



**RiMEA e. V.**  
www.rimea.de

## **Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen**

**Version: 3.0.0**

**10. März 2016**

Frühere Ausgabe: Version 2.2.1 vom 08. Juni 2009

© 2004 – 2016 RiMEA e.V., [www.rimea.de](http://www.rimea.de)

Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz.



---

## **Guideline for Microscopic Evacuation Analysis**

**Version: 3.0.0**

**10 March 2016**

Former edition: Version 2.2.1, 08 June 2009, in German only

© 2004 – 2016 RiMEA e.V., [www.rimea.de](http://www.rimea.de)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License.



**Richtlinie  
für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen**

Version: 3.0.0  
10. März 2016

© 2004 – 2016 RiMEA e.V., [www.rimea.de](http://www.rimea.de)  
Lizenz/Licence: CC BY-ND 4.0

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

Frühere Ausgabe: Version 2.2.1 vom 08. Juni 2009

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Präambel</b>	<b>.....5</b>
<b>1 Anwendungsbereich</b>	<b>.....7</b>
<b>2 Begriffe</b>	<b>.....8</b>
2.1 Mikroskopische Entfluchtungsanalyse	8
2.2 Bauliche Anlagen	8
2.3 Freifläche	8
2.4 Versammlungsstätten	8
2.5 Entfluchtung	9
2.6 Fluchtweg	9
2.7 Sicherer Bereich	9
2.8 Personenbelegung	9
2.9 Signifikante Stauung	9
2.10 Freie Laufgeschwindigkeit	9
2.11 Detektionszeit $t_{\text{Detekt}}$	9
2.12 Alarmierungszeit $t_{\text{Alarm}}$	10
2.13 Individuelle Reaktionszeit $t_{i, \text{Reakt}}$	10
2.14 Individuelle Laufzeit $t_{i, \text{Lauf}}$	10
2.15 Individuelle Entfluchtungszeit $t_{i, \text{Flucht}}$	10
2.16 Entfluchtungszeit $t_{\text{Flucht}}$	11
2.17 Statistische Auswertung wiederholter Simulationsläufe	11
2.17.1 Minimale Entfluchtungszeit $t_{\text{Flucht, min}}$	11
2.17.2 Maximale Entfluchtungszeit $t_{\text{Flucht, max}}$	11
2.17.3 Mittlere Entfluchtungszeit $t_{\text{Flucht, mittel}}$	11
2.17.4 Standardabweichung $S_{\text{Flucht}}$	11
2.17.5 Signifikante Entfluchtungszeit $t_{\text{Flucht, signifikant}}$	11
<b>3 Eingabegrößen für Simulationsmodelle</b>	<b>.....12</b>
3.1 Kategorie GEOMETRIE	12
3.2 Kategorie POPULATION	12
3.2.1 Allgemeines	12
3.2.2 Eigenschaften der Population	14
3.2.3 Reaktionszeit	14
3.2.4 Freie Gehgeschwindigkeit in der Ebene	14
3.2.5 Freie Gehgeschwindigkeiten auf Treppen	16

**Guideline  
for Microscopic Evacuation Analysis**

Version: 3.0.0  
10 March 2016

Seite 2 / 58  
Page 2 / 58

The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Former edition: Version 2.2.1, 08 June 2009, in German only

**Contents**

<b>Preamble</b>	<b>..... 5</b>
<b>1 Area of application</b>	<b>..... 7</b>
<b>2 Terminology</b>	<b>..... 8</b>
2.1 Microscopic evacuation analysis	8
2.2 Built environment	8
2.3 Open area	8
2.4 Places of assembly	8
2.5 Evacuation	9
2.6 Escape route	9
2.7 Place of safety	9
2.8 Occupancy	9
2.9 Significant congestion	9
2.10 Free walking speed	9
2.11 Detection time $t_{\text{Detect}}$	9
2.12 Alarm time $t_{\text{Alarm}}$	10
2.13 Individual premovement time $t_{i, \text{Premovement}}$	10
2.14 Individual walking time $t_{i, \text{Walk}}$	10
2.15 Individual evacuation time $t_{i, \text{Evac}}$	10
2.16 Evacuation time $t_{\text{Evac}}$	11
2.17 Statistical evaluation of repeated simulation runs	11
2.17.1 Minimum evacuation time $t_{\text{Evac, min}}$	11
2.17.2 Maximum evacuation time $t_{\text{Evac, max}}$	11
2.17.3 Average evacuation time $t_{\text{Evac, mean}}$	11
2.17.4 Standard deviation $S_{\text{Evac}}$	11
2.17.5 Significant evacuation time $t_{\text{Evac, significant}}$	11
<b>3 Input variables for simulation models</b>	<b>..... 12</b>
3.1 Category GEOMETRY	12
3.2 Category POPULATION	12
3.2.1 General	12
3.2.2 Characteristics of the population	14
3.2.3 Premovement time	14
3.2.4 Free walking speed in the plane	14
3.2.5 Free walking speeds on stairs	16

