

# **Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen**

Version: 0.0.1

06. Februar 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, Räumungsberechnungen 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 nicht 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>5</b>
4.1 <i>Versammlungsstätten</i>	5
4.2 <i>Evakuierung</i>	5
4.3 <i>Räumung</i>	5
4.4 <i>Personenkapazität</i>	6
4.5 <i>Alarmierungsdauer</i>	6
4.6 <i>Individuelle Reaktionsdauer</i>	6
4.7 <i>Individuelle Laufdauer</i>	6
4.8 <i>Individuelle Räumungsdauer</i>	6
4.9 <i>Minimale Räumungsdauer</i>	6
4.10 <i>Maximale Räumungsdauer</i>	6
4.11 <i>Mittlere Räumungsdauer</i>	6
<b>5 Eigenschaften der Simulationsmodelle</b>	<b>6</b>
5.1 <i>Kategorie GEOMETRIE</i>	6
5.2 <i>Kategorie POPULATION</i>	6
5.2.1 <i>Allgemeines</i>	6
5.2.2 <i>Zusammenstellung der Population</i>	7
5.2.3 <i>Reaktionsdauer</i>	8
5.2.4 <i>Ungehinderte Gehgeschwindigkeit in der Ebene</i>	8
5.2.5 <i>Ungehinderte Gehgeschwindigkeiten auf Treppen</i>	9
5.2.6 <i>Ausgangs-Fluss</i>	9
<b>6 Räumungsanalyse</b>	<b>9</b>
6.1 <i>Beschreibung der einflussnehmenden Faktoren</i>	9
6.2 <i>Betrachtete Szenarien</i>	10
6.2.1 <i>Anfangsverteilung der Personen</i>	10
6.2.2 <i>Anordnung der Rettungswege - grundlegender Räumungsfall</i>	10
6.2.3 <i>Flexibilität der Rettungswege -zusätzliche Räumungsfälle</i>	10
6.2.4 <i>Berechnung der Maximalbelegungszahl</i>	10
6.3 <i>Berechnung der Räumungsdauer</i>	10
6.4 <i>Identifizierung von Stauungen</i>	11
<b>7 Korrekturmaßnahmen</b>	<b>11</b>
<b>8 Dokumentation</b>	<b>11</b>

<b>Anhang: Vorläufige Anleitung zur Validierung / Verifizierung von Simulationsprogrammen</b>	<b>13</b>
<b>1 Allgemein</b>	<b>13</b>
<b>2 Überprüfung der Komponenten</b>	<b>13</b>
<b>3 Funktionale Verifizierung</b>	<b>14</b>
<b>4 Qualitative Verifizierung</b>	<b>14</b>
<b>5 Quantitative Verifizierung</b>	<b>18</b>

## 1 Allgemeines

Die simulationsgestützte Räumungsanalyse dient zur Bestimmung der Räumungsdauer von Gebäuden und zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit von Rettungswegen, insbesondere der Lokalisierung von Bereichen in denen Stauungen entstehen. Sie basiert auf einer rechnergestützten Simulation in der jede Person individuell und der Grundriss detailliert abgebildet wird. Die Bewegung der Personen wird Anhand von Regeln vorgegeben und die Wechselwirkung zwischen den Personen und den räumlichen Gegebenheiten berücksichtigt.

## 2 Ziele

Ziel dieser Richtlinie ist es, die Methode der simulationsgestützten Räumungsanalyse für neue und bestehende Gebäude zu regeln und:

1. soweit möglich, Stauungen die während der Räumung aufgrund der normalen Bewegung von Personen entlang der Rettungswege auftreten zu erkennen;
2. zu zeigen, dass die Fluchtvorkehrungen ausreichend flexibel sind für den Fall, dass bestimmte Rettungswege oder Sammelplätze aufgrund eines Zwischenfalls nicht verfügbar sind;
3. die Gesamträumungsdauer statistisch zu erfassen und zu optimieren.

Die in dieser Richtlinie dargestellte Räumungsanalyse ist idealisiert und soll die Leistungsfähigkeit des Räumungskonzeptes eines Gebäudes messen.

