

## **Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen**

Version: 1.5.1

15. September 2004

## 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 Mai 2002). Teil 2, Abschnitt 2 der MVStättV behandelt die Führung und Bemessung von 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>ii</b>
<b>1 Allgemeines</b>	<b>5</b>
<b>2 Ziele</b>	<b>5</b>
<b>3 Geltungsbereich</b>	<b>5</b>
<b>4 Begriffe</b>	<b>6</b>
4.1 <i>Mikroskopische Entfluchtungsanalyse</i>	6
4.2 <i>Bauliche Anlagen</i>	6
4.3 <i>Versammlungsstätten</i>	6
4.4 <i>Entfluchtung</i>	6
4.5 <i>Flucht- und Rettungswege</i>	6
4.6 <i>Gesicherter Bereich</i>	6
4.7 <i>Personenbelegung</i>	6
4.8 <i>Dauern</i>	6
4.8.1 <i>Detektionsdauer <math>t_{\text{Detekt}}</math></i>	6
4.8.2 <i>Alarmierungsdauer <math>t_{\text{Alarm}}</math></i>	7
4.8.3 <i>Individuelle Reaktionsdauer <math>t_{i, \text{Reakt}}</math></i>	7
4.8.4 <i>Individuelle Laufdauer <math>t_{i, \text{Lauf}}</math></i>	7
4.8.5 <i>Individuelle Entfluchtungsdauer <math>t_{i, \text{Flucht}}</math></i>	7
4.8.6 <i>Gesamtentfluchtungsdauer <math>t_{\text{Flucht}}</math></i>	7
4.8.7 <i>Minimale Gesamtentfluchtungsdauer <math>t_{\text{Flucht}, \text{min}}</math></i>	7
4.8.8 <i>Maximale Gesamtentfluchtungsdauer <math>t_{\text{Flucht}, \text{max}}</math></i>	7
4.8.9 <i>Mittlere Gesamtentfluchtungsdauer <math>t_{\text{Flucht}, \text{mittel}}</math></i>	7
4.8.10 <i>Signifikante Entfluchtungsdauer <math>t_{\text{Flucht}, \text{signifikant}}</math></i>	7
<b>5 Eigenschaften der Simulationsmodelle</b>	<b>8</b>
5.1 <i>Kategorie GEOMETRIE</i>	8
5.2 <i>Kategorie POPULATION</i>	8
5.2.1 <i>Allgemeines</i>	8
5.2.2 <i>Zusammenstellung der Population</i>	9
5.2.3 <i>Reaktionsdauer</i>	9
5.2.4 <i>Ungehinderte Gehgeschwindigkeit in der Ebene</i>	10
5.2.5 <i>Ungehinderte Gehgeschwindigkeiten auf Treppen</i>	10
5.2.6 <i>Spezifischer-Fluss</i>	11
<b>6 Entfluchtungsanalyse</b>	<b>12</b>
6.1 <i>Beschreibung der einflussnehmenden Faktoren</i>	12
6.2 <i>Betrachtete Szenarien</i>	12
6.2.1 <i>Anfangsverteilung der Personen</i>	12
6.2.2 <i>Anordnung der Rettungswege - grundlegender Entfluchtungsfall</i>	12
6.2.3 <i>Flexibilität der Rettungswege -zusätzliche Entfluchtungsfälle</i>	12
6.2.4 <i>Berechnung der Maximalbelegungszahl</i>	12

---

6.3	<i>Berechnung der Entfluchtungsdauer</i>	12
6.4	<i>Identifizierung von Stauungen</i>	13
<b>7</b>	<b>Korrekturmaßnahmen</b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>Dokumentation</b>	<b>13</b>
<b>Anhang: Vorläufige Anleitung zur Validierung / Verifizierung von Simulationsprogrammen</b>		<b>15</b>
<b>1</b>	<b>Allgemein</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Überprüfung der Komponenten</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>Funktionale Verifizierung</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>Qualitative Verifizierung</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Quantitative Verifizierung</b>	<b>20</b>
<b>Liste der RiMEA-Mitglieder</b>		<b>21</b>

## 1 Allgemeines

Die simulationsgestützte Entfluchtungsanalyse dient zur Bestimmung der Entfluchtungsdauer 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 Gesamtentfluchtungsdauer bzw. die Entfluchtungsdauer 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 Geltungsbereich

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

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

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;

---

<sup>1</sup> entnommen aus der Muster-Versammlungsstättenverordnung MVStättV Fassung Mai 2002.

