepaßt.

Der Verifizierungsprozess ist nachvollziehbar und vollständig zu dokumentieren. Die Dokumentation(en) sind entsprechend dieses Abschnitts auszuführen. Die Verifizierungsdokumente können Bestandteil der Programmdokumentation sein und sind auf Verlangen der Behörde oder dem Auftraggeber zur Verfügung zu stellen. Alternativ können Sie öffentlich einsehbar auf der Homepage des RiMEA-Projekts ([www.rimea.de](http://www.rimea.de)) hinterlegt werden.

### **A 2 Überprüfung der Komponenten**

Die Überprüfung der Komponenten beinhaltet, zu testen, ob die verschiedenen Komponenten der Software wie vorgesehen funktionieren. Das schließt die Durchführung einer Reihe von elementaren Testfällen ein, um sicherzustellen, dass die wichtigsten Bestandteile des Modells wie beabsichtigt funktionieren. Die folgende Liste ist eine nicht erschöpfende Aufzählung vorgeschlagener Tests, die in den Verifizierungsprozess eingeschlossen werden sollen.

#### **Test 1: Beibehalten der vorgegebenen Gehgeschwindigkeit in einem Gang**

Es soll nachgewiesen werden, dass eine Person in einem 2 m breiten und 40 m langen Gang mit einer definierten Gehgeschwindigkeit die Entfernung in der entsprechenden Dauer zurücklegt.

Setzt man als Ungenauigkeiten 40 cm (Körperabmessung, für die Zeit 1 Sekunde (Reaktionszeit) und für die Geschwindigkeit 5% an, so ergibt sich mit einer typischen Fußgängergeschwindigkeit von 1,33 m/sec die folgende Anforderung: Die Geschwindigkeit sollte auf einen Wert zwischen 4,5 und 5,1 km/h eingestellt werden. Die Reisezeit sollte bei eingestellten 1,33 m/sec im Bereich 26 bis 34 Sekunden liegen.

#### **Test 2: Beibehalten der vorgegebenen Gehgeschwindigkeit treppauf**

Es soll nachgewiesen werden, dass eine Person auf einer 2 m breiten und 10 m langen (gemessen entlang der Schräge) Treppe mit einer definierten Gehgeschwindigkeit diese Entfernung in der entsprechenden Dauer zurücklegt.

Die Überlegungen von Test 1 gelten entsprechend mit angepassten Werten für Strecke, Dauer und Geschwindigkeit.

#### **Test 3: Beibehalten der vorgegebenen Gehgeschwindigkeit treppab**

Es soll nachgewiesen werden, dass eine Person auf einer 2 m breiten und 10 m langen (gemessen entlang der Schräge) Treppe mit einer definierten Gehgeschwindigkeit diese Entfernung in der entsprechenden Dauer zurücklegt.

Die Überlegungen von Test 1 gelten entsprechend mit angepassten Werten für Strecke, Dauer und Geschwindigkeit.

#### Test 4: Spezifischer Fluss durch einen Querschnitt

Der spezifische Fluss ist die Anzahl Personen, die einen bestimmten Querschnitt pro Meter lichter Breite und pro Sekunde passieren. Die Einheit ist *Personen/ms*. Der spezifische Fluss ist im Wesentlichen abhängig von der Personendichte (Einheit: *Personen/m²*) und lässt sich ähnlich der folgenden Formel berechnen:

$$\Phi_{s,\max} = \rho \cdot 1,34 \cdot \left( 1 - e^{-1,913 \left( \frac{1}{\rho} - \frac{1}{5,4} \right)} \right) \quad [2]$$

Entsprechend der oben genannten Formel ergibt sich ein Fundamentaldiagramm, wie es in Abbildung 3 dargestellt ist.

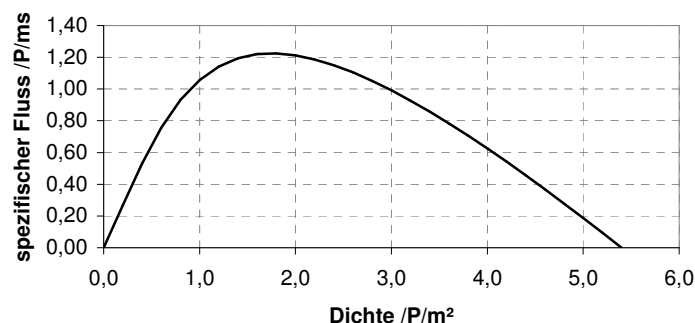


Abbildung 3: Das Fundamentaldiagramm stellt den Zusammenhang zwischen spezifischem Fluss und der Personendichte nach Weidmann [2] dar.

Als Richtwerte gelten die folgenden maximal zulässigen Flüsse. Der Wert des maximal möglichen spezifischen Flusses kann je nach Population variieren.

Art der Einrichtung	Maximaler spezifischer Fluss (P/(ms))
Treppen abwärts	1,10
Treppen aufwärts	0,88
Gänge, Türöffnungen	1,30

Tabelle 4: Spezifischer Fluss auf Treppen, in Gängen und Türen [7]

Für einen 4 m breiten Gang mit periodischen Randbedingungen und einer Mindestlänge von 30 m ist die Fluss-Dichte-Relation in Abhängigkeit der Parameter darzustellen. Der Fluss und die Dichte sollen dabei über den gesamten Gang gemittelt werden. „Periodische Randbedingungen“ bedeutet, dass die Personen, die den Gang am einen Ende verlassen, ihn am anderen Ende ohne Verzögerung betreten. Diese theoretische Annahme ist zur Herleitung eines Fundamentaldiagramms nötig.