## 3 Geltungsbereich

Diese Richtlinie gilt primär für alle öffentlich zugänglichen Gebäude bzw. Veranstaltungsstätten, die große Personenaufkommen aufweisen, 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;
4. Gebäude besonderer Art und Nutzung (Sonderbauten).

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

## 4 Begriffe

### 4.1 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.

### 4.2 Evakuierung

Die Evakuierung ist die organisierte Verlegung von Menschen und Tieren aus einem gefährdeten Gebiet mit Transport, Unterkunft und Versorgung in ein ungefährdetes Gebiet.

### 4.3 Räumung

Eine Räumung besteht dann, wenn nicht mehr genügend Zeit zur Vorbereitung und Durchführung einer Evakuierung zur Verfügung steht, die Gefahr nur kurzfristig wirksam sein kann und ein langandauernder Ortswechsel nicht erforderlich ist.

---

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

#### **4.4 Personenkapazität**

Die Personenkapazität ist die Anzahl der Personen im zu untersuchenden Gebäude, die für die Analyse der Rettungswege berücksichtigt wird.

#### **4.5 Alarmierungsdauer**

Die Alarmierungsdauer ist die Dauer zwischen eintretenden auslösenden Ereignis und der Alarmierung.

#### **4.6 Individuelle Reaktionsdauer**

Die individuelle Reaktionsdauer berücksichtigt die gesamte Dauer zwischen der Alarmierung und dem Beginn der Räumung einer einzelnen Person. Das schließt die Wahrnehmung von Hinweisen, das Erteilen und Aufnehmen von Anweisungen, individuelle Reaktionsdauern und die Durchführung aller anderen Tätigkeiten vor Beginn der Räumung ein.

#### **4.7 Individuelle Laufdauer**

Die individuelle Laufdauer ist die Dauer, die eine Person benötigt, um von ihrem Ausgangspunkt zu einem als sicher geltenden Bereich (Sammelplatz, anderer Brandabschnitt, Ausgang) zu gelangen.

#### **4.8 Individuelle Räumungsdauer**

Die individuelle Räumungsdauer ist die Summe der individuellen Reaktions- und Laufdauern.

#### **4.9 Minimale Räumungsdauer**

Die minimale Räumungsdauer ist das Minimum der individuellen Räumungsdauern aller Personen.

#### **4.10 Maximale Räumungsdauer**

Die maximale Räumungsdauer ist das Maximum der individuellen Räumungsdauern aller Personen.

#### **4.11 Mittlere Räumungsdauer**

Die mittlere Räumungsdauer ist der Mittelwert der individuellen Räumungsdauern aller Personen.

### **5 Eigenschaften der Simulationsmodelle**

Die in die Berechnung einflussenden Faktoren werden in zwei Kategorien eingeteilt: GEOMETRIE und POPULATION.

#### **5.1 Kategorie GEOMETRIE**

Diese Kategorie beschreibt die räumliche Anordnung und Geometrie des Gebäudes bzw. der 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 Leistungsfähigkeit jeder Person oder Personengruppe wird durch einen Satz von Personenparametern festgelegt. Einige dieser Parameter wirken sich stochastisch auf das Verhalten der Personen aus.

3. Die Bewegung jeder einzelnen Person wird aufgezeichnet.
4. Die Personenparameter variieren zwischen den Individuen einer Population.
5. Die grundlegenden Regeln für die Entscheidungen und Bewegungen sind für alle Personen gleich und werden durch einen dokumentierten, universellen Algorithmus beschrieben.
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 Rettungswege.
  - b. Die Auswirkungen von Rauch, Hitze und giftigen Stoffen, die durch einen Brand entstehen, werden nicht berücksichtigt.
  - c. Gruppenverhalten wird in der Analyse nicht berücksichtigt.

### 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.) und ist in Tabelle 5.1 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]
Krankenhaus	[10]	[30]	[50]	[10]

**Tabelle 5.1: Zusammensetzung der Population**

(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.

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

Abweichungen der Zusammenstellung der Population aus Tabelle 5.1 sind nur in Absprache mit den zuständigen Behörden zulässig.