3.2.6	Personendichten oder -anzahl der Anfangsverteilung .....	16
3.2.7	Altersverteilung der Population .....	16
<b>4</b>	<b>Durchführung von Analysen und Simulationen .....</b>	<b>20</b>
4.1	Beschreibung der einflussnehmenden Faktoren und Randbedingungen .....	20
4.2	Betrachtete Szenarien .....	21
4.2.1	Anfangsverteilung der Personen .....	21
4.2.2	Anordnung der Fluchtwege - grundlegender Entfluchtungsfall .....	21
4.2.3	Flexibilität der Fluchtwege - zusätzliche Entfluchtungsfälle .....	22
4.2.4	Berechnung der Maximalbelegungszahl .....	22
4.3	Behandlung der Entfluchtungszeiten ..	22
4.4	Identifizierung von Stauungen .....	24
<b>5</b>	<b>Dokumentation .....</b>	<b>25</b>
5.1	Dokumentation der Arbeitsschritte .....	25
5.2	Dokumentation des verwendeten Simulationsverfahrens .....	25
5.3	Dokumentation der Simulationsergebnisse .....	26
5.3.1	Struktur der Dokumentation .....	26
5.3.2	Identifizierung von kritischen Bewegungsabläufen und Stauungen .....	26
5.4	Mindestinhalt einer Entfluchtungsanalyse .....	26
5.4.1	Titelblatt .....	26
5.4.2	Anlass und Fragestellung .....	26
5.4.3	Objektbeschreibung .....	26
5.4.4	Beschreibung der verwendeten Software und des Modells ....	27
5.4.5	Beschreibung der Evakuierungsszenarien .....	27
5.4.6	Ergebnisse / Besonderheiten .....	28
5.4.7	Interpretation der Ergebnisse .....	28
5.4.8	Schlusswort / Fazit .....	28
5.5	Korrekturmaßnahmen .....	28

3.2.6	Densities or number of persons in the initial distribution .....	16
3.2.7	Age distribution of the population .....	16
<b>4</b>	<b>Carrying out analyses and simulations .....</b>	<b>20</b>
4.1	Description of influencing factors and boundary conditions .....	20
4.2	Scenarios considered .....	21
4.2.1	Initial distribution of persons .....	21
4.2.2	Arrangement of escape routes – fundamental evacuation scenario .....	21
4.2.3	Flexibility of escape routes – additional evacuation scenarios .....	22
4.2.4	Calculating the maximum number of persons .....	22
4.3	Treatment of evacuation times .....	22
4.4	Identifying congestion .....	24
<b>5</b>	<b>Documentation .....</b>	<b>25</b>
5.1	Documentation of work steps .....	25
5.2	Documentation of the applied simulation method .....	25
5.3	Documentation of simulation results ..	26
5.3.1	Documentation structure .....	26
5.3.2	Identification of critical movement processes and congestion .....	26
5.4	Minimum content of an evacuation analysis .....	26
5.4.1	Title page .....	26
5.4.2	Objective and problem definition .....	26
5.4.3	Description of the property ..	26
5.4.4	Description of software and model used .....	27
5.4.5	Description of evacuation scenarios .....	27
5.4.6	Results / Particularities .....	28
5.4.7	Interpretation of results .....	28
5.4.8	Closing remarks / Conclusion ..	28
5.5	Corrective measures .....	28

**Richtlinie  
für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen**

Version: 3.0.0  
10. März 2016

© 2004 – 2016 RiMEA e.V., [www.rimea.de](http://www.rimea.de)  
Lizenz/Licence: CC BY-ND 4.0

**Guideline  
for Microscopic Evacuation Analysis**

Version: 3.0.0  
10 March 2016

Seite 4 / 58  
Page 4 / 58

**Anhang 1: Vorläufige Anleitung zur Validierung /  
Verifizierung von  
Simulationsprogrammen .....30**

A 1	Allgemein.....	30
A 2	Überprüfung der Komponenten.....	31
A 3	Funktionale Verifizierung.....	41
A 4	Qualitative Verifizierung.....	43
A 5	Quantitative Verifizierung.....	52

**Anhang 2: Verteilung der individuellen  
Reaktionsdauern .....53**

**Anhang 3: Literaturverzeichnis.....58**

**Annex 1: Provisional instructions for the  
validation / verification of simulation  
programs ..... 30**

A 1	General.....	30
A 2	Testing of components.....	31
A 3	Functional verification.....	41
A 4	Qualitative verification.....	43
A 5	Quantitative verification.....	52