#### 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, Treppenträume, 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 $t_{Alarm}$

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

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

Die Dauer zwischen der Alarmierung und dem Beginn der Entfluchtung einer einzelnen Person wird als individuelle Reaktionsdauer  $t_{i, Reakt}$  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.

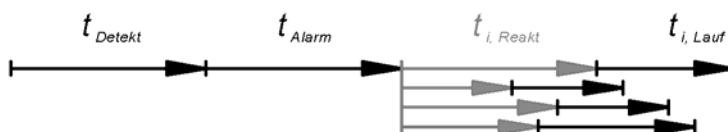
#### 4.8.4 Individuelle Laufdauer $t_{i, Lauf}$

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  $t_{i, Lauf}$  bezeichnet.

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### 4.8.10 Signifikante Entfluchtungsdauer $t_{Flucht, signifikant}$

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

#### 5.2.1 Allgemeines

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

1. Jede Person wird in der Simulation individuell repräsentiert.
2. Die grundlegenden Regeln für die Entscheidungen und Bewegungen sind für alle Personen gleich und werden durch einen dokumentierten, universellen Algorithmus beschrieben.
3. 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.
4. Die Bewegung jeder einzelnen Person wird aufgezeichnet.
5. Die Personenparameter variieren zwischen den Individuen einer Population.
6. Der Zeitunterschied zwischen den Aktionen zweier Personen in der Simulation soll nicht größer als eine Sekunde simulierter Dauer sein, d.h. alle Personen agieren innerhalb einer Sekunde. Die Aktualisierung aller Aktionen wird als Update bezeichnet. Ein paralleler Update wird empfohlen.
7. Bei der Berechnung wird den getroffenen Annahmen, Vereinfachungen und der begrenzten Anzahl und Art der Vergleichsszenarien durch eine Sicherheitsspanne Rechnung getragen. Durch diese Sicherheitsspanne werden folgende, für die Simulation angenommene Vereinfachung berücksichtigt:
  - a. Die Personen bewegen sich entlang der Flucht- und Rettungswege.
  - b. Die Auswirkungen externer Einflüsse wie z.B. Rauch, Hitze, giftige Stoffe oder die Statik eines Gebäudes werden nicht direkt berücksichtigt. Sie können allerdings implizit zur Festlegung der maximal zulässigen 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.

Beim Wegfall einer oder mehrere Vereinfachungen kann die Sicherheitsspanne in Absprache mit den zuständigen Behörden angepasst werden.



## 5.2.2 Zusammenstellung der 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. Die Zusammenstellung der Population variiert je nach Gebäudetyp (Kindergarten, Schule, Museum, Stadion, Theater, etc.). Sie ist für mehrere beispielhafte Gebäudetypen in Tabelle 1 dargestellt. Es wird erwartet, dass diese Daten durch genauere ersetzt werden, sobald solche verfügbar sind.

Personengruppe	Prozentsatz (%)			
	Kinder <sup>(1)</sup>	Erwachsene <sup>(2)</sup>	Gehbehinderte Personen <sup>(3)</sup>	Rollstuhlfahrer
Kindergarten	[90]	[10]	-	-
Schule	[60]	[35]	[3]	[2]
Universität	-	[95]	[3]	[2]
Messe/Museum	[20]	[70]	[7]	[3]
Stadion	[10]	[80]	[7]	[3]
Theater/Oper	[10]	[70]	[17]	[3]
Flughafen / Bahnhof	[20]	[70]	[7]	[3]
Bürogebäude	[0]	[90]	[7]	[3]

Tabelle 1: Zusammensetzung der Population

Alle mit der genannten Population zusammenhängenden, nachfolgend genannten Attribute werden anhand einer statistischen Gleichverteilung definiert. Sie wird mithilfe des durch den Minimal- und Maximalwert vorgegebenen Wertebereichs definiert.

Abweichungen der Zusammenstellung der Population aus Tabelle 1 sind nur in Abstimmung mit den zuständigen Behörden zulässig. Dies gilt auch für Nutzungen, die nicht in Tabelle 1 aufgeführt sind.

## 5.2.3 Reaktionsdauer

Um die Sensitivität des Entfluchtungskonzepts zu bestimmen sind mindestens drei Szenarien mit unterschiedlich gestreuten Reaktionsdauern zu untersuchen. Als Beispiel gilt:

- **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 von 0-300 Sekunden zugewiesen und reagieren somit innerhalb von fünf Minuten.

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.

(1) Kinder sind Personen von 3-16 Jahre.

(2) Erwachsene sind Personen von 17-80 Jahren ohne körperliche Einschränkungen.