### 5.2.3 Reaktionsdauer

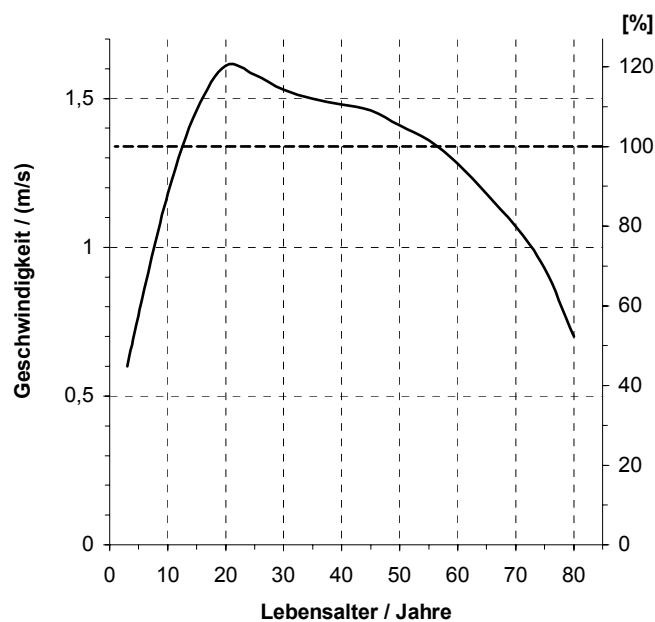
Grundsätzlich ist für die Räumungsanalyse eine Reaktionsdauer von 0 Sekunden zu wählen. Sie bewirkt durch die gleichzeitige Reaktion aller Personen ein hohes Personenaufkommen auf den Rettungswegen, was der höchstmöglichen Belastung der Rettungswege entspricht.

Es empfiehlt sich, die Sensitivität des Räumungskonzepts durch weitere Rechnungen mit variierten Reaktionsdauern zu untersuchen. Die Verteilung der Reaktionsdauern ist je nach Gebäudetyp in Abstimmung mit der zuständigen Behörde festzulegen.

### 5.2.4 Ungehinderte Gehgeschwindigkeit in der Ebene

Die durchschnittlichen Gehgeschwindigkeiten für eine stadtypische Bevölkerung in Abhängigkeit vom Alter wurden von Weidmann<sup>2</sup> veröffentlicht. Sie sind gemäß Abbildung 5.1 und verteilt und werden nach Tabelle 5.2 wiedergegeben.

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.



**Abbildung 5.1: Gehgeschwindigkeit in der Ebene in Abhängigkeit vom Alter**

<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.



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
Gehbehinderte Personen <sup>3</sup>	0,46	0,76
Rollstuhlfahrer		

**Tabelle 5.2: Gehgeschwindigkeit in der Ebene**

### 5.2.5 Ungehinderte Gehgeschwindigkeiten auf Treppen

Die mittleren Geschwindigkeiten auf Treppen betragen 0,72 m/s abwärts und 0,54 m/s aufwärts<sup>4</sup>.

Überschlägig kann mit einer Halbierung der Horizontalkomponente der Gehgeschwindigkeit in der Ebene gerechnet werden.

### 5.2.6 Ausgangs-Fluss

Der spezifische Fluss ist die Anzahl der flüchtenden Personen, die einen Punkt des Rettungsweges pro Meter lichter Breite und pro Sekunde passieren. Die Einheit ist *Personen/ms*.

Der spezifische Fluss soll für keinen der Ausgänge 1,3 P/ms überschreiten<sup>5</sup>.

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

**Tabelle 5.3: Spezifischer Fluss auf Treppen, in Gängen und Türen**

## 6 Räumungsanalyse

Die Räumungsanalyse 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. Benennung der Brandabschnitte.
5. Benennung der sicheren Bereiche.

<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.

<sup>4</sup> Die maximalen ungehinderten Laufgeschwindigkeiten auf Treppen sind abgeleitet von Daten, die von John J. Fruin, Pedestrian Planning and Design, Metropolitan Association of Urban Designers & Environmental Planners Inc., New York 1971 erhoben wurden. Die Studie umfasst zwei Treppenkonfigurationen.