**Annex 2: Distribution of individual reaction  
times ..... 53**

**Annex 3: Bibliography..... 58**

## Präambel

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

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

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

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

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

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

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

Es wird darauf hingewiesen, dass Fluchtwegeberechnungen nicht alle Einflüsse der Realität berücksichtigen können. Psychologische Aspekte, die zum Beispiel die Routenwahl und das Verhalten der Person beeinflussen, sind bisher noch nicht wissenschaftlich fundiert untersucht worden und können

## Preamble

According to the German Model Building Code (MBO) in the version of November 2002, built environments are to be arranged, erected, modified and maintained in such a way that they pose no risk to public safety and order, and in particular to life, health and the natural environment. In addition, built environments must be designed in such a way that it is possible to rescue occupants and animals as well as to take effective extinguishing measures in the event of fire.

The German Model Ordinance Governing Places of Assembly (MVStättV, in the version of June 2005) contains corresponding regulations for places of assembly. Part 2, Section 2 of the MVStättV focuses on the routing and dimensioning of escape and rescue routes.

In individual cases, Section 51 Para. 7 of the MBO permits deviations from the general regulations for fire protection systems, devices and measures for special-purpose buildings.

In addition to compliance with official building regulation stipulations on admissible escape route lengths and necessary exit widths, it is advisable to carry out evacuation calculations as part of a holistic fire protection concept, in particular for buildings that are intended for use by a large number of persons. The same applies to special-purpose buildings, in particular in the case of the aforementioned deviations.

The use of computer-assisted methods for verifications of this kind creates new challenges for the supervisory authorities. Standardised criteria are necessary, in particular for the assumed scenarios and parameters for an escape route calculation.

The same applies for the assessment of the reliability and accuracy of software programs.

The model guideline presented here is designed as a guide for the approval authorities and defines standardised methods for both of these requirements.

It is important to point out that escape route calculations cannot take account of all influencing factors that occur in real situations. Psychological aspects, which for example influence the choice of route and the behaviour of the person in question,

## Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen

Version: 3.0.0  
10. März 2016

© 2004 – 2016 RiMEA e.V., [www.rimea.de](http://www.rimea.de)  
Lizenz/Licence: CC BY-ND 4.0

nur durch statistische Verhaltensweisen implementiert werden. Da jedoch das Verhalten in der Realität durch den Einfluss von psychologischen Aspekten stark und unvorhersehbar variieren kann, können solche Effekte in der Simulation nur bedingt berücksichtigt werden. Somit stellt die Simulation einen idealisierten Fall dar, bei dem sich die Personen gemäß der Parameter und Routenvorgaben des Benutzers bewegen.

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

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

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

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

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

## Guideline for Microscopic Evacuation Analysis

Version: 3.0.0  
10 March 2016

Seite 6 / 58  
Page 6 / 58

have not yet been investigated in a scientifically robust way and can only be taken into consideration based on statistical modes of behaviour. As, however, behaviour in real life situations can vary widely and be unpredictable due to the influence of psychological aspects, any simulation can take only limited account of these effects. As a result, simulation represents an idealised case in which persons move in accordance with the parameters and route specifications of the user.

The objective of this guideline is to define the methodology (including topic related terminology, general properties of simulation models, and the elements and necessary work steps, etc.) for the creation of a simulation based evacuation analysis and:

1. To statistically document the total evacuation time or the evacuation time of sub-areas of built environments and to assess these times in consideration of safety-related aspects
2. To provide verification in individual cases that the planned or existing escape and rescue routes are adequate for the anticipated numbers of persons in deviation from the dimensioning requirements of German building law
3. To show that escape measures are sufficiently flexible in the event that certain escape and rescue routes or secured zones are not available as a result of an incident
4. Wherever possible, to identify significant congestions that occur due to the normal movement of persons along the escape and rescue routes

This guideline defines a minimum standard with regard to the input variables, the modelling process, the mathematical simulation and the evaluation and documentation of an evacuation analysis.

The methodology for a simulation-based evacuation analysis outlined in this guideline is designed to permit assessment of the effectiveness of an escape and rescue concept as part of a built environment.

*N.B.: numerical values in [ ] are assumed values and should be replaced by more precise values as soon as these become available.*

## **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 der baulichen Anlage werden auf Grundlage von empirischen Untersuchungen, Beobachtungen und der Auswertung von Schadensfällen in Form von vereinfachten mathematischen Regeln mit Hilfe eines rechnerischen Entfluchtungsmodells nachgebildet.

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.

