

## Ab hier RiMEA v3.0.0

Änderungen ab hier bitte nur noch im "Vorschlag-Modus" (rechts oben einstellbar).

### 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 sowie für die Auswertung der Ergebnisse 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 sowie einen Anwendungsleitfaden für Nutzer 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-Variationen 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-Agenten gemäß der Parameter und Routenvorgaben des Benutzers bewegen.

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 ein Standard geschaffen werden um die Leistungsfähigkeit eines Flucht- und Rettungskonzeptes als Bestandteil einer baulichen Anlage bewerten zu können werden.

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

## 1 Anwendungsbereich

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 anderen Personen und 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 Bewegungsmodells nachgebildet.

Die in dieser Richtlinie dargestellte Methodik kann für alle Szenarien die die Entfluchtung von Personen beschreiben, angewandt werden.

~~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.

## 2 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die folgenden Begriffe.

### 2.1 Mikroskopische Entfluchtungsanalyse

Rechnergestützte Analyse von selbstständigen Personenbewegungen hin zum sicheren Ort, bei der jeder Agent (im Computer modellierte Person) individuelle Bewegungen anhand individueller Parameter, Fähigkeiten und/oder Verhaltenseinstellungen basierend auf rechnergestützten Algorithmen ausführt.

ANMERKUNG: 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 Eigenschaften, die ihr Verhalten charakterisieren. Die mikroskopische Entfluchtungsanalyse liefert sowohl Aussagen zur Gesamtentfluchtungszeit als auch über Orte und Zeiten von Stauungen.*

## 2.2 Bauliche Anlagen

Mit dem Erdboden verbundene, aus Bauprodukten hergestellte Anlage.

## 2.3 Freifläche

Offene oder umschlossene, nicht überbaute Fläche, die z. B. als Versammlungsstätte genutzt werden kann.

## 2.4 Versammlungsstätten

*Bauliche Anlage, Teil baulicher Anlagen oder Freifläche, die für die Zusammenkunft einer größeren Zahl von Menschen bei Veranstaltungen, insbesondere erzieherischer, wirtschaftlicher, geselliger, kultureller, politischer, sportlicher oder unterhaltender Art, bestimmt ist.*

*ANMERKUNG: Im Gegensatz zur MVStättV wird hier zusätzlich der Begriff Freiflächen in die Definition aufgenommen, da mikroskopische Entfluchtungsanalysen nicht nur auf bauliche Anlagen beschränkt sind (z. B. Konzerte oder ähnliche Großveranstaltungen auf Freiflächen).*

## 2.5 Entfluchtung

Selbstständiges „In-Sicherheit-Bringen“ von Personen aus einem gefährdeten Bereich.

## 2.6 Fluchtweg

Bauliche Einrichtung, durch die eine sichere Wegführung für Personen geschaffen wird, damit diese von einem beliebigen Punkt in der baulichen Anlage zu einem sicheren Ort gelangen.

## 2.7 Sicherer 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.

*ANMERKUNG: Ein sicherer Bereich kann sowohl innerhalb eines Gebäudes als auch außerhalb eines Gebäudes angeordnet werden. Die Fläche eines sicheren Bereiches muss für die max. zu erwartende Anzahl von flüchtenden Personen und deren Versorgung ausreichen.*

## 2.8 Personenbelegung

Anzahl der Personen in der zu untersuchenden baulichen Anlage entsprechend der jeweiligen Nutzung, die für die Analyse der Fluchtwege berücksichtigt wird.

## 2.9 Signifikanter Stauung

Ein signifikanter Stau liegt vor, wenn eine lokale Dichte von 4 Personen pro Quadratmeter länger als 10% der Gesamtentfluchtungszeit überschritten wird. Solch ein Stau hat einen signifikanten Einfluss auf den Verlauf der Entfluchtung.

Stocken eines Personenstroms welches einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis der Entfluchtung hat oberhalb eines Schwellenwertes bis hin zum zeitweisen Stillstand.

*ANMERKUNG: Das Signifikanzkriterium ist dabei die ~~Wartezeit, d. h. die Zeit~~Differenz zwischen einer Entfluchtung, bei der sich alle Personen mit ihrer freien Laufgeschwindigkeit bewegen, und der benötigten Zeit-Dauer bei einer Entfluchtung mit auftretenden Stauungen.*

## 2.10 Freie Laufgeschwindigkeit

Geschwindigkeit der Personen bei sehr geringer lokaler Personendichte (nahe Null).

### 2.11 Detektionsdauerzeit $t_{\text{Detekt}}$

Zeitspanne vom Beginn des auslösenden Ereignisses (z. B. Brand) bis zu seiner Entdeckung.

*ANMERKUNG: Im Rahmen dieser Spezifikation wird durchgängig der Begriff Zeit zur Beschreibung einer Dauer verwendet. Dies entspricht dem allgemeinen Sprachgebrauch. In den Definitionen wird für die Differenz zweier Zeitpunkte der Begriff Zeitspanne verwendet.*

### 2.12 Alarmierungsdauerzeit $t_{\text{Alarm}}$

Zeitspanne zwischen der Entdeckung eines auslösenden Ereignisses und dem Auslösen des Entfluchtungssignals (Alarm oder Sprachdurchsage als Aufforderung zur Evakuierung).

### 2.13 Individuelle Reaktionsdauerzeit $t_{i, \text{Reakt}}$

~~Zeitspanne zwischen dem Auslösen des Entfluchtungssignals und dem Beginn der Entfluchtung einer einzelnen Person.~~

*ANMERKUNG: Die individuelle Reaktionszeit schließt die Wahrnehmung von Hinweisen, das Erteilen und Aufnehmen von Anweisungen und die Durchführung aller anderen Tätigkeiten vor Beginn der Entfluchtung ein.*

### 2.14 Individuelle Laufdauerzeit $t_{i, \text{Lauf}}$

Zeitspanne, die eine Person benötigt, um von ihrer anfänglichen Position nach Ablauf der individuellen Reaktionsdauer  $t_{i, \text{Reakt}}$  zu einem sicheren Ort (Sammelplatz, anderer Brandabschnitt, Ausgang oder Ähnliches) zu gelangen.

### 2.15 Individuelle Entfluchtungsdauerzeit $t_{i, \text{Flucht}}$

Summe der allgemeinen Detektions- und ~~Alarmierungszeit~~ Alarmierungsdauer sowie der individuellen Reaktions- und Laufzeit Laufdauer, d. h.

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

*ANMERKUNG: Abbildung 1 zeigt den grafischen Zusammenhang der oben genannten Zeitkomponenten.*

Abbildung 1: Grafische Darstellung der einzelnen Anteile Zeitkomponenten der individuellen Entfluchtungsdauerzeit

### 2.16 Entfluchtungsdauerzeit $t_{\text{Flucht}}$

Maximum aller individuellen ~~Entfluchtungszeiten~~ Entfluchtungsdauern für einen Entfluchtungsablauf, d. h.