Das Fundamentaldiagramm sollte für einen Ring mit einem inneren Radius von 20 bis 200 m berechnet werden. Zusätzlich soll für eine Dichte von 4 Personen pro Quadratmeter dokumentiert werden, wie sich der Wert für den Fluss in diesem Bereich der Radien ändert. Dabei müssen Rechnungen für mindestens 5 verschiedene, in diesem Bereich gleichmäßig verteilte Radien berechnet werden.

Das bestimmte Fundamentaldiagramm soll von den Werten und seiner Form dem Diagramm in Abbildung 3 ähneln.

#### Test 5: Reaktionsdauer

Zehn Personen in einem Raum der Größe 8 m x 5 m mit einem 1 m breiten Ausgang, der sich in der Mitte der 5 m langen Wand befindet. Setze die Reaktionsdauern wie folgt: gleichverteilt zwischen 10 s und 100 s. Verifiziere, dass jede Person zu einer passenden Zeit startet.

#### Test 6: Bewegung um eine Ecke

Zwanzig Personen, die sich auf eine nach links abbiegende Ecke zu bewegen (vgl. Abbildung 4) werden diese erfolgreich umrunden, ohne Wände zu durchqueren.

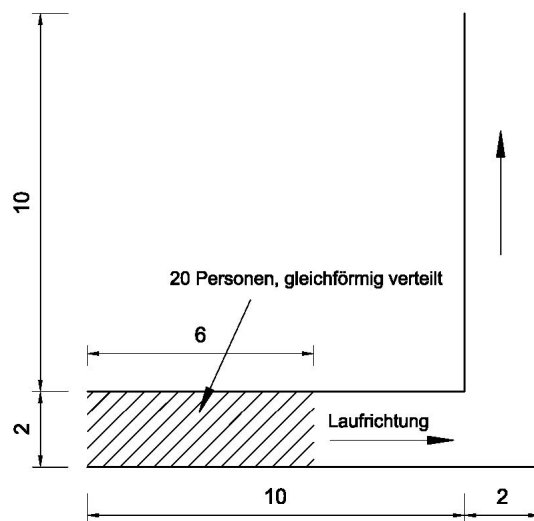


Abbildung 4: Quergang (Einheit: m).

#### Test 7: Zuordnung der demographischen Parameter

Wähle gemäß Tabelle 1 eine aus erwachsenen Personen bestehende Gruppe und verteile die Gehgeschwindigkeiten über eine Population von 50 Personen. Zeige, dass die Verteilung der Gehgeschwindigkeiten in der Simulation mit der Verteilung in der Tabelle vereinbar ist.

### A 3 Funktionale Verifizierung

Funktionale Verifizierung schließt ein zu überprüfen, dass das Modell die Fähigkeit besitzt, den Bereich der für die Simulation notwendigen Möglichkeiten abzudecken. Diese Anforderung ist aufgabenspezifisch. Um funktionale Verifizierung zu erfüllen, müssen die Entwickler des Modells in verständlicher Weise den vollen Bereich der Möglichkeiten des Modells und der inhärenten Annahmen darstellen und eine Anleitung für den korrekten Gebrauch dieser Möglichkeiten zur Verfügung stellen. Diese Informationen sollen in der technischen Dokumentation der Software leicht zugänglich sein.

### Test 8: Parameteranalyse

Die Parameteranalyse dient dazu, die Auswirkungen der in der Simulation verwendeten Parameter darzustellen. Für den in Abbildung 5 gezeigten dreistöckigen Testgrundriss soll aufgezeigt werden, wie sich die Gesamtentfluchtungsdauer verändert, wenn einzelne Personenparameter variiert werden. Dies ist für jeden einzelnen Parameter zu wiederholen, wobei die restlichen Parameter auf feste Standardwerte eingestellt werden. Der untersuchte Parameter soll dabei jeweils einmal für alle Personen gleich sein (z.B. Geschwindigkeit aller Personen: 0,5 m/s, 0,75 m/s, 1,0 m/s,...) und einmal statistisch gleich verteilt um einen festen Mittelwert variiert werden (z.B. Geschwindigkeit: 0,75 m/s, 0,5-1,0 m/s, 0,25-1,25 m/s,...).

Die Ergebnisse sind schriftlich in Graphen festzuhalten und werden auf der RiMEA-Homepage für jeden frei zugänglich abgelegt.

Im 2. Stock gibt es keine Treppe nach oben mehr. Er unterscheidet sich hierin vom 1. Stock.

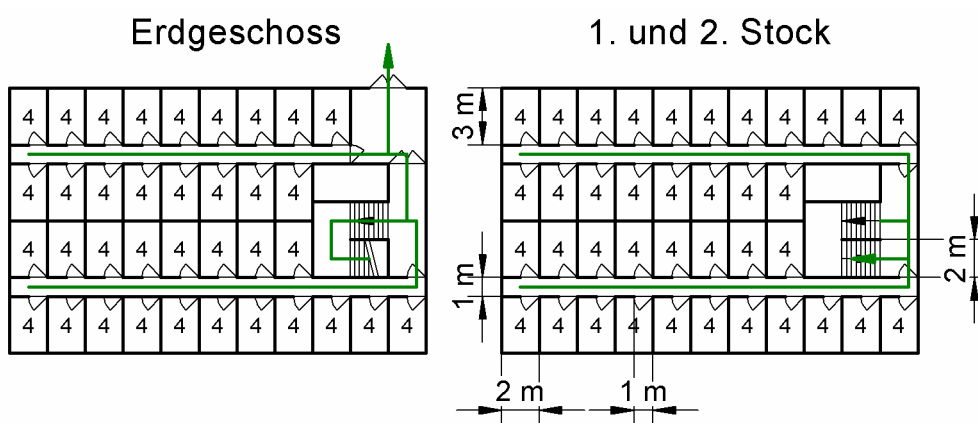


Abbildung 5: Der Testgrundriss für die systematische Analyse der Personenparameter. In jedem „Zimmer“ sollen sich vier Personen befinden. Breite eines Türflügels: 1 m.