## **1 Area of application**

Simulation-based evacuation analysis is designed to determine the evacuation time of built environments and outdoor areas in which the free, unhindered pedestrian flow is influenced and to review the planning and effectiveness of escape and rescue routes, in particular with regard to pinpointing areas with significant congestions. It is based on a computer-based simulation representing each individual person and the detailed floor plan. The movement of persons and the interaction with the built environment are simulated on the basis of empirical investigations, observations and the evaluation of damage events using simplified mathematical rules with the help of a mathematical evacuation model.

This guideline can generally be applied to all built environments as defined in Section 2 (1) of the MBO, including all other outdoor areas or properties that are to be assessed within the context of an evacuation analysis.

The focus of the method for evacuation analysis described in this guideline is on places of assembly as defined in the MVStättVO [1], in particular:

1. Places of assembly with meeting rooms that hold more than 200 persons in total
2. Outdoor places of assembly that hold more than 1,000 visitors
3. Sports stadia that hold more than 5,000 spectators
4. Buildings of a special kind and used for special purposes (special-purpose buildings).

The methodology described in this guideline can additionally be used for all other buildings.



## **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 Terminology**

The following terms are defined for the application of this document.

### **2.1 Microscopic evacuation analysis**

Computer-supported analysis of independent movements of persons towards a safe location in which each agent (person modelled in the computer) performs individual movements based on individual parameters, capabilities and/or behavioural attitudes based on computer-assisted algorithms.

NOTE: in contrast to flow calculations (e. g. Predtetschenski & Milinski) that view flows of persons as flows of liquid (= macroscopic), microscopic evacuation analysis represents the movement of each individual person. In this representation, each person possesses individual characteristics that characterise their behaviour. Microscopic evacuation analysis supplies information on both the total evacuation time and on locations and times of congestions.

### **2.2 Built environment**

An installation made of construction products and connected to the ground.

### **2.3 Open area**

Open or enclosed area without superstructure that can be used as a place of assembly, for example.

### **2.4 Places of assembly**

Built environment, part of a built environment or outdoor area that is intended for the gathering of a large number of people at events, in particular events of an educational, commercial, social, cultural, political, sporting or entertainment nature.

NOTE: in contrast to the MVStättV, this definition additionally includes the concept of outdoor areas, as microscopic evacuation analyses are not limited to built environments (e.g. concerts or similar large-scale events on outdoor areas).



## **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 Signifikante Stauung**

Stocken eines Personenstroms oberhalb eines Schwellenwertes bis hin zum zeitweisen Stillstand.

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

## **2.10 Freie Laufgeschwindigkeit**

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

## **2.11 Detektionszeit $t_{\text{Detekt}}$**

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.

## **2.5 Evacuation**

Independent „moving to safety“ of persons from an endangered area.

## **2.6 Escape route**

Physical installation that creates safe routing for persons so that they can move from any point in the built environment to a place of safety.

## **2.7 Place of safety**

Area at the end of an escape route in which humans and animals are protected from the actions of the damaging event and can be provided with assistance by helpers or emergency personnel.

NOTE: a place of safety can be located both inside and outside a building. The size of a place of safety must be adequate for the maximum anticipated number of escaping persons and the care of these persons.

## **2.8 Occupancy**

Number of persons in the built environment to be analysed based on the utilisation concept which is considered for analysis of the escape routes.

## **2.9 Significant congestion**

Slowdown of the flow of persons above a threshold value all the way through to temporary standstill.

NOTE: the significance criterion in this respect is the waiting time – in other words, the time difference between an evacuation in which all persons move at their free walking speed and the time required for an evacuation with occurring congestions.

## **2.10 Free walking speed**

Speed of persons with extremely low local density of persons (close to zero).

## **2.11 Detection time $t_{\text{Detect}}$**

Time span from begin of the trigger incident (e.g. fire) up to its discovery.

NOTE: in this specification, the term „time“ is always used to describe a duration. This corresponds to general usage. In the definitions, the term „time span“ is used to denote the difference between two points in time.

## 2.12 Alarmierungszeit $t_{Alarm}$

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

## 2.13 Individuelle Reaktionszeit $t_{i, Reakt}$

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 Laufzeit $t_{i, Lauf}$

Zeitspanne, die eine Person benötigt, um von ihrer anfänglichen Position zu einem sicheren Ort (Sammelplatz, anderer Brandabschnitt, Ausgang oder Ähnliches) zu gelangen.

## 2.15 Individuelle Entfluchtungszeit $t_{i, Flucht}$

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

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

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

## 2.12 Alarm time $t_{Alarm}$

Time span between the discovery of a trigger incident and the activation of the evacuation signal (alarm or voice announcement as a request for evacuation).