(3) Gehbehinderte Personen sind Personen ohne Alterseinschränkung jedoch mit erheblicher körperlicher Einschränkung.

## 5.2.4 Ungehinderte Gehgeschwindigkeit in der Ebene

Die durchschnittlichen Gehgeschwindigkeiten für eine stadttypische Bevölkerung in Abhängigkeit vom Alter wurden von Weidmann<sup>2</sup> veröffentlicht. Sie sind gemäß Abbildung 1 verteilt und werden nach Tabelle 2 wiedergegeben.

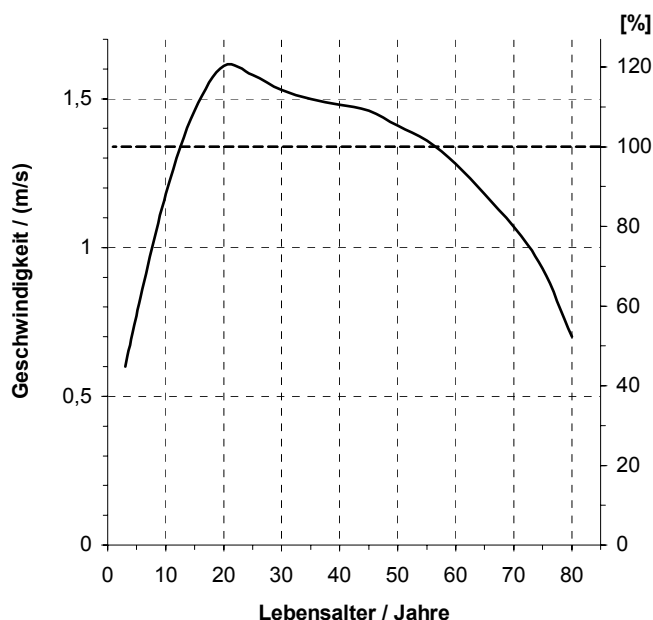


Abbildung 1: Gehgeschwindigkeit in der Ebene in Abhängigkeit vom Alter<sup>2</sup>

Personengruppe	Gehgeschwindigkeit in der Ebene	
	Minimum / (m/s)	Maximum (m/s)
Kinder ( 3 -16 Jahre)	0,60	1,50
Erwachsene ( 17 – 80 Jahre)	0,70	1,60
Eingeschränkt bewegliche Personen <sup>3</sup>	0,46	0,76
Rollstuhlfahrer	0,60	1,20

Tabelle 2: Gehgeschwindigkeiten in der Ebene<sup>2</sup>

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 solche von 1,27 m/s.

## 5.2.5 Ungehinderte Gehgeschwindigkeiten auf Treppen

J. Fruin<sup>4</sup> sammelte zahlreiche Daten zu Laufgeschwindigkeiten auf Treppen. Sie sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

<sup>2</sup> Weidmann U., Transporttechnik der Fußgänger, Schriftenreihe des Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau Nr. 90, S.35-46, Zürich, Januar 1992.

<sup>3</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	Gehgeschwindigkeit Treppe abwärts		Gehgeschwindigkeit Treppe aufwärts	
	Min. / (m/s)	Max. / (m/s)	Min. / (m/s)	Max. / (m/s)
Kinder ( 3 -16 Jahre)	0,56	1,26	0,47	0,84
Erwachsene ( 17 – 80 Jahre)	0,45	1,07	0,37	0,79
Eingeschränkt bewegliche Personen <sup>5</sup>	0,29	0,64	0,23	0,49
Rollstuhlfahrer	0,23	0,54	0,19	0,40

Tabelle 3: Gehgeschwindigkeiten auf Treppen<sup>4</sup>

Simulationsmodelle müssen die hier dargestellten Daten nicht exakt widerspiegeln können, sie sollten allerdings die generellen Tendenzen ausreichend genau berücksichtigen. Vereinfacht kann auch mit einer Halbierung der Horizontalkomponente der Gehgeschwindigkeit in beiden Richtungen gerechnet werden.

### 5.2.6 Spezifischer-Fluss

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/m<sup>2</sup>*) und sollte sich ähnlich der folgenden Formel berechnen:

$$\Phi_{s,\max} = \rho \cdot 1,34 \cdot \left( 1 - e^{-1,913 \left( \frac{1}{\rho} - \frac{1}{6,25} \right)} \right)^6$$

Der maximal mögliche spezifische Fluss darf an Ausgängen und Türen nicht größer als 1,3 P/ms sein<sup>7</sup>.

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

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

<sup>4</sup> J. Fruin, *Pedestrian planning and design*, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, New York, 1971.