### A 4 Qualitative Verifizierung

Die dritte Form der Modellvalidierung betrifft die Übereinstimmung des vorhergesagten menschlichen Verhaltens mit sachkundigen Erwartungen. Obwohl dies nur eine qualitative Form der Verifizierung darstellt, ist sie nichtsdestoweniger wichtig, da sie zeigt, dass die in dem Modell eingebauten Verhaltensweisen in der Lage sind, realistisches Verhalten zu erzeugen.

**Test 9: Eine Menschenmenge verlässt einen großen öffentlichen Raum**

Ein öffentlicher Raum mit vier Ausgängen und 1.000 gleichförmig in dem Raum verteilten Personen (vgl. Abbildung 6). Wähle eine Population von erwachsenen Personen aus Tabelle 1 mit sofortiger Reaktion und verteile die Gehgeschwindigkeiten auf eine Population von 1.000 Personen.

**Schritt 1:** Zeichne die Zeit auf, zu der die letzte Person den Raum verlässt.

**Schritt 2:** Tür 1 und Tür 2 werden versperrt und Schritt 1 wird wiederholt.

Das erwartete Ergebnis ist eine ungefähre Verdopplung der Zeit zum Verlassen des Raums.<sup>7</sup>

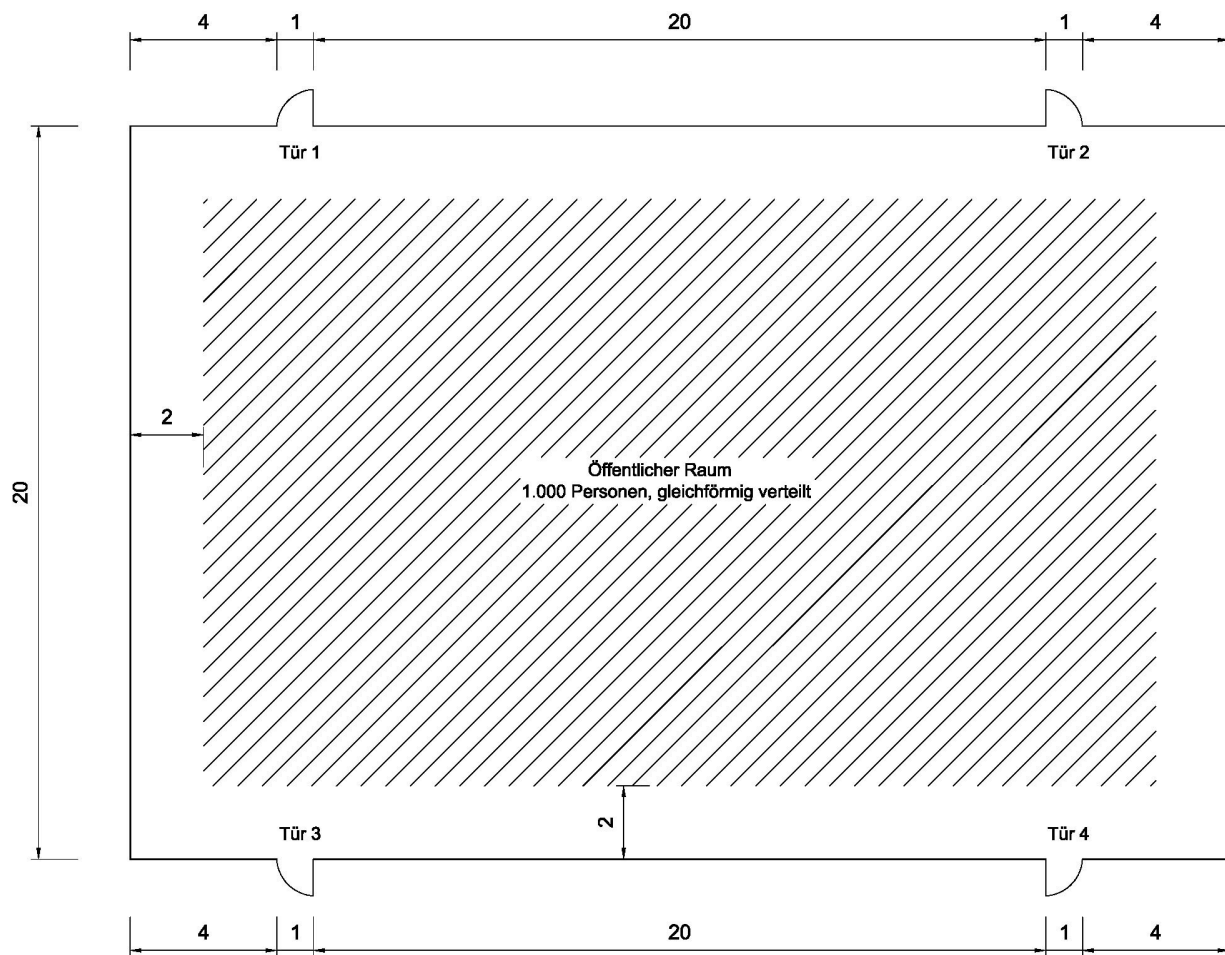


Abbildung 6: Verlassen eines großen öffentlichen Raumes (Einheit: m).

<sup>7</sup> Sollte die Dichte zu jedem Zeitpunkt den Fluss beeinflussen, ist die Annahme, dass beim Schließen zweier Türen eine Verdopplung der Dauer zu erwarten ist, gegebenenfalls zu pessimistisch, da der größere Wartepulk vor den Ausgängen unter Umständen zu höheren Dichten und damit zu einem veränderten (erhöhten) Fluss führen könnte. Solange in dieser Frage keine Entscheidung auf empirischer Basis getroffen werden kann, sollte Test 9 nicht im Sinne eines Ausschlusskriteriums behandelt werden, sondern lediglich Modellverhalten dokumentieren.