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

*ANMERKUNG: Der Begriff Gesamtentfluchtungszeit Gesamtentfluchtungsdauer wird hier nicht verwendet. Die Gesamtentfluchtungszeit tungsdauer entspricht der Entfluchtungszeit Entfluchtungsdauer.*

## 2.17 Statistische Auswertung wiederholter Simulationsläufe

Zur Bewertung unterschiedlicher Konstellationen zu Beginn und während der Entfluchtung, bei der Agenten (Personen) mit unterschiedlichen Eigenschaften zufällig im Zeitablauf auf andere Agenten treffen, ist eine ausreichende Zahl von Simulationsläufen durchzuführen. Erst die Verteilung der hierbei gewonnenen Resultate ermöglicht eine fundierte Beurteilung der Entfluchtungssituation. Im Sinne einer statistischen Analyse ergeben sich:

#### 2.17.1 Minimale **Entfluchtungszeit-Entfluchtungsdauer** $t_{\text{Flucht,min}}$

Minimum aus einem Ensemble von EntfluchtungszeitenEntfluchtungsdauern.

#### 2.17.2 Maximale **Entfluchtungszeit-Entfluchtungsdauer** $t_{\text{Flucht,max}}$

Maximum aus einem Ensemble von EntfluchtungszeitenEntfluchtungsdauern.

#### 2.17.3 Mittlere **Entfluchtungszeit-Entfluchtungsdauer** $t_{\text{Flucht,mittel}}$

Arithmetischer Mittelwert aus einem Ensemble von EntfluchtungszeitenEntfluchtungsdauern.

#### 2.17.4 Standardabweichung $St_{\text{Flucht,Staabw}}$

Statistisches Maß für die Streuung der Werte um den Erwartungswert einer Verteilung.

#### 2.17.5 Signifikante **Entfluchtungsdaurerzeit** $t_{\text{Flucht,signifikant}}$

Dauer eines Ensembles von (Gesamt-) Entfluchtungsdauern, die größer als oder gleich einem festzulegenden Schwellwert ist.

### 2.18 **Agent**

Modellspezifische Repräsentation einer Person.

### 2.19 **Szenario**

Ein Szenario ist durch eine Geometrie, eine Anfangspersonenverteilung, eine Routenverteilung und die statistische Zusammensetzung der Population definiert.

## 3 Eingabegrößen für Simulationsmodelle

Die im Folgenden aufgeführten Eingabe**kategoriengrößen** sind entsprechend der jeweiligen zu untersuchenden Situation festzulegen, zu begründen und zu dokumentieren (vgl. Kap. 4 und 5), wobei die herangezogenen Quellen zu benennen sind. Typische Werte für die verschiedenen Eingabegrößen können den geltenden Gesetzen und Verordnungen sowie den Regeln der Technik, wie z. B. dem vfdb-Leitfaden und „RiMEA, aber auch“ den Handbüchern der Simulationssoftware entnommen werden. Eine entsprechende Vorabstimmung mit der zuständigen Genehmigungsbehörde wird empfohlen.

### 3.1 **Kategorie GEOMETRIE**

Diese Kategorie beschreibt die räumliche Anordnung und Geometrie des Gebäudes bzw. der Fluchtwege, ihre (Nicht-)Erreichbarkeit bzw. (Nicht-)Begehbarkeit.

Die Gebäudegeometrie ist in allen für den Ablauf der Simulation wichtigen Aspekten zu berücksichtigen. Dieses sind u. a.: die Einteilung in Ebenen und Geschosse, Hindernisse, Wände, Treppen, Rampen, Türen und Ausgänge.

### 3.2 **Kategorie POPULATION**

Die Zusammenstellung der Population erfolgt im Hinblick auf Alter, körperliche Attribute und ReaktionszeitReaktionsdauer.

Die statistische Zusammensetzung der Population ist typischerweise gleichbleibend für alle Simulationsläufe eines Szenarios mit Ausnahme der Reaktionszeit-Reaktionsdauer und der Anfangsposition der Personen. Liegen Daten zur Populationszusammensetzung vor, so sollten diese nach Möglichkeit verwendet werden (z. B. Anpassung der Parameter für Schulen oder Seniorenheime).

#### 3.2.1 **Allgemeines**

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

- a) Jede Person wird in der Simulation individuell repräsentiert;
- b) Die grundlegenden Regeln für die Entscheidungen und Bewegungen sind für alle Personen gleich und werden durch einen dokumentierten, universellen Algorithmus beschrieben;
- c) Die Leistungsfähigkeit jeder Person oder Personengruppe wird durch einen Satz von Personenparametern festgelegt. Einige dieser Parameter wirken-können sich stochastisch auf das Verhalten der Personen auswirken;
- d) Die Bewegung jeder einzelnen Person muss aufzeichnenbar sein;
- e) Die Personenparameter variieren-können zwischen den Individuen einer Population variieren;
- f) Der Zeitunterschied-Zeitspanne zwischen zwei Aktionen der-aller abgebildeten Personen (Agenten) in der Simulation (also die Zeit, innerhalb derer alle Personen agieren) soll zeitlich hoch aufgelöst sein (<1 s), so dass die notwendigen Bewegungs- und Verhaltensaktionen mit ihren Wechselwirkungen konsistent modelliert werden können (mikroskopische Analyse);
- g) ~~Bei der Auswahl der zu analysierenden Szenarien ist die für das Objekt zutreffende Population, die Wahl der Fluchtwege und gegebenenfalls die Auswirkung von Umwelteinflüssen zu berücksichtigen. Simulationen können mit folgenden Rahmenbedingungen durchgeführt werden:~~
  - a. ~~Die Personen bewegen sich entlang der Fluchtwege;~~
  - b. ~~Gruppenverhalten wird implizit dadurch berücksichtigt, dass definierte Personen-Gruppen gleiche Fluchtwege nutzen. Explizites Gruppenverhalten wie z. B. das Zusammenbleiben einer Gruppe muss in der Analyse nicht berücksichtigt werden.~~

~~Beim Wegfall einer oder mehrerer Rahmenbedingungen muss die akzeptable signifikante Gesamtentfluchtungszeit unter Umständen angepasst werden.~~

### 3.2.2 Eigenschaften der Population

Entsprechend der jeweiligen Nutzung der baulichen Anlage ist es angezeigt, einen ausreichend konservativ gewählten Parametersatz für die Population zu wählen zu bestimmen, ~~der neben der Gehgeschwindigkeit auch Körpermaße, die allgemeine körperliche Leistungsfähigkeit und Sensitivität gegenüber externen Einwirkungen berücksichtigt.~~

### 3.2.3 Reaktionszeit Reaktionsdauer

Sind genaue Kenntnisse zum Entfluchtungskonzept bekannt, können die Reaktionsdauern gemäß „Anhang 2: Verteilung der individuellen Reaktionsdauern“, ~~vfdb-Leitfaden~~ oder anderer Standards festgelegt werden. In allen anderen Fällen muss die Sensitivität des Entfluchtungskonzepts anhand von drei Szenarien mit den folgenden drei Reaktionsdauer-Verteilungen bestimmt werden.