<sup>5</sup> Dieser Wert ist entnommen aus „land-based stairs, corridors and doors in civil buildings“, SFPE Fire Protection Engineering Handbook, 2nd edition NFPA 1995.

## **6.2 Betrachtete Szenarien**

### **6.2.1 Anfangsverteilung der Personen**

Für den Zweck der Räumungsanalyse 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 Räumungsfall**

Alle vorhandenen Rettungswege stehen für die Räumung 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 Räumungseinrichtungen mit den Anforderungen der entsprechenden Gesetze und Verordnungen im Einklang stehen.

### **6.2.3 Flexibilität der Rettungswege -zusätzliche Räumungsfälle**

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 Räumung garantiert werden kann.

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

## **6.3 Berechnung der Räumungsdauer**

1. Sowohl die vom Modell vorhergesagte als auch die in der Realität gemessene Räumungsdauer sind zufallsbehaftete Größen. Das liegt in der statistischen Natur des Räumungsprozesses 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 Räumungsdauer.
5. Die Ergebnisse aller Simulationsdurchläufe sind anschaulich zu dokumentieren. Anzugeben sind die minimale, maximale und mittlere Räumungsdauer sowie die Standardabweichung.
6. Die maximal zulässige Räumungsdauer ist im Vorfeld mit den Behörden abzustimmen. Folgende Räumungsdauern werden empfohlen:

a. in Österreich/Schweiz:

Einzelräume:	3 Minuten
Versammlungsstätte:	5 Minuten
Stadien <sup>6</sup> :	8 Minuten

**Tabelle 5. 4: Empfohlene Räumungsdauern in Österreich und Schweiz**

b. in Deutschland<sup>7</sup>:

Tribünen im Innenraum	2 Minuten
Tribünen im Freien:	6 Minuten

**Tabelle 5. 5: Empfohlene Räumungsdauern in Deutschland**

#### 6.4 Identifizierung von Stauungen

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

#### 7 Korrekturmaßnahmen

Falls für neue Gebäude die berechnete Dauer die zulässige Gesamt-Räumungsdauer überschreitet, müssen Korrekturmaßnahmen vorgenommen werden, bis die vorgeschriebene Räumungsdauer 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 Gesamt-Räumungsdauer überschreitet, sollen die Räumungsabläufe 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:

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 Räumungsanalyse soll folgende Bestandteile enthalten:
3. die im Modell zur Beschreibung der Personenbewegung benutzten Variablen, z.B. Gehgeschwindigkeit;
4. den funktionalen Zusammenhang zwischen den Parametern und ihren Einfluss auf die Bewegung;
5. 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);
6. 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

<sup>6</sup> entnommen aus der CEN TC 315 / Spectator facilities, Fassung Mai 2001.

<sup>7</sup> entnommen aus der Muster-Versammlungsstättenverordnung MVStättV Fassung Mai 2002.

7. 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.
8. Die Ergebnisse der Analyse sollen folgendermaßen dokumentiert werden:
  - a. die Details der Berechnungen,
  - b. die Gesamt-Räumungsdauer 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 Räumungsmodelle 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 A1) werden diese erfolgreich umrunden, ohne Wände zu durchqueren.

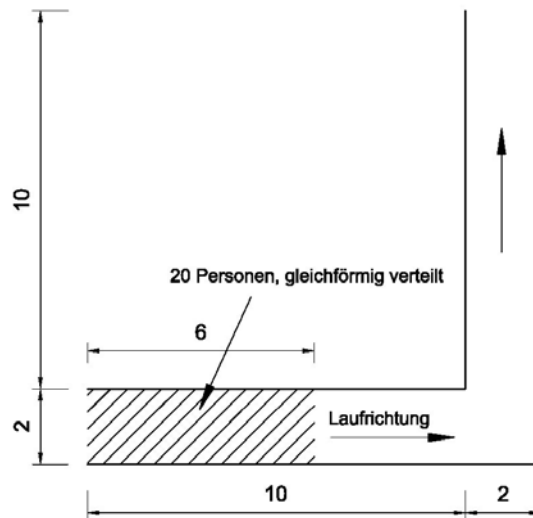


Abbildung A1: Quergang (Einheit: m)

### Test 7: Zuordnung der demographischen Parameter

Wähle gemäß Tabelle 5.2 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 A2). Wähle eine Population von erwachsenen Personen aus Tabelle 5.2 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.