**Test 10: Zuweisung von Rettungswegen**

Konstruiere die Sektion eines Ganges wie in Abbildung 7 mit einer Population von erwachsenen Personen aus Tabelle 1 mit sofortiger Reaktion und verteile die Gehgeschwindigkeiten auf eine Population von 23 Personen. Die Personen in den Räumen 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 und 10 sind dem Hauptaussgang zugewiesen, alle übrigen Personen dem sekundären Ausgang. Das erwartete Ergebnis ist, dass alle zugewiesenen Personen zu den entsprechenden Ausgängen gehen.

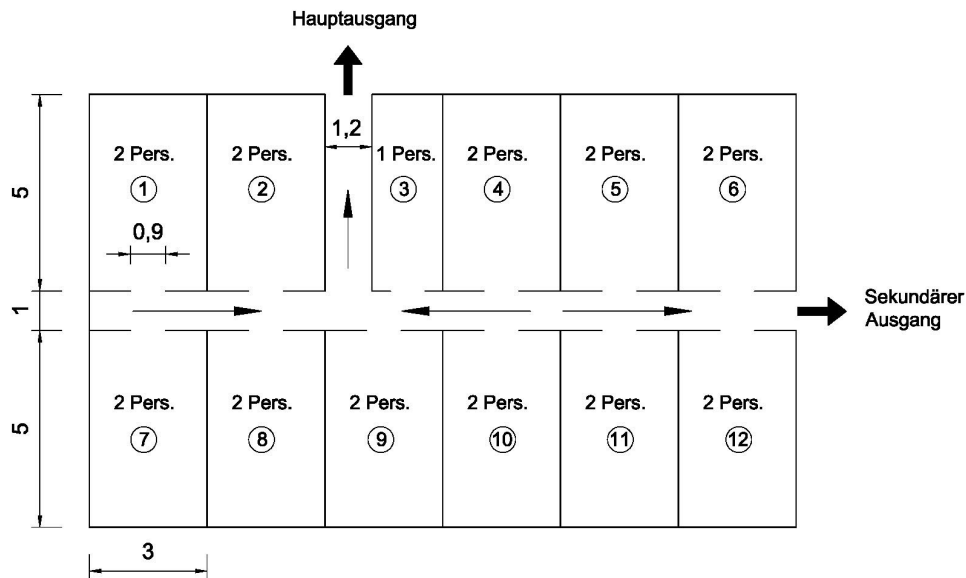


Abbildung 7: Gang mit angrenzenden Räumen (Einheit: m).

**Test 11: Wahl des Rettungsweges**

Ein öffentlicher Raum verfügt über 2 Ausgänge: Ausgang 1 und Ausgang 2 (vgl. Abbildung 8). Wähle eine Population von erwachsenen Personen aus Tabelle 1 mit sofortiger Reaktion und verteile die Gehgeschwindigkeiten auf eine Population von 1.000 Personen. Der Raum soll von links her mit der maximal möglichen Dichte besetzt werden. Das erwartete Ergebnis ist, dass die Personen den näheren Ausgang 1 zwar bevorzugen und in diesem Bereich Stauungen auftreten, jedoch einzelne Personen auch den alternativen Ausgang 2 benutzen.