## 2.13 Individual premovement time $t_{i, Premovement}$

Time span between the activation of the evacuation signal and the start of evacuation of an individual person.

NOTE: the individual premovement time includes the perception of indications, the issuing and reception of instructions and the performance of all other activities before the start of evacuation.

## 2.14 Individual walking time $t_{i, Walk}$

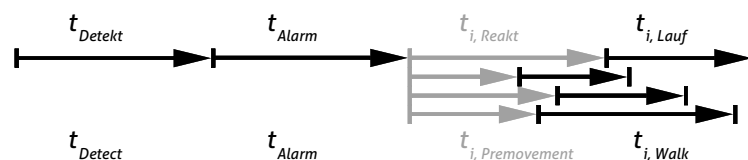
Time span that a person needs to travel from their initial position to a safe location (assembly point, different fire compartment, exit or similar).

## 2.15 Individual evacuation time $t_{i, Evac}$

Sum of general detection and alarm times as well as the individual premovement and walking time; i.e.

$$t_{i, Evac} = t_{Detect} + t_{Alarm} + t_{i, Premovement} + t_{i, Walk}$$

NOTE: Figure 1 shows the graphic relationship between the time components outlined above.



**Abbildung 1:** Grafische Darstellung der einzelnen Zeitkomponenten der individuellen Entfluchtungszeit  
**Figure 1:** Graphic representation of the individual time components of the individual evacuation time

## **2.16 Entfluchtungszeit $t_{Flucht}$**

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

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

ANMERKUNG: Der Begriff Gesamtentfluchtungszeit wird hier nicht verwendet. Die Gesamtentfluchtungszeit entspricht der Entfluchtungszeit.

## **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 $t_{Flucht,min}$**

Minimum aus einem Ensemble von Entfluchtungszeiten.

### **2.17.2 Maximale Entfluchtungszeit $t_{Flucht,max}$**

Maximum aus einem Ensemble von Entfluchtungszeiten.

### **2.17.3 Mittlere Entfluchtungszeit $t_{Flucht,mittel}$**

Arithmetischer Mittelwert aus einem Ensemble von Entfluchtungszeiten.

### **2.17.4 Standardabweichung $S_{Flucht}$**

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

### **2.17.5 Signifikante Entfluchtungszeit $t_{Flucht,signifikant}$**

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

## **2.16 Evacuation time $t_{Evac}$**

Maximum of all individual evacuation times for an evacuation process; i.e.

$$t_{Evac} = \max(t_{i, Evac})$$

NOTE: the term „total evacuation time“ is not used here. The total evacuation time corresponds to the evacuation time.

## **2.17 Statistical evaluation of repeated simulation runs**

A sufficient number of simulation runs is to be performed in order to assess different constellations at the start and during the evacuation in which agents (persons) with different characteristics randomly encounter other agents over the course of time. Only the distribution of the results obtained in this way permits a substantiated assessment of the evacuation situation. In terms of a statistical analysis, this supplies the following parameters:

### **2.17.1 Minimum evacuation time $t_{Evac,min}$**

Minimum from a collection of evacuation times.

### **2.17.2 Maximum evacuation time $t_{Evac,max}$**

Maximum from a collection of evacuation times.

### **2.17.3 Average evacuation time $t_{Evac,mean}$**

Arithmetic mean from a collection of evacuation times.

### **2.17.4 Standard deviation $S_{Evac}$**

Statistical measure for the scatter of values around the expected value of a distribution.

### **2.17.5 Significant evacuation time $t_{Evac,significant}$**

Time from a collection of (total) evacuation times that is greater than or equal to a threshold value to be defined.

### **3 Eingabegrößen für Simulationsmodelle**

Die im Folgenden aufgeführten Eingabegrößen 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, 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-)Begehrbarkeit.

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 Reaktionszeit.

Die statistische Zusammensetzung der Population ist typischerweise gleichbleibend für alle Simulationsläufe eines Szenarios mit Ausnahme der Reaktionszeit 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;

### **3 Input variables for simulation models**

The input variables listed below are to be defined, justified and documented based on the situation to be investigated (cf. Section 4 and 5) and the sources used are to be named. Typical values for the various input variables can be taken from the applicable laws and regulations as well as the generally accepted standards such as the vfdb guideline, RiMEA, or the simulation software manuals. It is advisable to consult the competent approval authority beforehand.

#### **3.1 Category GEOMETRY**

This category describes the spatial arrangement and geometry of the building and/or the escape routes, their (non-)reachability and their (non-)accessibility.

The building geometry is to be taken into account for all aspects that are of importance for the process of simulation. These aspects include the separation into levels and storeys, obstacles, walls, staircases, ramps, doors and exits.

#### **3.2 Category POPULATION**

The composition of the population is based on age, physical attributes and premovement time.