1. Schnelle Entfluchtung: Alle Personen erhalten eine Reaktionszeit-Reaktionsdauer von 0 Sekunden. Dies bewirkt durch die gleichzeitige Reaktion aller Personen ein hohes Personenaufkommen auf den Flucht- und Rettungswegen.
2. Zügige Entfluchtung: Die Personen erhalten eine gleichverteilte Reaktionszeit-Reaktionsdauer von 0-60 Sekunden zugewiesen und reagieren somit innerhalb einer Minute.
3. Langsame Entfluchtung: Die Personen erhalten eine gleichverteilte Reaktionszeit-Reaktionsdauer von [1] bis [5] min. ~~Die Werte können aus „Anhang 2: 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 abzustimmen.~~

### 3.2.4 Freie Gehgeschwindigkeit in der Ebene

Sind genaue Kenntnisse über die Population im Objekt bekannt, können die Gehgeschwindigkeiten gemäß Tabelle 1 bzw. Abbildung 2, ~~vfdb-Leitfaden~~ oder anderen Standards festgelegt werden. ~~Die durchschnittlichen Gehgeschwindigkeiten für die typische Bevölkerung sind in Abhängigkeit vom Alter zu ermitteln und zu dokumentieren.~~

~~Zu durchschnittlichen Gehgeschwindigkeiten für eine stadttypische Bevölkerung in Abhängigkeit vom Alter~~

~~gibt es verschiedene Veröffentlichungen.~~ Es empfiehlt sich, die Werte angelehnt an die entsprechend der Veröffentlichungen von Weidmann [2] zu verwenden.

~~Sind keine Daten bekannt, sollte die in Abschnitt 3.2.7 definierte Standardpopulation verwendet werden.~~

Abbildung 2: Gehgeschwindigkeit in der Ebene in Abhängigkeit des Alters in Anlehnung an Weidmann [2]

Tabelle 1: Gehgeschwindigkeiten in der Ebene für Personen mit beeinträchtigter Mobilität

Die Gehgeschwindigkeit von Männern ist nach Weidmann [2] im Mittel um 10,9 % höher als die von Frauen. Dies ergibt für Männer eine mittlere freie Gehgeschwindigkeit von 1,41 m/s und für Frauen von 1,27 m/s.

### 3.2.5 Freie Gehgeschwindigkeiten auf Treppen

~~Eine realistische Reduktion der Gehgeschwindigkeit auf Treppen sollte berücksichtigt werden und den in der Literatur dargestellten Tendenzen entsprechen. Sie sollte unter Angabe der entsprechenden Quellen dokumentiert sein. Die Gehgeschwindigkeit auf Treppen kann entweder durch eine Geschwindigkeitsverteilung oder durch einen Reduktionsfaktor, mit dem die Gehgeschwindigkeit in der Ebene multipliziert wird, erfasst werden. Simulationsmodelle müssen die in der Literatur 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 (siehe Tabelle 1 bzw. Abbildung 2) entspricht.~~

~~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.~~

### 3.2.6 Initialverteilung der Agenten Personendichten oder -anzahl der Anfangsverteilung

~~Die Initialverteilung der Agenten sollte aufgrund folgender Daten definiert werden:~~

- ~~1. Initialdichten~~
- ~~2. Initialzahlen Art der Nutzung (z.B. Bestuhlungsplänen)~~

~~Die Anfangsverteilung oder -anzahl der Personen gibt vor, gemäß welcher Personendichten bzw. Personenzahlen oder gemäß welches Bestuhlungs- oder Belegungsplans die Personen zu Beginn der Simulation verteilt werden müssen. Liegen konkrete Daten vor, sollten sie unter Bekanntgabe der Quelle in die Analyse einfließen.~~

Ansonsten kann auf die Richtwerte aus Tabelle 3 zurückgegriffen werden.

### 3.2.7 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 3 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 Maximalalter 85 Jahre.

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

Tabelle 3: Richtwerte ~~der Initialdals~~ Dichten ~~für die Anfangsverteilung~~ der Population

Abbildung 3: Altersverteilung der RiMEA-Standardpopulation, die zu jeweils 50 % aus Männern und Frauen besteht

## 3.3 Kategorie ROUTEN

~~Die Routen geben vor, welche Wege die Agenten auf dem Weg zu ihren Zielen (sicheren Bereiche)~~

zurücklegen.

- 1) Alle Fluchtwege verfügbar
- 2) Sperrung einzelner Fluchtwege um Einfluss zu untersuchen
- 3) Wie sollen Ausgänge gewählt werden?
  - a. Alle folgen nächstgelegenen Fluchtweg
  - b. [80%] laufen entlang Alltagswegen raus, der Rest folgt den Fluchtwegen
- 4) Organisatorische Maßnahmen implizit durch Routenzuweisung berücksichtigt.

## 4 Durchführung von Analysen und Simulationen

Die Entfluchtungsanalyse beschreibt die Einbindung der ~~(Gesamt-)~~Entfluchtungsdauerzeit der Entfluchtungs-simulation in den Kontext der brandschutztechnischen Infrastruktur und der objektspezifischen Risikobeurteilung durch den Verfasser des Entfluchtungskonzeptes. Sie besteht aus folgenden Schritten:

### 4.1 Beschreibung der einflussnehmenden Faktoren und Randbedingungen

- 1) Definition des Geometriemodells;
- 2) Definition der Populationsgröße und -anfangsverteilung;
- 3) Definition der Populationszusammensetzung ~~und-verteilung~~;
- 4) Beschreibung des Fluchtwegekonzeptes;
- 5) Wenn bekannt, Benennung des auslösenden Ereignisses für die Entfluchtung;
- 6) Definition der räumlichen und zeitlichen Evakuierungsabschnitte;
- 7) Definition der sicheren Bereiche;
- 8) Beschreibung des Alarmierungssystems;
- 9) Beschreibung organisatorischer Maßnahmen;

### 4.2 Betrachtete Szenarien

Die Berechnung der ~~Entfluchtungszeit~~Entfluchtungs-dauer erfolgt durch die Analyse eines oder mehrerer Szenarien. ~~Ein Szenario ist durch eine Geometrie, eine Anfangspersonenverteilung, eine Routenverteilung und die statistische Zusammensetzung der Population definiert.~~ Durch die signifikante Änderungen eines der definierten Kategorien Parameters entsteht ein neues Szenario. Die geplante Nutzungsart sowie die zu erwartenden Personenzahlen sind detailliert zu beschreibenberücksichtigen. Besonders zu berücksichtigen sind unterschiedliche Nutzungsarten innerhalb eines Objektes (z. B. Einkaufszentrum mit Multiplexkino und Versammlungsstätte). Aufgrund von unterschiedlichen Nutzungszeiten ist es erforderlich, der Nutzung entsprechende differenzierte-relevante Entfluchtungsszenarien zu entwickeln.

#### 4.2.1 Anfangsverteilung der Personen

Für die Entfluchtungsanalyse soll die Anfangsverteilung der Personen berücksichtigt werden, welche in den Einreich-/Eingabeplänen oder sonstigen Dokumenten für ~~dieses jeweilige~~ Bauliche Anlage oder Freifläche 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 4.2.4 bzw. den einschlägigen Gesetzen, Verordnungen, Richtlinien oder Regelwerken entsprechend erläutert bzw. errechnet werden.