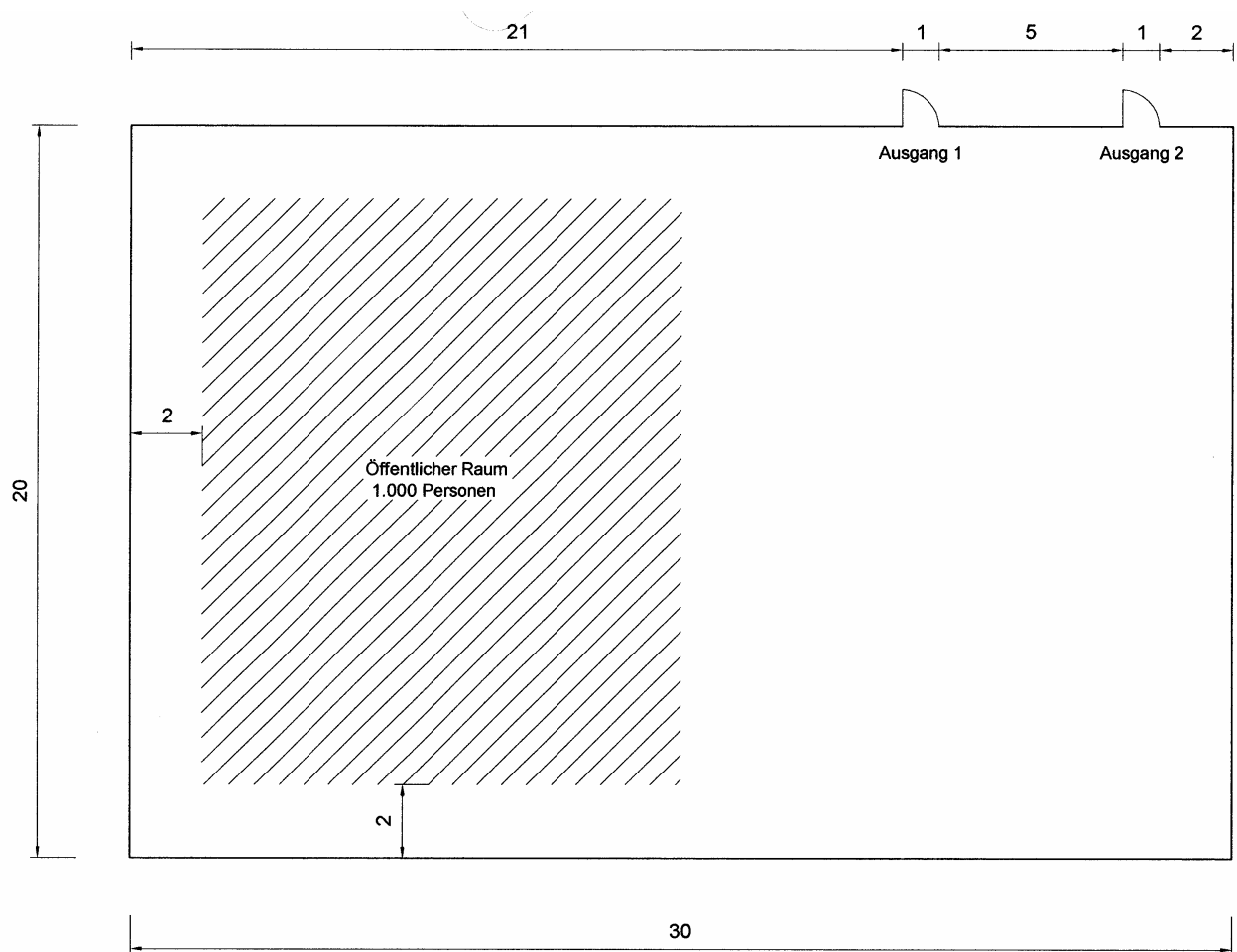


Abbildung 8: Verlassen eines Raumes über zwei Ausgänge (Einheit: m).

### Test 12: Auswirkung von Engstellen

Konstruiere einen Raum, der durch einen Gang mit einem weiteren Raum verbunden ist (vgl. Abbildung 9) und fülle ihn wie gezeigt mit einer Population von 150 erwachsenen Personen (Gehgeschwindigkeit gemäß Tabelle 1). Die Reaktionsdauer betrage 0 s.

Da der Personenstrom durch den Gang begrenzt wird, darf es nur in Raum 1 zu einem Stau kommen und in Raum 2 nicht.

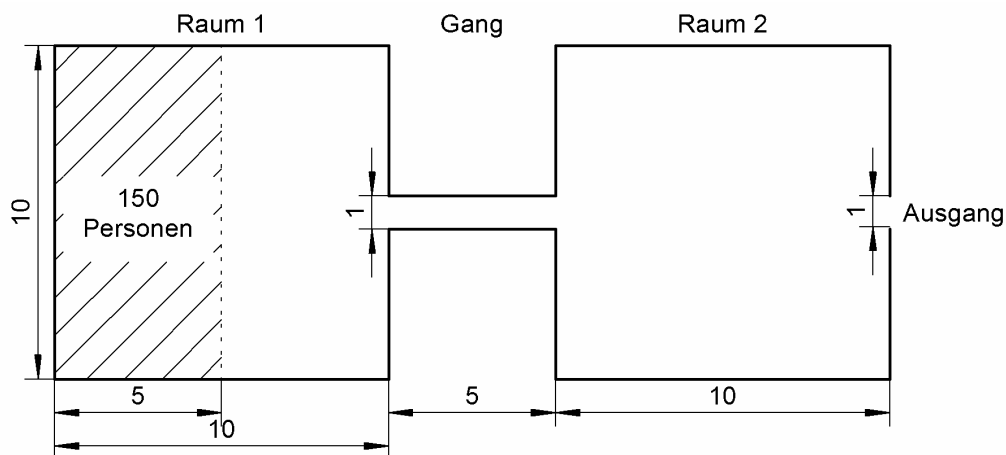


Abbildung 9: Die Auswirkung der Engstelle führt zu einer Staubildung vor dem Gang wodurch ein Stau vor dem Ausgang vermieden wird.

Solange in der Frage, ob am Eingang zu Raum 2 nicht doch ein Stau entstehen kann, keine Entscheidung auf empirischer Basis getroffen werden kann, sollte Test 12 nicht im Sinne eines Ausschlusskriteriums behandelt werden, sondern lediglich Modellverhalten dokumentieren.

### Test 13: Stau vor einer Treppe

Konstruiere einen Raum, der durch einen Gang mit einer Treppe verbunden ist (vgl. Abbildung 10) besetzt wie gezeigt mit einer Population von erwachsenen Personen aus Tabelle 1 mit sofortiger Reaktion und verteile die Gehgeschwindigkeiten auf eine Population von 150 Personen.

Das erwartete Ergebnis ist, dass ein Stau am Ausgang des Raumes auftritt, der einen stetigen Fluss im Gang erzeugt. Zusätzlich wird ein Stau am Fuß der Treppe erwartet, der mit der Zeit wachsen sollte, da der Fluss über die Treppe kleiner ist, als der durch den Gang.

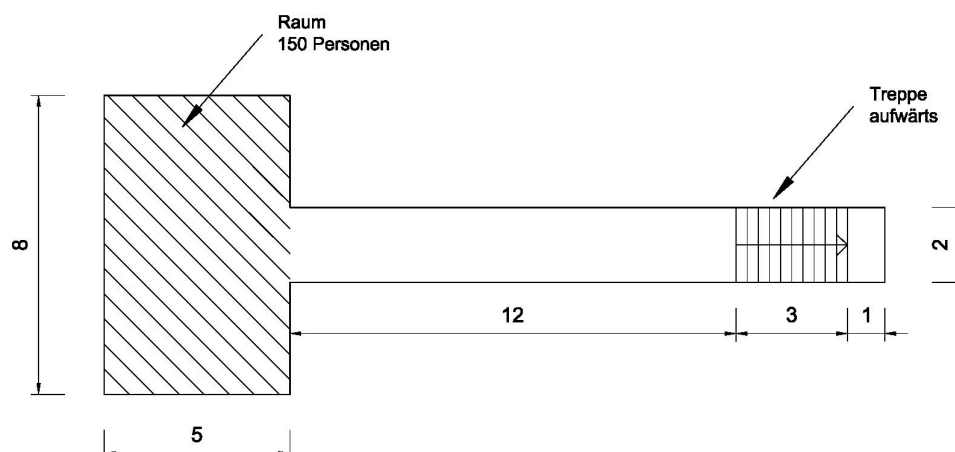


Abbildung 10: Rettungsweg über Treppe (Einheit: m).