<sup>5</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.

<sup>6</sup> Ulrich Weidmann; *Transporttechnik der Fußgänger*, Transporttechnische Eigenschaften des Fußgängerverkehrs; Literaturauswertung; Schriftenreihe des IVT Nr. 90; Januar 1992.

<sup>7</sup> Dieser Wert ist entnommen aus „land-based stairs, corridors and doors in civil buildings“, SFPE Fire Protection Engineering Handbook, 2nd edition NFPA 1995.

## **6 Entfluchtungsanalyse**

Die Entfluchtungsanalyse besteht aus folgenden Schritten:

### **6.1 Beschreibung der einflussnehmenden Faktoren**

1. Definition des Geometriemodells.
2. Definition der Populations-Zusammensetzung und Verteilung.
3. Beschreibung des Rettungswegekonzeptes.
4. Beschreibung des Alarmierungssystems.
5. Beschreibung organisatorischer Maßnahmen.
6. Benennung der Abschnittsbildung.
7. Benennung der sicheren Bereiche.

### **6.2 Betrachtete Szenarien**

#### **6.2.1 Anfangsverteilung der Personen**

Für den Zweck der Entfluchtungsanalyse soll jene Anfangsverteilung der Personen berücksichtigt werden, welche in den Einreichplänen oder sonstigen Dokumenten für das jeweilige Objekt oder Räumlichkeiten vorgesehen ist. Da diese jedoch stark von der Nutzungs- bzw. Veranstaltungsart abhängig sein kann, muss diese gegebenenfalls bei der zuständigen Behörde 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 Rettungswege - grundlegender Entfluchtungsfall**

Alle vorhandenen Rettungswege stehen für die Entfluchtung zur Verfügung. Die Personen bewegen sich entlang der Rettungswege und kennen den Weg ins Freie bzw. zum nächstgelegenen Brandabschnitt. 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 Rettungswege -zusätzliche Entfluchtungsfälle**

Nach Bedarf können zusätzliche einschlägige Szenarien berücksichtigt werden. Hierdurch können die Auswirkungen versperrter Rettungswege aufgezeichnet werden. Diese Szenarien müssen mit der zuständigen Behörde abgesprochen 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 Rettungswege benutzbar sind und eine unbedenkliche Entfluchtung garantiert werden kann.

Die Simulation wird mit schrittweise reduzierter Personenanzahl soweit fortgesetzt, bis eine Gesamtentfluchtungsdauer innerhalb der durch die zuständige Behörde tolerierten Entfluchtungsdauer erreicht ist und keine signifikanten Stauungen auftreten (siehe Abschnitt 6.4).

### **6.3 Berechnung der Entfluchtungsdauer**

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

2. Für jeden Simulationsdurchgang sollen die Anfangspositionen der Personen neu bestimmt werden.
3. Die Reaktionsdauern der Personen ist in Abschnitt 5.2.3 angegeben.
4. Für jedes Szenario soll eine angemessene Anzahl von Simulationsdurchläufen (mind. 10) ausgeführt werden. Das ergibt für jedes Szenario mindestens 10 Werte für die gesamte Entfluchtungsdauer.
5. Die Ergebnisse aller Simulationsdurchläufe sind anschaulich zu dokumentieren. Anzugeben sind die minimale, maximale und mittlere Entfluchtungsdauer sowie die Standardabweichung.
6. Die maximal zulässige Entfluchtungsdauer ist im Vorfeld mit den Behörden abzustimmen. Folgende Entfluchtungsauern werden empfohlen:
  - a. in Österreich/Schweiz:

Einzelräume:	3 Minuten
Versammlungsstätte:	5 Minuten
Stadien <sup>8</sup> :	8 Minuten

Tabelle 5: Empfohlene Entfluchtungsauern in Österreich und Schweiz

- b. in Deutschland<sup>9</sup>:

Tribünen im Innenraum	2 Minuten
Tribünen im Freien:	6 Minuten

Tabelle 6: Empfohlene Entfluchtungsauern in Deutschland

#### 6.4 Identifizierung von Stauungen

Im Rahmen der Entfluchtungsanalyse müssen auftretende Staus identifiziert, beschrieben und bewertet werden.

#### 7 Korrekturmaßnahmen

Falls für neue Gebäude die berechnete Dauer die zulässige Gesamtentfluchtungsdauer überschreitet, müssen Korrekturmaßnahmen vorgenommen werden, bis die vorgeschriebene Entfluchtungsdauer erzielt wird. Korrekturmaßnahmen können in einer Veränderung der Geometrie bestehen. Eine Veränderung der demographischen Parameter darf nicht erfolgen.