#### 4.2.2 Anordnung der Fluchtwege - grundlegender Entfluchtungsfall

Alle vorhandenen Flucht- und Rettungswege stehen ~~für die Entfluchtung~~ zur Verfügung. Die Personen bewegen sich entlang der Fluchtwege 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. Eine eventuelle Unvertrautheit mit dem Gebäude kann bei dieser Vorgehensweise durch entsprechend längere Reaktionszeiten berücksichtigt werden.



### 4.2.3 Flexibilität der Fluchtwege -zusätzliche Entfluchtungsfälle

Es empfiehlt sich, in Abstimmung mit der zuständigen Behörde zusätzliche Szenarien zu untersuchen. Hierdurch können die Auswirkungen versperrter Fluchtwege (und damit die Flexibilität des Entfluchtungskonzepts) geprüft werden. So kann z. B. die Modellierung der Wahrnehmung von Rettungszeichen (Fluchtwegemarkierungen) im Rahmen einer mikroskopischen Entfluchtungsanalyse wichtige Hinweise auf die Schlüssigkeit des Konzepts liefern.

### 4.2.4 Berechnung der Maximalbelegungszahl

Für die Ermittlung der Maximalbelegungszahl wird wie in Abschnitt 4.2.2 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 Änderungreduzierter Personenanzahl soweit fortgesetzt, bis eine Gesamtentfluchtungsdauer innerhalb der durch die vorgegebene definierte Entfluchtungsdauer erreicht ist.

## 4.3 Behandlung der Entfluchtungsdauernzeiten

- 1) Sowohl die vom Modell vorhergesagte als auch eine in der Realität gemessene (Gesamt-) Entfluchtungsdauerzeit sind zufallsbehaftete Größen. Das liegt in der statistischen Natur des Entfluchtungsprozesses begründet;
- 2) Für jeden Simulationsdurchgang sollen die Anfangspositionen der Personen stochastisch neu zugewiesenbestimmt werden;
- 3) Für jeden Simulationsdurchgang sollen die demographischen Parameter der Personen entsprechend der dem Szenario zugrunde liegenden Populationszusammensetzung stochastisch neu zugewiesenbestimmt werden;
- 4) Für jedes Szenario soll eine statistisch belastbare Anzahl von Simulationsdurchläufen ausgeführt werden. Werden weniger als [100] Simulationsdurchläufe ausgeführt, so ist anhand eines Konvergenzkriteriums nachzuweisen, dass dies für ein statistisch belastbares Ergebnis ausreicht. Für jedes Szenario soll eine angemessene Anzahl von Simulationsdurchläufen (mindestens 10) ausgeführt werden. Das ergibt für jedes Szenario 10 Gesamtentfluchtungszeiten. Je nach statistischer Verteilung der (Gesamt-) Entfluchtungszeiten kann eine größere Anzahl an Simulationsdurchläufen notwendig sein, 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 (Gesamt-) Entfluchtungsdauerzeit sowie die Standardabweichung.
- 6) Es empfiehlt sich, die zulässige signifikante (Gesamt-) Entfluchtungszeit im Vorfeld mit den Behörden abzustimmen. Ihre Festlegung erfolgt durch die Bestimmung der zur Verfügung stehenden DauerZeit in der eine Entfluchtung ohne Einflüsse durch das auslösende Ereignis möglich ist, durch den Vergleich mit einem regeltreuen Vergleichsprojekt oder entsprechend der rechtlichen und normativen Bestimmungen. Die berechnete signifikante (Gesamt-) Entfluchtungsdauerzeit muss kleiner sein.
- 7) Für die akzeptablen EGesamtentfluchtungsdauernzeiten 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.
  - a. in der Europäischen Union [4] werden für Zuschaueranlagen im Freien 8 min genannt, für Zuschaueranlagen im Gebäude 2 min. Hierbei handelt es sich um beispielhafte Werte, die kein Akzeptanzkriterium beinhalten.
  - b. 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

Fluchtwegbreiten und der Annahme, dass 100 Personen für das Durchströmen einer 1,2 m breiten Tür 1 Minute benötigen (gemäß Kommentar zur MVStättV).

- c. 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 Entfluchtungsdauer genannt.

#### 4.4 Identifizierung von Stauungen

Im Rahmen der Entfluchtungsanalyse müssen signifikante auftretende Staus identifiziert, beschrieben und bewertet werden. Ebenso sind solche Effekte herauszustellen, die einen wesentlichen Einfluss auf die Kritikalität der Entfluchtung haben können. Kritische Bewegungsabläufe und Stauungen können u.a. auf der Grundlage von Personendichten, Wartezeiten, Anstehzeiten, Verzögerungszeiten und Stauzeiten o.a. identifiziert werden. Für die Kriterien, die zur Identifikation von Stauungen verwendet werden, müssen in der Analyse Berechnungsvorschriften angegeben werden. Ein signifikanter Stau liegt beispielsweise vor, wenn eine lokale Dichte von 4 Personen pro Quadratmeter länger als 10% der Gesamtentfluchtungszeit überschritten wird.

### 5 Dokumentation

Die Dokumentation muss diesämtliche Eingabedaten Arbeitsschritte der zur Erstellung einer Entfluchtungsanalyse enthalten umfassen. Dabei ist sie auf die vom Anwender zu beeinflussenden Aspekte zu begrenzen. Das heißt, die mathematisch-technischen Zusammenhänge auf Modellebene sollen nicht vom Anwender dokumentiert werden. Ein Verweis auf die entsprechende Dokumentation des Programmherstellers (i. a. das Handbuch) ist ausreichend.

Die Reihenfolge dieses in diesem Kapitels ist an die einzelnen Arbeitsschritte der Analyseerstellung angelehnt.

#### 5.1 Dokumentation der Analyse Arbeitsschritte

Die einzelnen Punkte Arbeitsschritte der Analyse müssen ausreichend detailliert dokumentiert werden

1. Annahmen (siehe Kapitel 4);
2. Verwendetes Berechnungs- und Simulationsverfahren (siehe Abschnitt 5.2);
3. Ergebnisse (siehe Abschnitt 5.3)
  - a. Verteilung der (Gesamt-)Entfluchtungsdauerzeit und deren Häufigkeitsverteilung;
  - b. Bereiche signifikanter Staus mit kritischen Bewegungsabläufen und Stauungen.

#### 5.2 Dokumentation des verwendeten Simulationsverfahrens

Die Dokumentation des Simulationsmodells der Entfluchtungsanalyse solltemuss folgende nachfolgend aufgeführte Punkte Bestandteile enthalten:

- Programmname und -Version der genutzten Software die Programmversion (Build-Nr.), die für die Entfluchtungsanalyse verwendet wurde;
- die im Modell zur Beschreibung der Personenbewegung benutzten Variablen, z. B. Gehgeschwindigkeit;
- die Abbildung Darstellung von Treppen, Türen, Sammelplätzen und anderen besonderen räumlichen Elementen und ob und wie sie sich die zugehörigen Variablen und Parameter auf den Ablauf der Simulation auswirken und
- den Hinweis auf das Benutzerhandbuch, das die Art und Funktion des Modells und die zugrunde liegenden Annahmen beschreibt.