**Test 14: Routenwahl**

Startbereich (in der nachfolgenden Abbildung rot markiert) und Zielbereich (grün), sind durch zwei Treppen und einen Gang im Erdgeschoss und durch einen (längeren) Gang im Obergeschoss miteinander verbunden.

Nehmen die Fußgänger eine kürzere Route über ein anderes Stockwerk oder bleiben sie auf der längeren Route auf einem Stockwerk? (Dokumentiere: „kurz“, „lang“, „gemischt“, oder „konfigurierbar“).

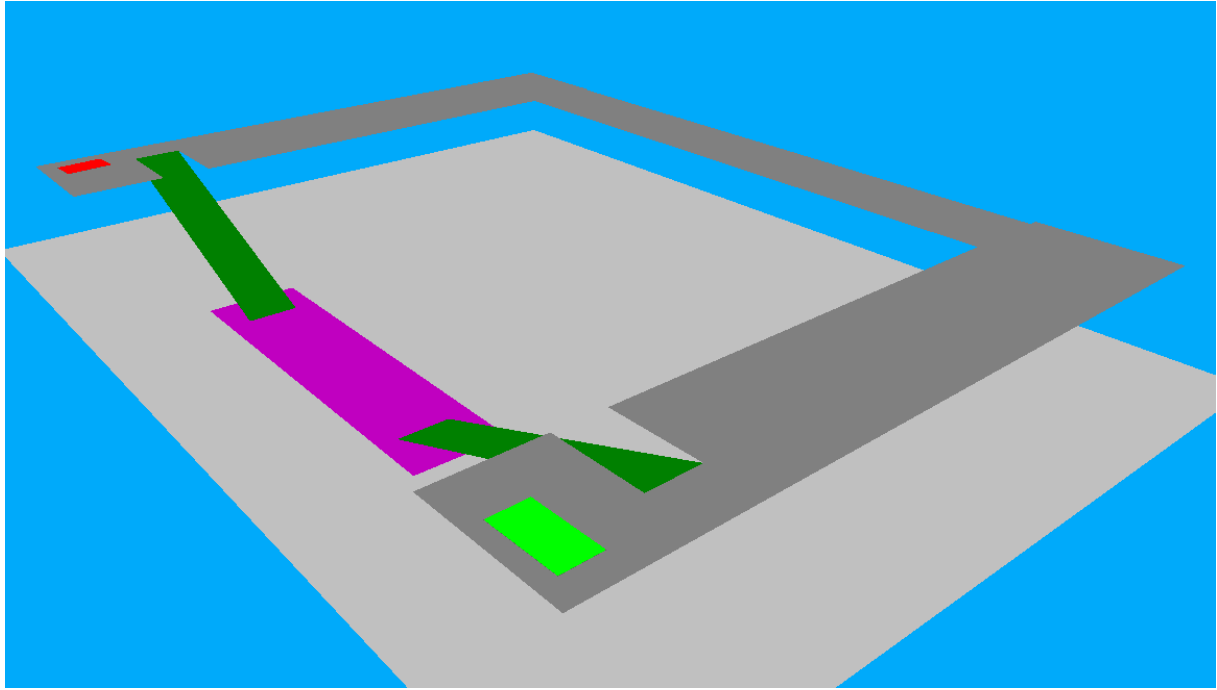


Abbildung 11: Konfiguration für Test 14.

**A 5 Quantitative Verifizierung**

Quantitative Verifizierung beinhaltet den Vergleich von Modellvorhersagen mit zuverlässigen Daten aus Evakuierungsübungen. Zum jetzigen Entwicklungszeitpunkt sind nicht genügend zuverlässige experimentelle Daten vorhanden, um eine gründliche quantitative Verifizierung von Entfluchtungsmodellen zu erlauben. Solange bis solche Daten verfügbar werden, werden die ersten drei Komponenten des Verifizierungsprozesses als ausreichend betrachtet.

**Anhang 3: Verteilung der individuellen Reaktionsdauern**

Die Verteilung der individuellen Reaktionsdauern erfolgt in leicht abgewandelter Form entsprechend der Untersuchungen von Purser [5]. Die Reaktionsdauern sind zwischen einem Minimum- und einem Maximumwert gleich- oder normalverteilt und hängen von der Personencharakteristik, der Art des Alarmierungssystems, der Gebäudekomplexität und der Art des Brandschutzmanagements ab.

Kategorie	Wachsamkeit	Vertrautheit	Dichte	Nutzungsart
A	wach	vertraut	niedrig	Büro, Industrie
B	wach	unvertraut	hoch	Handel, Gaststätten, Versammlungsstätten
C(a)	schlafend	vertraut	niedrig	Wohnungen
C(b)	betreut	betreut	niedrig	Wohnungen
C(c)	schlafend	unvertraut	niedrig	Hotels, Herbergen
D	med. betreut	unvertraut	niedrig	med. Betreuung
E	Transport	unvertraut	hoch	Verkehrsanlagen

Tabelle 5: Kategorisierung nach Gebäudeart und der daraus folgenden Personencharakteristik.