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

#### 8 Dokumentation

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

<sup>8</sup> entnommen aus der CEN TC 315 / Spectator facilities, Fassung Mai 2001.

<sup>9</sup> entnommen aus der Muster-Versammlungsstättenverordnung MVStättV Fassung Mai 2002.

1. 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.
2. Die Dokumentation der Entfluchtungsanalyse soll folgende Bestandteile enthalten:
  - a. die im Modell zur Beschreibung der Personenbewegung benutzten Variablen, z.B. Gehgeschwindigkeit;
  - b. den funktionalen Zusammenhang zwischen den Parametern und ihren Einfluss auf die Bewegung;
  - c. 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);
  - d. 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
  - e. 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.
3. Die Ergebnisse der Analyse sollen folgendermaßen dokumentiert werden:
  - a. die Details der Berechnungen,
  - b. die Gesamtentfluchtungsdauer und ihre Verteilung,
  - c. die festgestellten Bereiche mit Stauungen.

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

### **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.)

### **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.

#### **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.

#### **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.

#### **Test 4: Mittlerer Fluss durch einen Ausgang**

100 Personen in einem Raum der Größe 8 m x 5 m mit einem 1 m breiten Ausgang in der Mitte der 5 m langen Wand. Der mittlere Fluss durch den Ausgang während der gesamten Periode soll 1,3 Personen/Sekunde nicht überschreiten.

#### **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 2) werden diese erfolgreich umrunden, ohne Wände zu durchqueren.

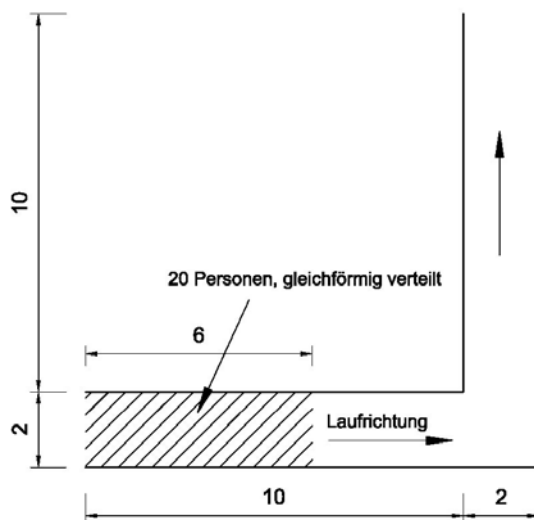


Abbildung 2: Quergang (Einheit: m)

### Test 7: Zuordnung der demographischen Parameter

Wähle gemäß Tabelle 2 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.

### 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.

### 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 8: Eine Menschenmenge verlässt einen großen öffentlichen Raum

Ein öffentlicher Raum mit vier Ausgängen und 1.000 gleichförmig in dem Raum verteilten Personen (vgl. Abbildung 3). Wähle eine Population von erwachsenen Personen aus Tabelle 2 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.