Darüber hinaus ist es sinnvoll, z. B. folgende Informationen bereit zu stellen:

- die Art der physischen Abbildung Darstellung der Agenten Körperausmaße (z. B. Kreis, Ellipse,

- ~~Quadrat usw.);~~
- die Art der Aktualisierung (Update), d.-h. die Reihenfolge, in der sich die Agenten Personen sich während der Simulation bewegen (parallel, zufällig sequentiell, geordnet sequentiell oder andere).

## 5.3 ~~Dokumentation der Simulationsergebnisse~~

### 5.3.1 Struktur der Dokumentation

Der Mindestinhalt und die Struktur der Dokumentation einer Entfluchtungsanalyse sind in Abschnitt 5.4 aufgelistet.

### 5.3.2 Identifizierung von kritischen Bewegungsabläufen und Stauungen

Im Rahmen der Entfluchtungsanalyse müssen auftretende kritische Bewegungsabläufe und Stauungen identifiziert, beschrieben und bewertet werden.

## 5.4 ~~Mindestinhalt der Auswertung einer Entfluchtungsanalyse~~

### 5.4.1 ~~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.~~

### 5.4.2 Anlass und Fragestellung

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

### 5.4.3 Objektbeschreibung

Beschreibung des Objektes (~~GRaum- / Gebäudegeometrien~~) evtl. mit Grafik / Bild, sofern nicht schon im Brandschutzkonzept dargestellt und für die Entfluchtung relevant.

- Flächen;
- Nutzungsarten;
- Nutzungszeiten / -dauer;
- Beschreibung der Vorkehrungen für den organisatorischen Brandschutz (verantwortliche Person, Brandschutzbeauftragter, -helfer, 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.

### ~~5.4.4 Beschreibung der verwendeten Software und des Modells~~

~~Erläuterung der grundlegenden Informationen des verwendeten Programms~~

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

### 5.4.5 Beschreibung der SEvakuierungsszenarien

Erläuterung der Annahmen und Randbedingungen

- Anzahl der Simulationsdurchläufe;

- ggf. Hinweis auf die Art der Initialisierung des Zufallszahlengenerators;
- Gewählte Annahmen zur Population mit Begründung (ggf. Hinweis auf Besonderheiten wie Behinderung o. ä.);
- Anzahl der Personen und deren Verteilung im Objekt bei Beginn der Entfluchtungsanalyse;
- 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~~).

#### 5.4.6 Ergebnisse / ~~Besonderheiten~~

Darstellung der Simulationsergebnisse

- ~~(Gesamt-) — Entfluchtungsdauer~~ Evakuierungszeit; detaillierte Darstellung des ~~Entfluchtungsverlaufs~~ Evakuierungsverlaufs in Zeitschritten von  $\Delta t \leq T_{\text{Gesamt}} / 10$ , wie bspw. durch Diagramme, Tabellen oder Grafiken;
- ggf. maßgebliche Teilabschnitte;
- grafische Darstellung (Momentaufnahmen) von Dichteverläufen / -maxima (zeitlich, räumlich);
- Auffälligkeiten / Besonderheiten während der Simulation (z. B. Auftreten von Stauungen).

#### 5.4.7 Interpretation der Ergebnisse

Erläuterung / Interpretation der Ergebnisse

- Vergleich mit gesetzlichen Vorgaben;
- Vergleich mit Literatur / allgemein anerkannten Regeln der Technik;
- Vergleich der Ergebnisse mit ~~Bemessungskriterien~~ Resultaten ~~(Randbedingungen) — aus Brandsimulationen, Behördenvorgaben, ...~~

#### 5.4.8 Schlusswort / Fazit

Abschließende Bewertung der Ergebnisse der Simulationen und Zusammenfassung mit Fazit der Analyse.

### 5.5 Korrekturmaßnahmen

Falls für eine bauliche Anlage die berechnete Entfluchtungs~~dauerzeit~~ die akzeptable ~~(Gesamt-) Entfluchtungs~~dauerzeit überschreitet, sollten ~~gegebenenfalls~~ Korrekturmaßnahmen am Bauwerk vorgenommen werden, bis die ~~verfügbare~~notwendige ~~(beispielsweise — vorgeschriebene)~~ Entfluchtungs~~dauerzeit~~ ~~unterschritten~~ erzielt wird.

Korrekturmaßnahmen können in einer Veränderung

- der Geometrie,

~~bzw. durch Anpassen~~

- baulicher Maßnahmen,
- anlagentechnischer Maßnahmen,
- organisatorischer Maßnahmen,
- Reduktion der zulässigen Personenzahl

bestehen.

Eine Veränderung demographischer Parameter in der Entfluchtungsanalyse zum Erreichen der notwendigen (Gesamt-) Entfluchtungszeit ist nicht zulässig.

Falls für bestehende Gebäude die berechnete Dauer die vorgegebene Gesamtentfluchtungsdauer überschreitet, müssen die Entfluchtungsabläufe im Gebäude mit dem Ziel überprüft werden, sie durch

~~Setzen von geeigneten Maßnahmen zur Beeinflussung des Ablaufs die in der Analyse festgestellten Stauungen bzw. die Gesamtentfluchtungsdauer zu verringern.~~

Die Entfluchtungsanalyse ist mit den geänderten Randbedingungen (Korrekturmaßnahmen) so lange fortzusetzen, bis eine akzeptable Entfluchtungsdauerzeit (~~-situation~~) erreicht wird.

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

# Anhang 1: ~~Verläufige~~ Anleitung zur Validierung / Verifizierung von Simulationsprogrammen

## A 1 Allgemein

Für jede Simulationssoftware ist ~~ein~~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 Testscenarien den ~~neu~~esten 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-Vereins ([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.

### ~~Möglichkeiten und Grenzen quantitativer Tests~~

~~Einige der Testfälle können nicht nur der funktionalen Validierung, sondern auch der quantitativen Kalibrierung dienen. So liegen zum Beispiel für Test 4 empirische Daten vor.~~

~~Zweifelloso ist eine quantitative Kalibrierung ein notwendiger Bestandteil einer jeden Planungsmethode um hilfreiche Ergebnisse zu erzielen. Entsprechend gelten die im Weiteren genannten Grenzen von Kalibrierung und quantitativen Tests auch für alle Planungsmethoden. Für Simulationsmodelle bzw. -projekte wird die Frage jedoch häufig deutlich drängender gestellt. Dies hat mindestens zwei Ursachen. Erstens haben (Mikro-)Simulationen das Potential deutlich detailliertere Ergebnisse zu liefern, nämlich auf der Ebene der Individuen, der Mikroebene. Das unterscheidet Simulationen von früheren Planungsmethoden, die Ergebnisse per Konstruktion nur auf der Makroebene (Dichte, Fluss, Gesamtreisezeiten) liefern. Die zweite Ursache ergibt sich aus der Möglichkeit zur alltagsnahen Visualisierung. Weil durch die 3D-Darstellung<sup>1</sup>~~

~~1-Es soll hier nicht der Eindruck entstehen, dass die aus (Mikro-)Simulationen abgeleitete 3D-Darstellung generell skeptisch zu betrachten ist. Sie ist im Gegenteil grundsätzlich eine Stärke von Simulationen, da sie eine einfache Kommunikation auch mit Nicht-Fachleuten eröffnet und auch der Fachmann Ergebnisse besser bewerten kann, wenn er sie auch in einer Form erhält, die seiner Alltagsanschauung entspricht.~~

-der Zustände einer Mikrosimulation vordergründig kein Zwang zur profunden Interpretation besteht, besteht zumindest im Prinzip ohne jegliche Kalibrierung die Gefahr einer falschen Suggestion, entweder einer Auto-Suggestion oder einer absichtsvollen Täuschung des Auftraggebers oder Prüfers.