Kategorie	Alarmierungssystem
A1	Automatisches Brandmeldesystem mit sofortiger Alarmierung der betroffenen Bereiche.
A2	Zweistufiges automatisches Brandmeldesystem mit sofortiger Alarmierung einer Zentrale und nachgeschalteter zeitverzögerter Alarmierung der betroffenen Bereiche.
A3	Keine oder nur lokale automatische Brandmeldung.

Tabelle 6: Kategorisierung der Alarmierungssysteme.

Kategorie	Gebäudekomplexität
B1	Einfacher, offener Grundriss, eingeschossig, Ausgänge direkt sichtbar und nach außen führend.
B2	Einfacher Grundriss, mehrere Räume und mehrgeschossig. Bauweise entspricht überwiegend präskriptiven Vorgaben.
B3	Großer, komplexer Grundriss.

Tabelle 7: Kategorisierung der Gebäudekomplexität.

Kategorie	Brandschutzmanagement
M1	Grosse Zahl gut geschulter Brandschutzhelfer. Sicherheitssystem und -verfahrensweisen unabhängig geprüft.
M2	Gut geschulte Brandschutzhelfer. Sicherheitssystem nicht geprüft.
M3	Mindeststandards werden erfüllt.

Tabelle 8: Kategorisierung des Brandschutzmanagements.

Entsprechend der oben aufgeführten Kategorisierungen, lassen sich folgende Minimum- und Maximumwerte für die Verteilung der individuellen Reaktionsdauern ableiten.

Szenario	$t_{\text{Reakt, min}}$ /min	$t_{\text{Reakt, max}}$ /min
<b>Kategorie A: wach, vertraut, geringe Dichte</b>		
M1 B1 – B2 A1 – A2	0,5	1
M2 B1 – B2 A1 – A2	1	2
M3 B1 – B2 A1 – A3	10	20
B3: addiere 0,5 min zu $t_{\text{Reakt, min}}$ wegen schwierigerer Orientierung		
<b>Kategorie B: wach, unvertraut, hohe Dichten</b>		
M1 B1 A1 – A2	0,5	2
M2 B1 A1 – A2	1	3
M3 B1 A1 – A3	10	20
B2: addiere 0,5 min zu $t_{\text{Reakt, min}}$ wegen schwierigerer Orientierung		
B3: addiere 1 min zu $t_{\text{Reakt, min}}$ wegen schwierigerer Orientierung		
<b>Kategorie C(a): schlafend, vertraut, geringe Dichten</b>		
M2 B1 A1	5	10
M3 B1 A3	10	>20
<b>Kategorie C(b): betreute Wohnanlagen, geringe Dichten</b>		
M1 B2 A1 – A2	10	20
M2 B2 A1 – A2	15	25
M3 B2 A1 – A3	15	25
<b>Kategorie C(c): schlafend, unvertraut, geringe Dichten</b>		
M1 B2 A1 – A2	15	20
M2 B2 A1 – A2	20	25
M3 B2 A1 – A3	20	25
B3: addiere 1 min zu $t_{\text{Reakt, min}}$ wegen schwierigerer Orientierung		

Tabelle 9: Die Minimum- und Maximumwerte der individuellen Reaktionsdauerverteilungen ergeben sich aus den zuvor genannten Kategorisierungen.

#### Anhang 4: Literaturverzeichnis

- [1] ARGEBAU: Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Muster-Versammlungsstättenverordnung – MVStättV). ARGEBAU – Fachkommission Bauaufsicht, Fassung Juni 2005.
- [2] Weidmann U., *Transporttechnik der Fußgänger*, Schriftenreihe des Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau Nr. 90, S.35-46, Zürich, Januar 1992.
- [3] J. Fruin, *Pedestrian planning and design*, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, New York, 1971.
- [4] EN 13200-1:2003, Zuschaueranlagen, Teil 1: Kriterien für die räumliche Anordnung von Zuschauerplätzen - Anforderungen , Europäisches Komitee für Normung (CEN), Dezember 2003.
- [5] David A. Purser, *Behaviour and Travel Interactions in Emergency Situations and Data Needs for Engineering Design*, Proceedings of the 2nd International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics 2003, Greenwich, U.K., S. 355 – 369
- [6] Braun Brandsicherheit, *Fluchtwege bei Verkaufsgeschäften und Räumen mit großer Personenbelegung - Analyse und Bemessungsvorschlag*, 5. Februar 1999, Erarbeitet im Rahmen einer Arbeitsgruppe der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF), Bern.
- [7] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2<sup>nd</sup> edition NFPA 1995.