The statistical composition of the population is typically the same for all simulation runs of a scenario with the exception of the premovement time and the starting position of the persons in question. If data on the composition of the population is available, this should be used where possible (e.g. adjustment of parameters for schools or care homes).

##### **3.2.1 General**

The category POPULATION describes the minimum requirements for the characteristics and composition of the population:

- a) Each person is represented individually in the simulation.
- b) The fundamental rules for decisions and movements are the same for all persons and are described by a documented, universal algorithm.

- c) 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;
- d) Die Bewegung jeder einzelnen Person muss aufzeichnenbar sein;
- e) Die Personenparameter variieren zwischen den Individuen einer Population;
- f) Der Zeitunterschied zwischen zwei Aktionen der abgebildeten Personen (Agenten) in der Simulation (also die Zeit, innerhalb derer alle Personen agieren) soll zeitlich hoch aufgelöst sein, 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 Personengruppen gleiche Fluchtwege nutzen. Explizites Gruppenverhalten wie z. B. das Zusammenbleiben einer Gruppe muss in der Analyse nicht berücksichtigt werden.
- c) The capability of each person or group of persons is defined by a set of person parameters. Some of these parameters have a stochastic effect on the behaviour of the persons in question.
- d) The movement of each individual person must be recordable.
- e) The person parameters vary between the individuals of a population.
- f) The time difference between two actions of the modeled persons (agents) in the simulation (in other words, the time within which all persons act) should be of a high time based resolution so that it is possible to consistently model the necessary movement and behavioural actions together with their interactions (microscopic analysis).
- g) The choice of scenarios to be analysed must take account of the population that applies to the property in question, the choice of escape routes and, where applicable, the effect of environmental factors. Simulations can be performed with the following framework conditions:
  - a) The persons move along the escape routes.
  - b) Group behaviour is implicitly taken into account by the fact that the defined groups of persons use the same escape routes. Explicit group behaviour, such as a group staying together, does not need to be taken into account in the analysis.

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

In the absence of one or more framework conditions, it may be necessary to adjust the acceptable significant total evacuation time.

### 3.2.2 Eigenschaften der Population

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

#### 3.2.3 Reaktionszeit

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 Reaktionsdauerverteilungen bestimmt werden.

- Schnelle Entfluchtung: Alle Personen erhalten eine Reaktionszeit von 0 Sekunden. Dies bewirkt durch die gleichzeitige Reaktion aller Personen ein hohes Personenaufkommen auf den Flucht- und Rettungswegen.
- Zügige Entfluchtung: Die Personen erhalten eine gleichverteilte Reaktionszeit von 0-60 Sekunden zugewiesen und reagieren somit innerhalb einer Minute.
- Langsame Entfluchtung: Die Personen erhalten eine gleichverteilte Reaktionszeit. 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.

### 3.2.2 Characteristics of the population

Based on the utilisation of the built environment, it is expedient to define a sufficiently conservative parameter set for the population which takes account not only of walking speed but also of body size, general physical performance and sensitivity to external actions.

#### 3.2.3 Premovement time

If the exact details of the evacuation concept are known, the premovement times can be defined in line with „Annex 2: Distribution of individual pre-movement times“, the vfdb guideline or other standards. In all other cases, the sensitivity of the evacuation concept must be determined based on three scenarios with the following three pre-movement time distributions.