So bedeutsam die Kalibrierung für die Realitätsnähe der Resultate auch ist, gilt es sich jedoch auch vor Augen zu führen, dass die Kalibrierung einer Simulation sowohl prinzipielle als auch ökonomische und ethische Grenzen im Sinne einer Beschränkung des Möglichen hat und es zudem eine Grenze für die Notwendigkeit der Präzision bei der Kalibrierung gibt.

### **Statistische Verteilung von Beobachtungen**

Eine prinzipielle Grenze der Übereinstimmung von empirischen Daten und Simulationsergebnissen ergibt sich aus der Tatsache, dass viele Beobachtungsgrößen über einen gewissen Bereich verteilt sind. Ein Fußballstadion wird auch mit der gleichen Besucherzahl — z.B. an allen ausverkauften Spieltagen — nicht immer nach exakt der gleichen Zeit nach Spielende entleert sein. Diese Schwankungen rühren von nicht oder kaum beobachtbaren Ursachen, die man deswegen durchaus unter dem Begriff „Zufall“ zusammenfassen kann. Hinzu kommt, dass auch beobachtbare Größen wie z.B. die Anzahl Personen im Stadion nicht immer gleich sind. Für die Entleerung eines Fußballstadions, die sich tatsächlich regelmäßig wiederholt, kann man prinzipiell fordern, dass eine Simulation die Verteilung in der Realität reproduziert. Auf den Ergebnissen lassen sich dann wirtschaftliche Entscheidungen aufbauen, wie lange man beispielsweise Verkaufsstände geöffnet hält, weil man mit Durchschnittswerten aller Art rechnen und langfristig ein Optimum planen kann.

Für alle Planungsaspekte, die sich hingegen unter dem Begriff des Katastrophenschutzes summieren lassen — und hierzu zählt der Brandschutz und damit die Simulation von Notfall-Evakuierungen — ist entscheidend, dass die Verteilung der interessierenden Größen in der Realität nicht realisiert ist. Am Tag X, für den geplant wird, ist eine bestimmte Anzahl Personen, die eine ganz spezifisch zusammengesetzte Population darstellt, in dem Gebäude und diese werden eine ganz bestimmte Zeit benötigen das Gebäude zu verlassen, in welchem sich ggf. Rauch ausbreitet, welcher durch eine Brandlast entsteht, die ebenfalls speziell an diesem Tag existiert. Hinzu kommen allgemeine äußere Bedingungen wie die Temperatur, die ebenfalls im Jahresmittel sehr stabil ist, jedoch an einem Tag X einen bestimmten Wert hat, der von allen Beteiligten zwischen sehr niedrig und sehr hoch empfunden werden wird mit allen Konsequenzen die das für die Bewegung hat.

Es steckt im Bedeutungskern des Wortes „Katastrophe“, dass eine Wiederholung unter gleichen, sogar auch nur unter ähnlichen Bedingungen in der Regel nicht stattfinden wird. Zum einen macht dies die Kalibrierung des Simulationsmodells schwierig, da die gemessenen Größen einer unbekanntem Verteilung entstammen und es somit nicht möglich ist die Verteilung der Realität und die der Simulationsergebnisse aufeinander abzustimmen. Zum anderen kann im Katastrophenschutz natürlich nicht mit langfristigen Mittelwerten der

Ergebnisse gearbeitet werden.

### **Ethische und ökonomische Grenzen**

Ein weiterer Faktor ist pragmatischer und ökonomischer Art: Kalibrierung kostet Geld. Es kostet sowohl Geld Daten zu erheben als auch die Kalibrierung durchzuführen. Dabei kostet sowohl bei der Datenerhebung als auch bei der Kalibrierung höhere Präzision mehr Geld. Da empirische Werte des Personenstromes in der Regel streuen, werden mehr Daten benötigt, um die Varianz zu verringern und so den wahren Mittelwert genauer zu bestimmen. Beim Kalibrierungsvorgang muss man damit rechnen, dass mehr Simulationsdurchläufe nötig sind, wenn man eine höhere Übereinstimmung mit den empirischen Werten erreichen möchte.

Nicht zuletzt verbieten sich gewisse Datenerhebungen aus ethischen Gründen: Etwa würden Engpassdurchläufe mit 10 Pers/qm Gefahr für Leib und Leben der Probanden bergen. Hier kommen nur zufällige Beobachtungen von nichtgeplantem Geschehen als Datenquelle in Frage.

### **Grenzen der Zuordnung von Beobachtungen zu ihren Ursachen**

Da Fußgänger ihrer Umgebung fast unmittelbar ausgesetzt sind — vor allem sehr viel unmittelbarer als Autofahrer — und sie Kraft und Energie zur Fortbewegung praktisch ohne Hilfsmittel aufbringen müssen, gibt es eine Vielzahl von äußeren Faktoren und auch eine Vielzahl persönlicher Eigenschaften, die Einfluss auf ihre Bewegung haben. Zu nennen wären Umgebungstemperatur, Beleuchtung, Zweck der Bewegung (Motivation), Beschaffenheit des Geländes (Anstieg, Gefälle, Unebenheiten), Tageszeit, Alter und Geschlecht, soziale Zusammenhänge unter den Fußgängern, vermutlich auch die Herkunftskultur der Fußgänger.

Eine Planungsarbeit ist bereits dadurch in ihrer Präzision beschränkt, dass einige der Faktoren nicht, nur ungefähr oder nur als statistische Verteilung bekannt sind. Wichtig zu verstehen ist aber auch, dass nur für einen kleinen Teil der zu Kalibrierungszwecken verfügbaren Daten alle Einflussfaktoren bekannt sind. Obwohl die Menge der vorhandenen Daten mit der Möglichkeit zur automatisierten Videoauswertung in letzter Zeit schnell gewachsen ist, ist noch nicht im Detail klar, wie sich die einzelnen Faktoren z.B. auf die freie Gehgeschwindigkeit auswirken. Im Idealfall sind sowohl für die Kalibrierungsdaten als auch für den Planungsfall alle maßgeblichen Einflussparameter bekannt und übereinstimmend. Sind sie allerdings nur bekannt — was immer noch eine vergleichsweise erfreuliche Situation ist — aber nicht übereinstimmend, ist eine perfekte Kalibrierung nicht mehr sinnvoll. Man würde viel Zeit für die Kalibrierung aufwenden, um von einer Genauigkeit von 95% auf 99,9% zu kommen, hat es in Wahrheit aber mit einer Situation zu tun, für die die Parameter der 95%-Kalibrierung die bessere Wahl wären, nur weiß man dies nicht.