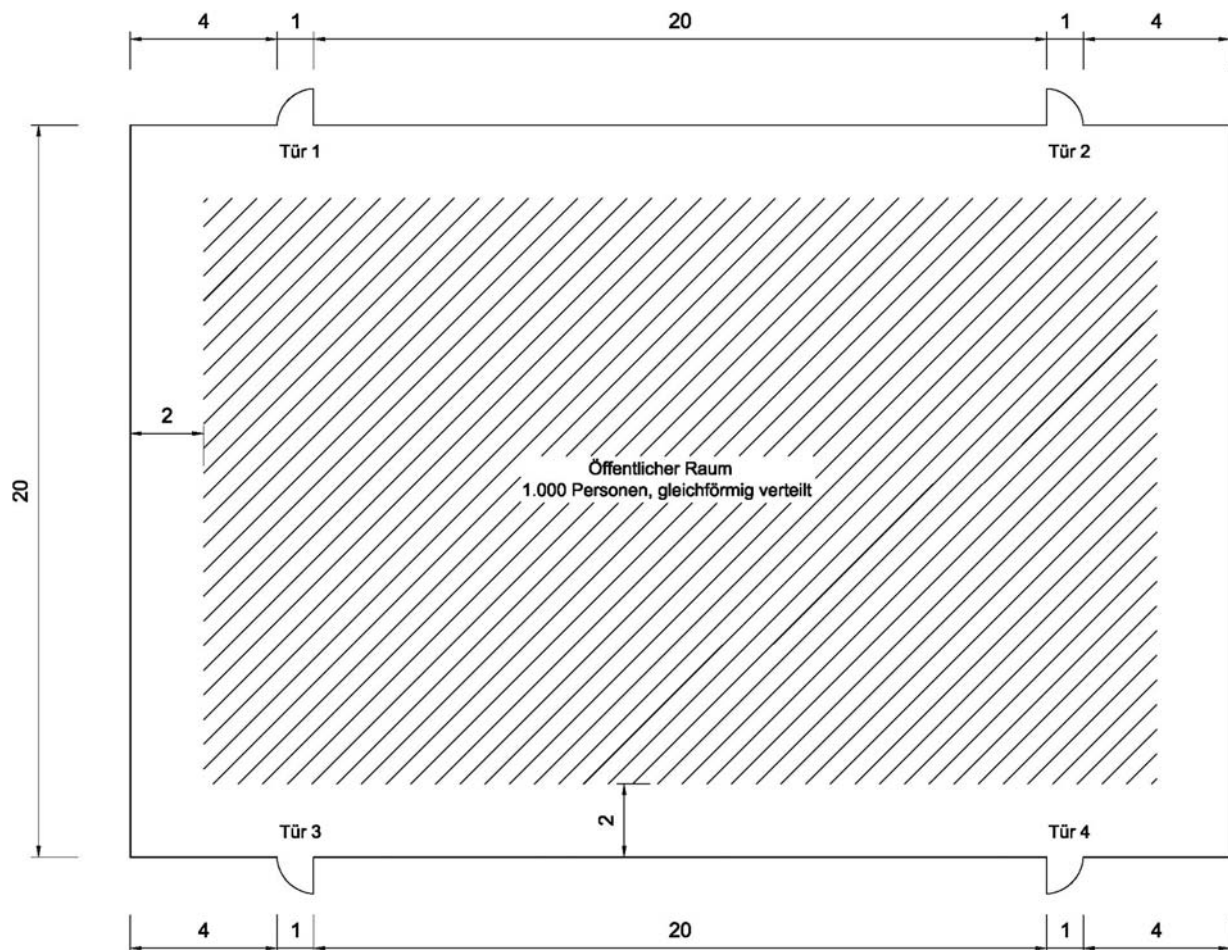


Abbildung A2: Verlassen eines großen öffentlichen Raumes (Einheit: m)

### Test 9: Zuweisung von Rettungswegen

Konstruiere die Sektion eines Ganges wie in Abbildung A3 mit einer Population von erwachsenen Personen aus Tabelle 5.2 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.