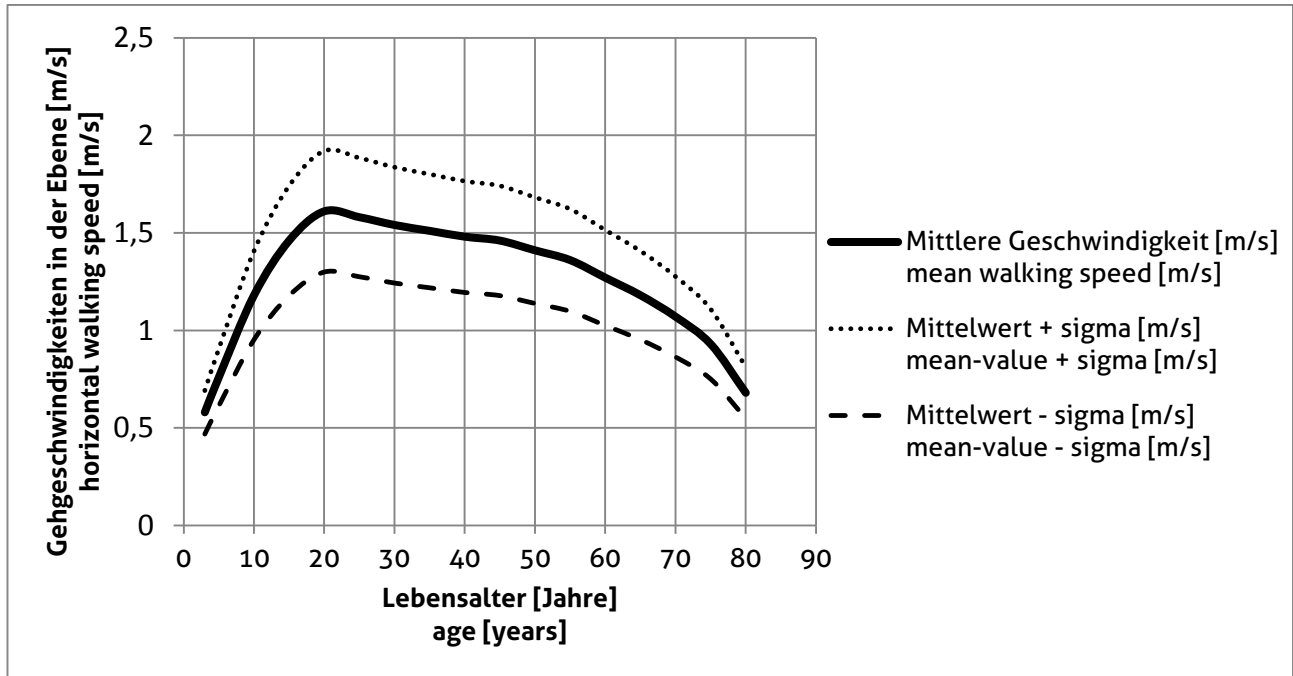
- Rapid evacuation: all persons are assigned a premovement time of 0 seconds. Due to the simultaneous reaction of all persons, this results in a high volume of persons in the escape and rescue routes.
- Speedy evacuation: the persons are assigned a uniformly distributed premovement time of 0-60 seconds and therefore react within the space of one minute.
- Slow evacuation: the persons are given a uniformly distributed premovement time. The values can be taken from „Annex 2: Distribution of individual premovement times“:

The distribution of premovement times may vary depending on type of building and event and is to be adjusted in the event of deviations from the example outlined above.

#### 3.2.4 Free walking speed in the plane

If precise information is available on the population in the property, the walking speeds can be defined in line with Table 1 or Figure 2 in the vfdb guideline or other standards. The average walking speeds for the typical population are to be determined and documented in dependence on age.

There are various publications regarding the average walking speeds for a typical urban population as a function of age. It is advisable to use the values based on those in the publications by Weidmann [2].



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

**Figure 2:** Walking speed in the plane as a function of age based on Weidmann [2]

Personengruppe	Gehgeschwindigkeit in der Ebene (m/s)	
	Minimum	Maximum
Personen mit beeinträchtigter Mobilität <sup>1</sup>	0,46	0,76

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

Group of persons	Walking speed on the level (m/s)	
	Minimum	Maximum
Persons with impaired mobility <sup>2</sup>	0.46	0.76

**Table 1:** Walking speeds in the plane for persons with impaired mobility

Die Gehgeschwindigkeit von Männern ist nach Weidmann [2] im Mittel um 10,9 % höher als die von Frauen. Dies ergibt für Männer eine mittlere

According to Weidmann [2], the walking speed of men is 10.9% higher than that of women on

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

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

<sup>2</sup> These values are taken from:

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



freie Gehgeschwindigkeit von 1,41 m/s und für Frauen von 1,27 m/s.

### **3.2.5 Freie Gehgeschwindigkeiten auf Treppen**

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 Personendichten oder -anzahl der Anfangsverteilung**

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.

average. This supplies a mean free walking speed of 1.41 m/s for men and 1.27 m/s for women.

### **3.2.5 Free walking speeds on stairs**

The walking speed on stairs can be recorded either by means of speed distribution or based on a reduction factor which is multiplied by the walking speed in the plane. Simulation models must take account of the tendencies outlined in the literature with sufficient accuracy. For the purpose of simplification, calculations on stairs can also use a walking speed whose horizontal component in both directions (up the stairs and down the stairs) corresponds to half the walking speed in the plane (see Table 1 or Figure 2).

Fruin [3] investigated the walking speeds on stairs. He distinguished between indoor stairs (no. 1, gradient ratio 17.8 cm / 28.6 cm) and outdoor stairs (no. 2, gradient ratio 15.2 cm / 30.5 cm). The average walking speeds (horizontal speeds) are summarised in Table 2.

### **3.2.6 Densities or number of persons in the initial distribution**

The initial distribution or initial number of persons defines the densities or numbers of persons or the seating or occupancy plan that is to be used as a basis for the distribution of persons at the beginning of the simulation process. If concrete data is available, it should be incorporated in the analysis and the source of the data named.