Als Nebenbemerkung sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass Beschreibungen wie „Fußballfan“, „Pendler“ oder „Münchener“ für ein Gehverhalten die ursprüngliche Datenerhebung nur unvollständig



beschreiben. „Fußballfan“ beschreibt eine Altersverteilung und eine Geschlechterzusammensetzung, die von der mittleren Gesamtpopulation abweichen mögen. Daher ist in der Tat vom Mittel abweichendes Laufverhalten zu erwarten. Aber auch Fußballfans bewegen sich in unterschiedlichen Umgebungstemperaturen und zu unterschiedlichen Tageszeiten, nach einem gewonnenen oder einem verlorenen Spiel, mit Kenntnis der Infrastruktur (Heimfans), oder ohne (Gästefans). Pendler wiederum sind bekannt dafür zügig zu gehen, aber auch das wird in einem Bahnhof sehr davon abhängen, ob die Zeit bis zum Anschlusszug knapp oder lang ist. Und schließlich gibt es Münchner als Fußballfans und als Pendler oder ziellos im Englischen Garten. Die populäre Idee, dass Städte und Kulturen je ihr eigenes Tempo haben und setzen, mag zutreffen oder nicht. Sicher ist jedoch, dass die interne Verteilung viel breiter ist als die Streuung der Mittelwerte.

### **Begrenzte Notwendigkeiten**

An diesem Punkt wird die Überlegung relevant, dass die Präzision des gesamten Simulationsprojektes oft durch das am wenigsten präzise behandelte Element, das signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse hat, bestimmt wird. Fußgänger bewegen sich in unterschiedlichen Situationen. Durch eine Türe hindurch oder in einem langen und engen Korridor; in eine Richtung, kreuzend oder in einer Gegenstromsituation; geradeaus, um eine Ecke oder sogar eine 180°-Wende; in der Ebene, treppauf oder treppab; in einer reinen Fußgängersituation oder im Straßenverkehr mit Radfahrern und PKW. Fußgänger treffen Routenentscheidungen nicht nur für das angestrebte Ziel, sondern auch ob sie auf dem Weg zum gewählten Ziel z.B. den längeren aber weniger gestauten oder den kürzeren und mehr gestauten Weg nehmen. Modellparameter, die in einer Situation A (z.B. dem Hemmnis, das die Ecke in Test 6 für den Personenstrom darstellt) höchst relevant sind, können in einer anderen Situation B (z.B. Test 4) bedeutungslos sein. Ein Kalibrierungsprozess, der nur mit Situation B arbeitet, kann keinen guten Wert für den Parameter zur realistischen Simulation von Situation A auffinden. Einige der genannten Situationen kommen im Brandschutz nur selten oder überhaupt nicht vor. Dennoch kann es Projekte geben, in denen die im Folgenden aufgelisteten Testfälle nicht alle Kalibrierungsnotwendigkeiten abdecken.

Darüber hinaus gibt es wichtige Einflussgrößen auf das Ergebnis – als wichtigstes wäre die Gesamtzahl Personen oder auch nur das zeitliche Ankunftsprofil bei einer Veranstaltung – zu nennen, die in manchen Szenarien (z.B. ein Stadtfest bei dem die Teilnahme nicht durch Tickets reglementiert ist) nur ungefähr bekannt sind.

### **Fazit**

Der notwendige Kalibrierungsaufwand hängt von der konkreten Fragestellung bzw. dem Projektziel ab.

Ist das Ziel die Kennzahlen (Mittelwert, Standardabweichung) der statistischen Verteilung der Evakuierungskurve eines Stadions zu jedem Zeitpunkt und für jeden Füllstand und dazu die Dichteverteilung im Stadion auf wenige Sekunden genau zu berechnen, werden alle oben genannten Einflussfaktoren

berücksichtigt werden müssen. Da es kaum ein zweites Stadion geben wird bei dem alle Einflussgrößen gleich sind, wird man lokale Messdaten zur Kalibrierung brauchen und das in großer Menge, da man z.B. Daten bei unterschiedlicher Umgebungstemperatur benötigt.

Es ist ohne Frage eine gerechtfertigte Anforderung an ein Simulationsmodell bzw. eine Simulationssoftware, dass eine solche Kalibrierung im Prinzip möglich ist. Es ist jedoch nicht der Fall, dass ein Modell keinen Nutzen entfalten kann, wenn eine derart exakte Kalibrierung nicht durchgeführt wird. Beispielhaft seien die beiden folgenden Projektziele genannt:

Es soll mit Hilfe einer Simulation bestimmt werden, ab welcher Stelle in einem Flur (d. h. für welche Zimmer bzw. welche Personen) die Richtungsangaben der Fluchtwegebekanntmachung in die andere Richtung, sprich zum zweiten Fluchtweg, weisen sollen, um eine möglichst effiziente Räumung zu erzielen. Die Antwort, die eine Simulation geben wird, wird für unterschiedliche Parametersätze gleich ausfallen. Das wiederum impliziert, dass man sich im Vergleich zum oben genannten Beispiel mit einer ungefähren Kalibrierung begnügen kann.

Es soll mit Hilfe einer Simulation berechnet werden, welche von drei Evakuierungsstrategien die (oder welcher von drei Grundrissen der) beste ist. Die Argumentation von oben gilt hier verstärkt. Bei einer solchen Fragestellung ist es sogar denkbar, dass man mit einer Reihe verschiedener Parametersätze simuliert, für die Realitätsnähe gegeben ist und wenn die Antwort auf die Fragestellung immer dieselbe ist gänzlich auf eine Kalibrierung für den konkreten Fall verzichtet.

Schließlich kann eine Simulation dazu dienen, diffuse Zweifel an der Funktionsfähigkeit einer Planung zu konkretisieren. Wenn in einem Planungsverfahren in der Diskussion zwischen Planern und genehmigenden Stellen der primäre Fokus weg von der Sicherheit und hin zu technischen und organisatorischen Auflagen sowie ökonomischen Erwägungen geht, kann der Nutzen einer Simulation darin bestehen nicht Antworten zu geben, sondern Fragen zu stellen. Fragen, die jeder versteht und deren Beantwortung deswegen nicht ausgewichen werden kann. In einer solchen Situation erfüllen sowohl konservativ als auch optimistisch-realistische Parameter ihren Zweck und eine Kalibrierung darüber hinaus kann gänzlich entfallen, sofern die aufgeworfenen Fragen eindeutig sind.

Aus diesen Gründen verzichtet die RiMEA-Richtlinie darauf zum Bestehen der Tests feste und konkrete Grenzen anzugeben.