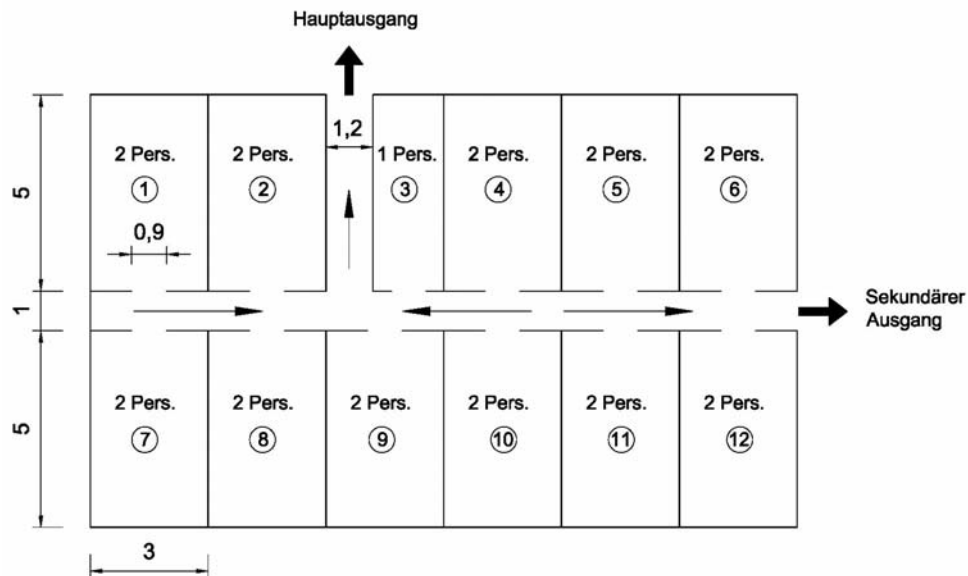
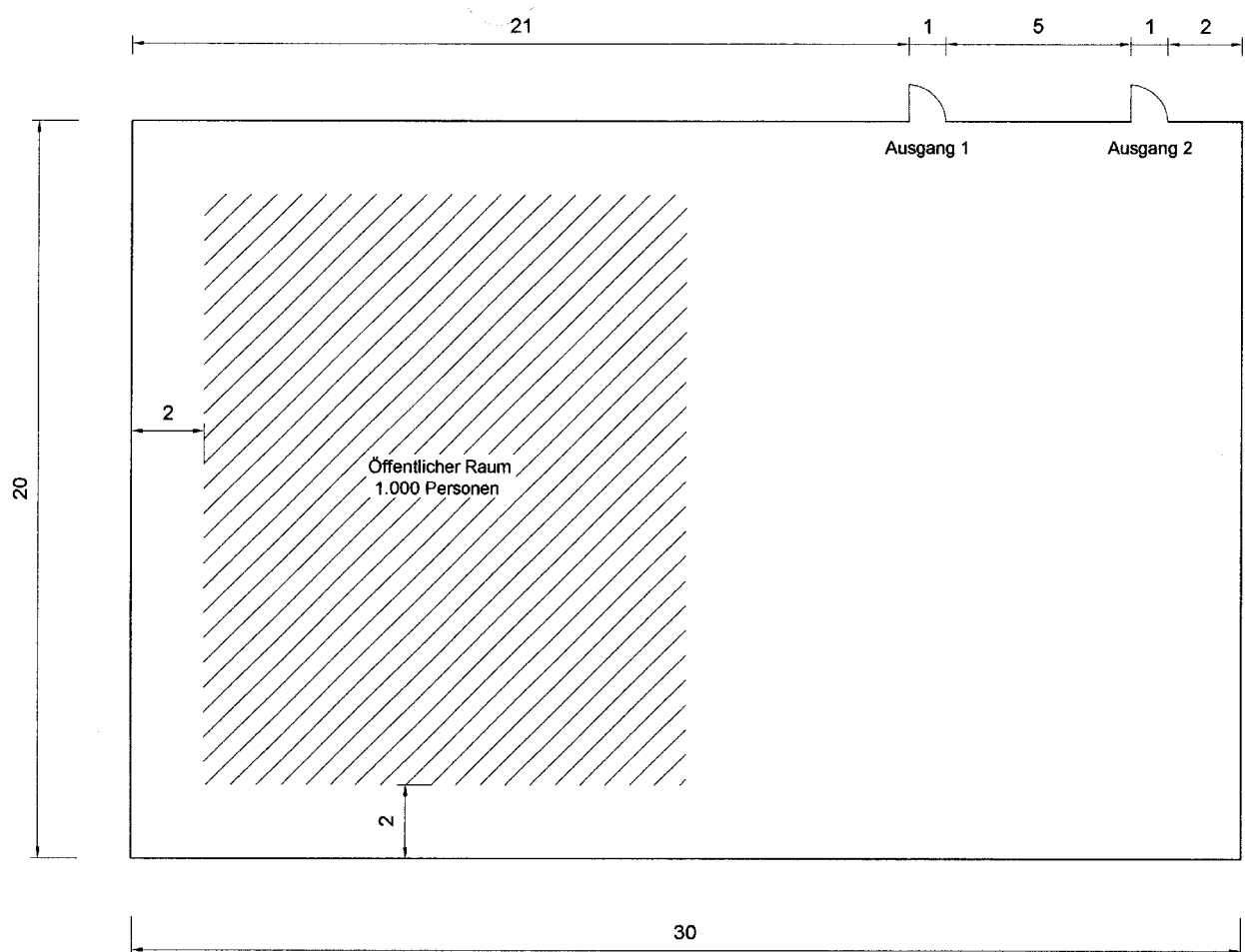