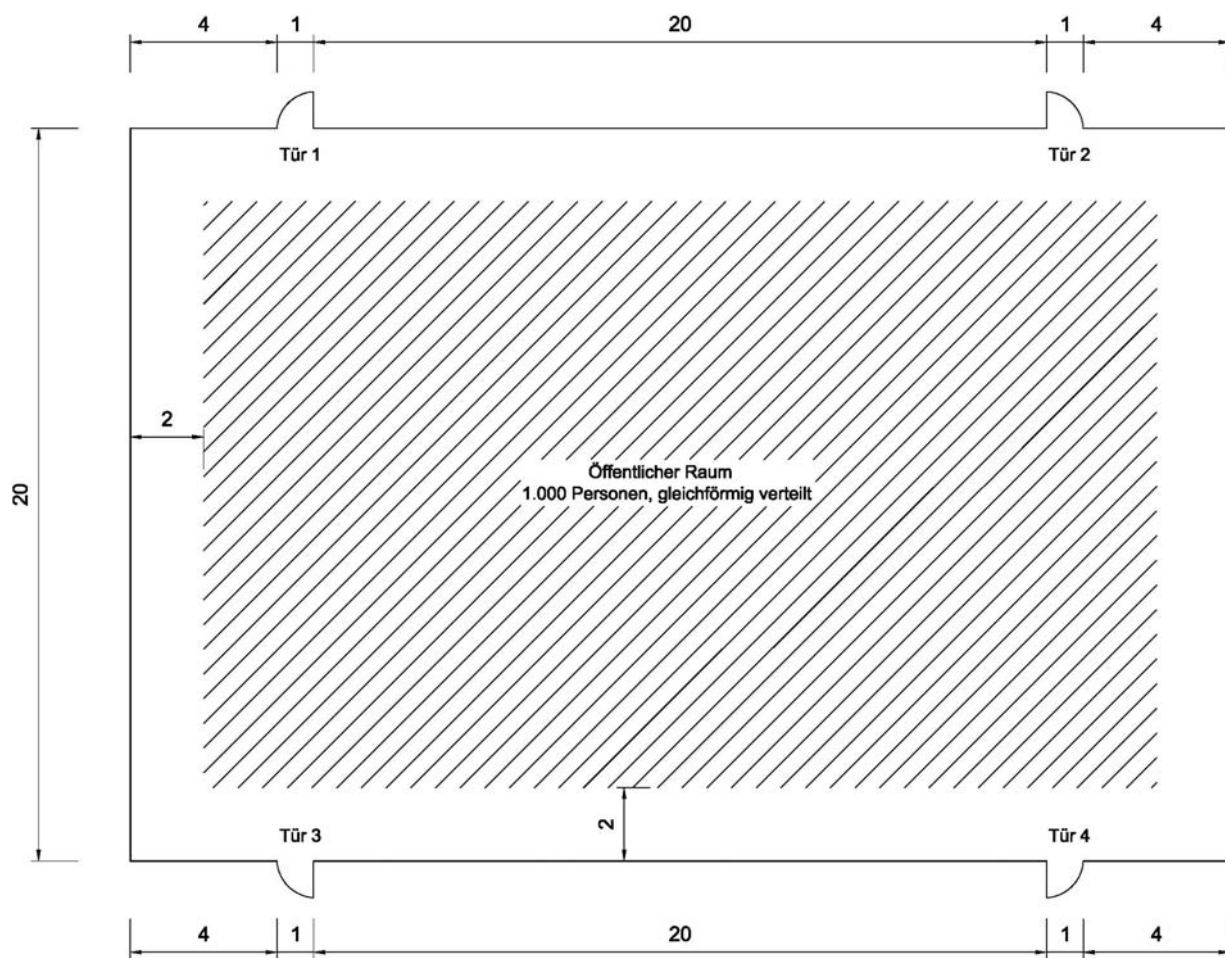


Abbildung 3: Verlassen eines großen öffentlichen Raumes (Einheit: m)

### Test 9: Zuweisung von Rettungswegen

Konstruiere die Sektion eines Ganges wie in Abbildung 4 mit einer Population von erwachsenen Personen aus Tabelle 2 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 Hauptausgang zugewiesen, alle übrigen Personen dem sekundären Ausgang. Das erwartete Ergebnis ist, dass alle zugewiesenen Personen zu den entsprechenden Ausgängen gehen.

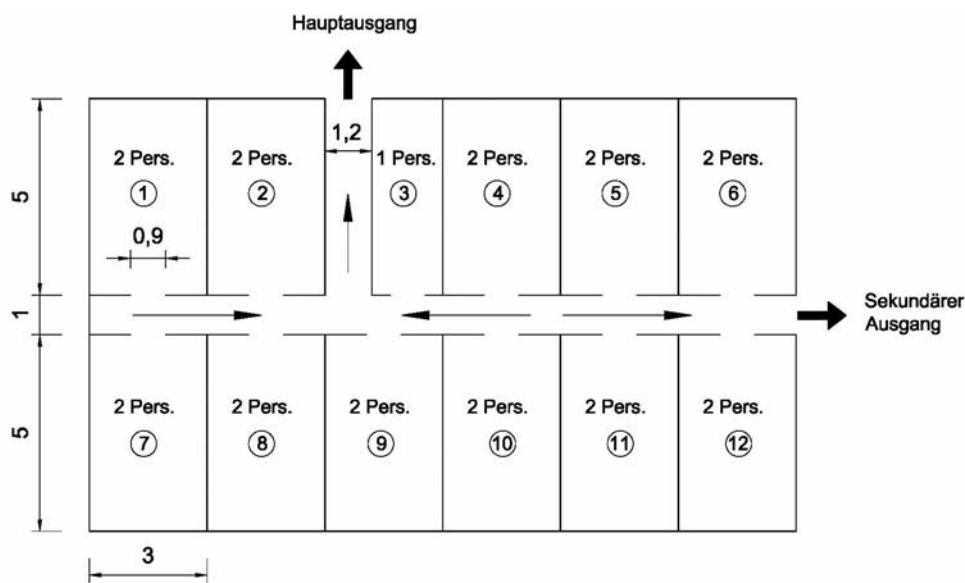


Abbildung 4: Gang mit angrenzenden Räumen (Einheit: m)

### Test 10: Wahl des Rettungsweges

Ein öffentlicher Raum verfügt über 2 Ausgänge: Ausgang 1 und Ausgang 2 (vgl. Abbildung 5). Wähle eine Population von erwachsenen Personen aus Tabelle 2 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.