**Anhang 5: RiMEA-Mitglieder**

Albrecht-Tiedemann, Thomas	A&PE, Albrecht & Partner Engineering GmbH, Unna
Anderwald, Peter	Ingenieurbüro Peter Anderwald, Villach-M. Gail
Bernhard, Willi, Prof. Dr.	Swiss Simulation Engineering, MuttENZ
Bitzer, Florian	Institut für Strassen und Verkehrswesen, Universität Stuttgart
Botschek, Katharina	ILF – Beratende Ingenieure, Linz
Braun, Matthias A.	Braun Brandsicherheit AG, Winterthur
Braun, Martin	Bechtold Ingenieurgesellschaft mbH
Brunner, Ulrich	Aargauisches Versicherungsamt, Abt. Brandschutz, Aargau
Buchser, Markus	Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern
Demirel, Cemalettin	Brandschutz Planung Klingsch GmbH, Düsseldorf
Füglister, Erich	Amstein + Walthert AG, Zürich
Gerber, Peter, Dr.	Emch+Berger AG, Bern
Gubler, Daniel, Dr.	AFC Air Flow Consulting AG, Zürich
Gundlach, Norbert	Ingenieur- und Sachverständigenbüro Gundlach, Marburg
Hagenah, Bernd, Dr.	HBI Haerter AG, Bern
Hegger, Thomas	Fachverband Lichtkuppel, Lichtband und RWA e.V., Detmold
Hellesoy, Aasmund	FjordConsult AS, Rosendal
Jäger, Gregor	FH Köln, Rettungsingenieurwesen
Kirchberger, Hubert	TU Wien, Institut f. Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Wien
Koch, Andreas	Verband der Brandschutzbeauftragten Deutschland e.V., Renningen
Kohl, Bernhard	ILF – Beratende Ingenieure, Linz
Könnecke, Rainer, Dr.	I.S.T. Integrierte Sicherheits-Technik GmbH, Frankfurt
Kraft, Markus	Ingenieurgesellschaft Spitthöver GmbH, Essen
Kretz, Tobias, Dr.	PTV AG, Karlsruhe
Larisch, Michael	AZS GmbH & Co. KG, Ahlen
Lavrov, Alexander, Dr.	Frauenhofer ITWM, Kaiserslautern
Lebeda, Christian	TU Wien, Institut f. Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Wien
Mamrot, Detlef, Dr.	Sachverständigenbüro Dr. Mamrot, Wuppertal
Menzel, Andreas	TÜV Nord Ensys Hannover GmbH & Co. KG, Hannover
Müllli, Lars	Gruner AG, Basel
Neumann, Christof	ILF – Beratende Ingenieure, Linz
Noack, Jochen	Ing.-Büro Schöppler+Noack, Nürnberg
Öhlhorn, Michael	Vabeg Eventsafety
Oswald, Monika	TU Wien, Institut f. Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Wien
Otto, Manuela	Brandschutz Consult Leipzig, Leipzig
Rettner, Rebecca	Brandschutz Planung Klingsch GmbH, Düsseldorf

Rindsfuser, Guido	Emch+Berger AG, Bern
Ringwald, Michael	BfB – Ringwald, Gäufelden
Rogsch, Christian	Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Baustofftechnologie und Brandschutz
Rosemann, Monika	Brandschutz Consult Leipzig, Leipzig
Ruhrhofer, Manfred	FSE Ruhrhofer & Schweitzer OEG, St. Pölten
Rupprecht, Tobias	Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Baustofftechnologie und Brandschutz
Rusch, Hardy	VdS Schadenverhütung GmbH, Köln
Schechtner, Katja	Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal GmbH, Wien
Schmid, Alex	Savannah Simulations, Herrliberg
Schomberg, Hellmuth	Büro für Brandschutz, Wuppertal
Schneider, Torsten	Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern
Sellie, Gérald	Securetude, Genf
Seyfried, Armin, Dr.	Zentralinstitut für angewandte Mathematik, Jülich
Spalek, Christopher	IBfST - Ingenieurbüro für Sicherheitstechnik, Dresden
Spennes, Georg	bft COGNOS GmbH, Aachen
Strupp, Marcus	Ingenieurbüro für Brandschutz Wuppertal GmbH, Wuppertal
Thoss, Andreas	Branddirektion Frankfurt am Main
Thumser, Stefan	OÖ Brandverhütungsstelle, Linz
Tilly, Rolf	hhpberlin Ingenieurgesellschaft für Brandschutz mbH, Berlin
Veenker, Klaus	Hagen Ingenieurgesellschaft für Brandschutz mbH, Kleve
Weber, Hermann	Bechtold Ingenieurgesellschaft mbH
Winkens, Andreas	Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Baustofftechnologie und Brandschutz
Zahn, Axel	SV-Zahn, Mönchengladbach
Zoratti, Michael	SecureLINE Sicherheitsges.mbH, Wien

## **Anhang 6: RiMEA-Initiatoren**

Meyer-König, Tim	TraffGo HT GmbH, Duisburg
Moroge, Christian	Schweizerischer Fußballverband, Bern
Schreckenberger, Michael	Universität Duisburg-Essen, Duisburg
Schwendimann, Martin	Bundesamt für Sport, Magglingen
Waldau, Nathalie	Ingenieurbüro WALDAU, Wien

**Anhang 7: RiMEA-Beiträge**

<b>Beitragsrunde</b>	<b>Kapitel</b>	<b>Beitragende</b>
1	Richtlinienstruktur	U. Brunner H. Kirchberger, C. Lebeda, M. Oswald
2	1. Allgemeines 2. Ziele 3. Geltungsbereich 4. Begriffe	H. Kirchberger, C. Lebeda, M. Oswald Dr. R. Könnecke M. Kraft A. Thoss
3	5. Eigenschaften der Simulationsmodelle	H. Kirchberger, C. Lebeda, M. Oswald Dr. Rainer Könnecke L. Mülli Dr. A. Seyfried G. Spennes, C. Hartnack, S. Wader
4	6. Entfluchtungsanalyse	M. A. Braun H. Kirchberger, C. Lebeda, M. Oswald Dr. R. Könnecke M. Kraft Dr. A. Seyfried
5	7. Korrekturmaßnahmen 8. Dokumentation	Dr. A. Seyfried H. Kirchberger, C. Lebeda, M. Oswald G. Spennes, C. Hartnack, S. Wader
6	Anhang: Validierung von Simulationsprogrammen	Dr. A. Seyfried H. Kirchberger, C. Lebeda, M. Oswald Dr. R. Könnecke
7	6.3 Gesamtentfluchtungsdauer, insbesondere Punkt 7	Rolf Tilly Matthias A. Braun
8	Erfahrungen aus der Praxis	
9	Überarbeitung der Richtlinie nach dem 2. Workshop	Dr. Tobias Kretz Stefan Thumser