Abbildung A3: Gang mit angrenzenden Räumen (Einheit: m)



**Test 10: Wahl des Rettungsweges**

Ein öffentlicher Raum verfügt über 2 Ausgänge: Ausgang 1 und Ausgang 2 (vgl. Abbildung A4). Wähle eine Population von erwachsenen Personen aus Tabelle 5.2 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 A4: 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 A5) besetzt wie gezeigt mit einer Population von erwachsenen Personen aus Tabelle 5.2 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.

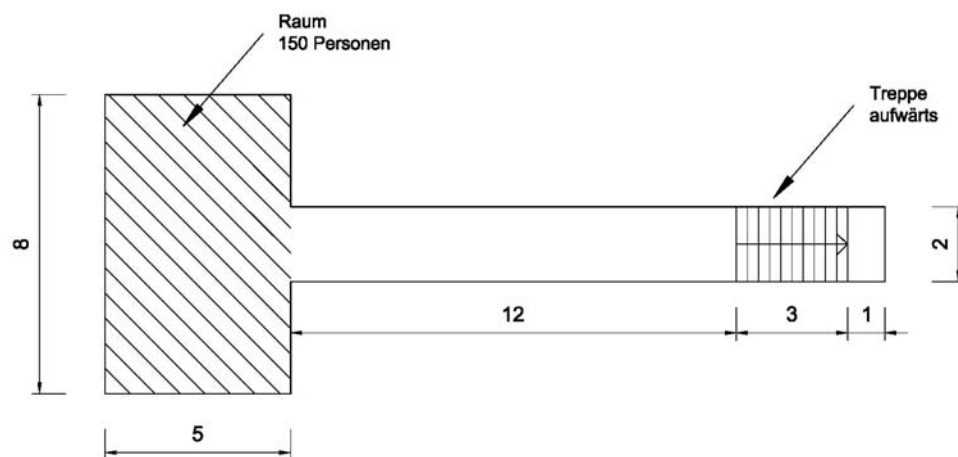


Abbildung A5: Rettungsweg über Treppe (Einheit: m)

### 5 Quantitative Verifizierung

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