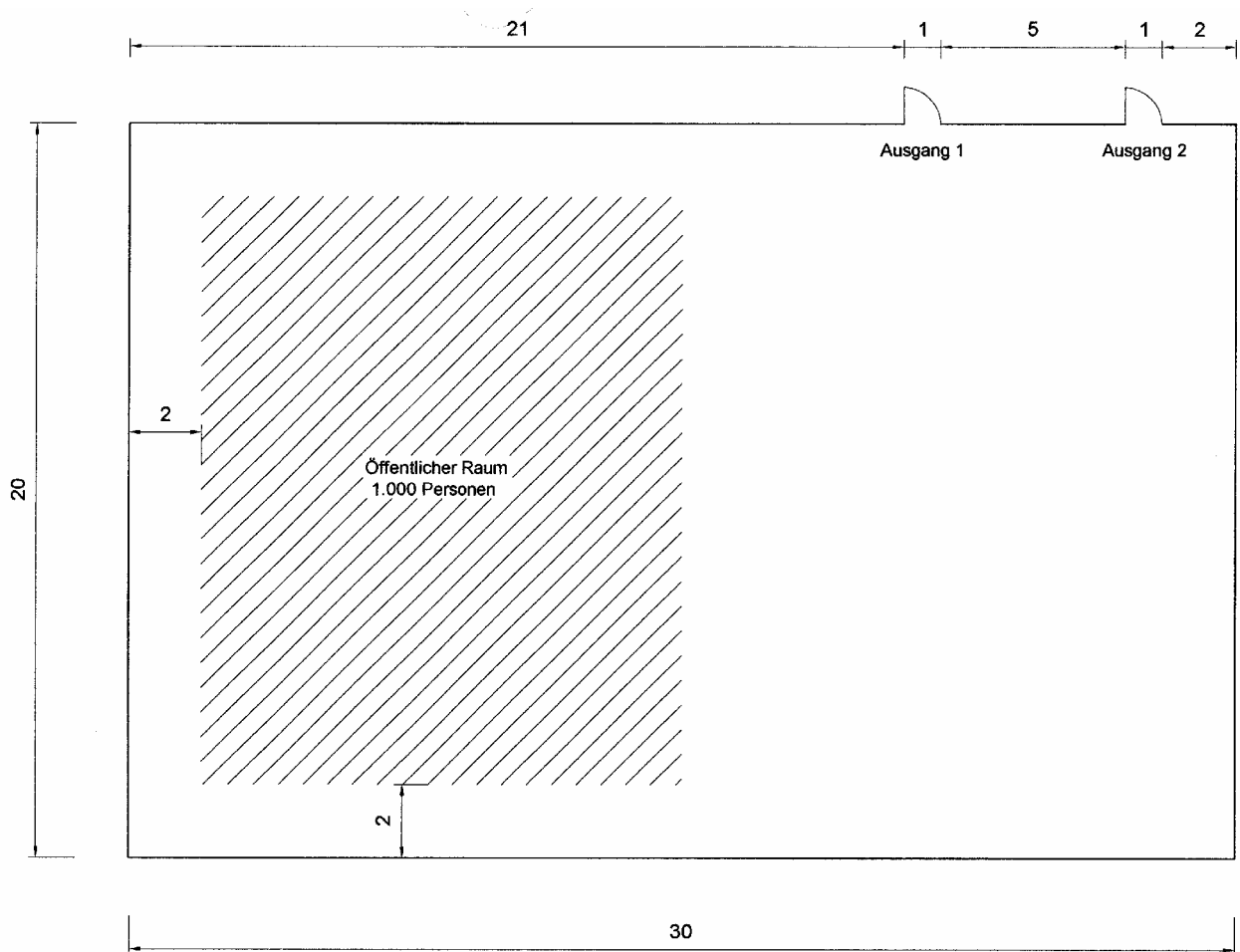


Abbildung 5: Verlassen eines Raumes über zwei Ausgänge (Einheit: m)

### Test 11: Stau vor einer Treppe

Konstruiere einen Raum, der durch einen Gang mit einer Treppe verbunden ist (vgl. Abbildung 6) besetzt wie gezeigt mit einer Population von erwachsenen Personen aus Tabelle 2 mit sofortiger Reaktion und verteile die Gehgeschwindigkeiten auf eine Population von 150 Personen. Das erwartete Ergebnis ist, dass Stauung am Ausgang des Raumes auftritt, die einen stetigen Fluss im Gang erzeugt und die Ausbildung von Stauung am Fuß der Treppe.