### **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 Messung des Fundamentaldiagramms**

Es soll die gezeigte Abbildung (Abbildung 4) modelliert werden (Korridor, 1.000 m lang, 10 m breit). ~~Es gibt drei Messstellen (2 x 2 m), wobei die gepunktete Messstelle die Hauptmessstelle ist, die beiden anderen grauen Messstellen dienen als Kontrollmessstellen.~~

Der Korridor ist mit unterschiedlichen Personendichten mit möglichst gleicher freier Gehgeschwindigkeit zu füllen (bspw. 1,2 – 1,4m/s): 0,5 P/m<sup>2</sup>, 1 P/m<sup>2</sup>, 2 P/m<sup>2</sup>, 3 P/m<sup>2</sup>, 4 P/m<sup>2</sup>, 5 P/m<sup>2</sup> und 6 P/m<sup>2</sup>.

~~Beim Erreichen eines stationären Zustands ist der Fluss der Agenten zu messen (gemittelt über 60s). Die Ergebnisse sind in Form eines Fundamentaldiagramms darzustellen (Fluß in Abhängigkeit von der Dichte). An den Messstellen ist nun bei der vorgegebenen Dichte die Durchschnittsgeschwindigkeit der Agenten Personen über eine Dauer n-Zeitraum von 60 Sekunden zu ermitteln, die ersten 10 Sekunden können als „Einschwingvorgang“ vernachlässigt werden. Aus den Ergebnissen (Geschwindigkeit bei vorgegebener Dichte) können die entsprechenden Fundamentaldiagramme erstellt werden, wobei für den Personenfluss die Umrechnung Fluss = Geschwindigkeit \* Dichte zugrunde gelegt wird.~~

Um sicherzustellen, dass auch das Fundamentaldiagramm auch bei einer „Linienbewegung“ ~~abgebildet~~ durch das Programm wiedergegeben wird, ist ~~zusätzlich das Diagramm für einen der Korridor der soweit in seiner Breite einer Person darzustellen zu verkleinern, dass die Personen sich nur hintereinander bewegen können~~

~~und ein überholen nicht möglich ist.~~

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

### Test 7 Zuordnung der demographischen Parameter

Wähle gemäß Abbildung 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.

## A 3 Funktionale Verifizierung

Funktionale Verifizierung ~~bedeutet die Prüfung~~~~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 6 gezeigten dreistöckigen Testgrundriss soll aufgezeigt werden, wie sich die ~~E~~Gesamtentfluchtungsdauer verändert, wenn einzelne ~~Agenten~~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.~~

## A4 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 AgentenPersonen (vgl. Abbildung 7). Wähle als Demographie eine Population von erwachsenen Personen aus Abbildung 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: Schließe Tür 1 und Tür 2 werden versperrt und wiederhole Schritt 1 wird wiederholt.

Das erwartete Ergebnis ist eine Vergrößerung ungefähr Verdopplung der Entfluchtungsdauer-DauerZeit zum Verlassen des Raums. 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 8 mit einer Population von erwachsenen Personen aus Abbildung 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.

### Test 11 Wahl des Rettungsweges

Ein öffentlicher Raum verfügt über 2 Ausgänge: Ausgang 1 und Ausgang 2 (vgl. Abbildung 9). Wähle eine Population von 1.000 Agenten mit der Demographie von erwachsenen Personen aus Abbildung 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.

## Test 12 Auswirkung von Engstellen

Konstruiere einen Raum, der durch einen Gang mit einem weiteren Raum verbunden ist (vgl. Abbildung 10) und fülle ihn wie gezeigt mit einer Population von 150 Agenten mit der Demographie von erwachsenen Personen aus Abbildung 2 mit sofortiger Reaktion erwachsenen Personen (Gehgeschwindigkeit gemäß Abbildung 2). ~~Die Reaktionsdauer betrage 0 s.~~

Da der Personenstrom durch den Gang begrenzt wird, sollte der Stau darf es nur in Raum 1 größer sein als ein möglicher Stau in Raum 2 zu einem Stau kommen und in Raum 2 nicht.

~~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 11) besetzt wie gezeigt mit einer Population von 150 erwachsenen Personen aus Abbildung 2 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.

## Test 14 Routenwahl

Startbereich (in der nachfolgenden Abbildung 12 mit „Start“ gekennzeichnet) und Zielbereich („Ziel“) sind durch zwei Treppen (dunkelgrau) 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“).~~

## Test 15 Bewegung einer großen Menge AgentenFußgänger um eine Ecke

Mit Test 15 soll aufgezeigt werden, in wie weit die Bewegung von Personen um eine Ecke einen Einfluss auf die berechnete Evakuierungsdauerzeit hat. Nähere Hintergrundinformationen können aus den Veröffentlichungen<sup>17</sup> und <sup>18</sup> entnommen werden.

Konstruiere drei Geometrien wie in Abbildung 13 dargestellt. In dem Startbereich („Start“) befinden sich 500 Personen. Dieser Bereich ist je nach gewähltem Programm entsprechend auszuführen. Für jede Geometrie ist die gleiche Personengruppe zu wählen, so dass die Ausgangsbedingungen für alle drei Geometrien

identisch sind. Das Ziel ist der mit „Ziel“ gekennzeichnete Bereich.

Durch den Vergleich der Ergebnisse (Zeitdauer, bis alle Personen das Ziel erreicht haben) kann festgestellt werden, in wie weit eine Ecke einen Einfluss auf das Simulationsergebnis hat, da die rechte Abbildung den kürzesten Weg darstellt und die linke Abbildung den längsten Weg. ~~Im Idealfall liegt das Ergebnis der „Ecke“ zwischen den beiden Ergebnissen für den geraden kürzesten bzw. längsten Weg.~~

## 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 2: 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.

Entsprechend der oben aufgeführten Kategorisierungen, lassen sich folgende Minimum- und Maximumwerte für die Verteilung der individuellen Reaktionsdauern ableiten. Das Intervall der individuellen Reaktionszeiten erstreckt sich somit zwischen den minimalen und maximalen Werten:

$\Delta t_{\text{Reakt}} = t_{\text{Reakt, max}} - t_{\text{Reakt, min}}$

### **Kommentar:**

~~Die Parameter A und M sind äußerst verwirrend:~~

~~A: Das Alarmierungssystem wie es hier unterschieden wird hat eigentlich nur Einfluss auf  $t_{\text{Alarm}}$ , was vor~~

unserer Reaktionsdauer stattfindet. Insofern ist es fraglich, welchen Einfluss A haben soll. Purser selbst hat zugegeben, dass A keinen Einfluss auf die Auswahl der Reaktionsdauer hat, insofern könnte man es auch streichen.

M: In Diskussionen hat sich gezeigt dass die Angaben des Parameters M zu ungenau sind. Was bedeutet z.B. "Große Zahl gut geschulter Brandschutzhelfer" (M1)? Es gab schon Projekte, wo lange über diese unpräzisen Angaben diskutiert wurde. Eine Kategorisierung z.B. dem Anteil an Helfern wäre hilfreich.