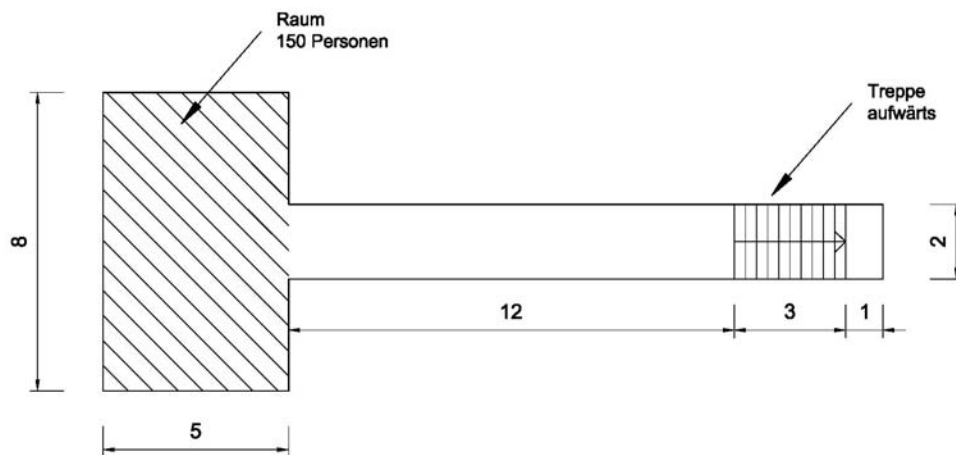


Abbildung 6: Rettungsweg über Treppe (Einheit: m)

## 5 Quantitative Verifizierung

Quantitative Verifizierung beinhaltet den Vergleich von Modellvorhersagen mit zuverlässigen Daten aus Entfluchtungsübungen. 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.

## Liste der RiMEA-Mitglieder

Anderwald, Peter	Ingenieurbüro Peter Anderwald, Villach-M. Gail
Bernhard, Willi	Swiss Simulation Engineering, Muttenz
Braun, Matthias A.	Braun Brandsicherheit AG, Winterthur
Brunner, Ulrich	Aargauisches Versicherungsamt, Abt. Brandschutz, Aargau
Buchser, Markus	Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern
Demirel, Cemalettin	Brandschutz Planung Klingsch GmbH, Düsseldorf
Gubler, Daniel, Dr.	AFC Air Flow Consulting AG, Zürich
Gundlach, Norbert	Ingenieur- und Sachverständigenbüro Gundlach, Marburg
Hegger, Thomas	Fachverband Lichtkuppel, Lichtband und RWA e.V., Detmold
Hellesoy, Aasmund	FjordConsult AS, Rosendal
Kirchberger, Hubert	TU Wien, Institut f. Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Wien
Koch, Andreas	Verband der Brandschutzbeauftragten Deutschland e.V., Renningen
Könnecke, Rainer, Dr.	I.S.T. Integrierte Sicherheits-Technik GmbH, Frankfurt
Kraft, Markus	Hagen - Ingenieure für Brandschutz, Kleve
Lavrov, Alexander, Dr.	Frauenhofer ITWM
Lebeda, Christian	TU Wien, Institut f. Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Wien
Müllli, Lars	Ernst Basler + Partner AG, Zollikon
Noack, Jochen	Ing.-Büro Schöppler+Noack
Oswald, Monika	TU Wien, Institut f. Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Wien
Rettner, Rebecca	Brandschutz Planung Klingsch GmbH, Düsseldorf
Ringwald, Michael	BfB – Ringwald, Gäufelden
Ruhrhofer, Manfred	FSE Ruhrhofer & Schweitzer OEG
Rusch, Hardy	VdS Schadenverhütung GmbH, Köln
Schechtner, Katja	Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal GmbH, Wien
Schmid, Alex	Savannah Simulations
Schomberg, Hellmuth	Büro für Brandschutz, Wuppertal
Schneider, Torsten	Frauenhofer ITWM
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
Albrecht-Tiedemann, Thomas	A&PE, Albrecht & Partner Engineering GmbH, Unna
Zahn, Axel	SV-Zahn, Mönchengladbach
Zoratti, Michael	SecureLINE Sicherheitsges.mbH, Wien