Otherwise, it is possible to use the guide values in Table 3.

### **3.2.7 Age distribution of the population**

If no data is available, the following standard population should be used. It is made up of 50% men and 50% women whose ages are normally distributed between the minimum and the maximum values as shown in Figure 3. The mean age value is 50 years, the standard deviation 20 years. The minimum age is 10 years, the maximum age 85 years.

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

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

Group of persons	Mean walking speeds on stairs (m/s)			
	downstairs		upstairs	
	(1)	(2)	(1)	(2)
Under 30 years of age	0.76	0.81	0.55	0.58
30 to 50 years of age	0.65	0.78	0.50	0.58
Over 50 years of age	0.55	0.59	0.42	0.42
Persons with impaired mobility	0.42		0.32	

*Table 2: Mean walking speeds on stairs according to Fruin [3]*

Gebäudetyp	Personendichte (Personen/m <sup>2</sup> )	Quelle
Kaufhaus	0,18 - 0,36	NFPA <sup>3</sup>
Bürogebäude	0,11	NFPA
Lager	0,04	NFPA
Messen	1,00	MVStättV <sup>4</sup>
Versammlungsräume	2,00	MVStättV
Stehplatzbereiche in Zuschaueranlagen	3,50 – max. 4,70	DIN EN 13200-1 <sup>5</sup>

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

Building type	Density of persons (persons/m <sup>2</sup> )	Source
Department store	0.18 – 0.36	NFPA <sup>6</sup>
Office building	0.11	NFPA
Warehouse	0.04	NFPA
Trade fair	1.00	MVStättV <sup>7</sup>
Meeting rooms	2.00	MVStättV
Standing areas in spectator facilities	3,50 – max. 4,70	DIN EN 13200-1 <sup>8</sup>

**Table 3:** Guide values as densities for the initial distribution of the population

<sup>3</sup> National Fire Protection Association

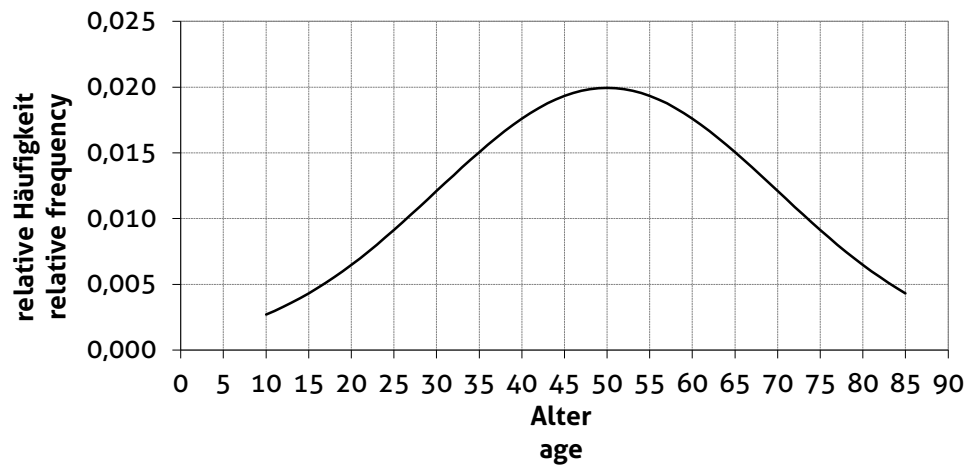
<sup>4</sup> Muster-Versammlungsstättenverordnung, Fassung Juni 2005, zuletzt geändert Juli 2014

<sup>5</sup> Zuschaueranlagen - Teil 1: Allgemeine Merkmale für Zuschauerplätze, November 2012

<sup>6</sup> National Fire Protection Association

<sup>7</sup> MVStättVO, June 2005 version, last edited on July 2014

<sup>8</sup> Zuschaueranlagen - Teil 1: Allgemeine Merkmale für Zuschauerplätze, November 2012  
(Spectator facilities - Part 1: General characteristics for spectator viewing area, November 2012)



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

**Figure 3:** Age distribution of the RiMEA standard population made up of 50% men and 50% women

## **4 Durchführung von Analysen und Simulationen**

Die Entfluchtungsanalyse beschreibt die Einbindung der (Gesamt-) Entfluchtungszeit der Entfluchtungssimulation 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) 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 Carrying out analyses and simulations**

The evacuation analysis describes how the (total) evacuation time from the evacuation simulation is integrated into the context of the fire protection infrastructure and the building-specific risk assessment by the author of the evacuation concept. It consists of the following steps:

### **4.1 Description of influencing factors and boundary conditions**

- 1) Definition of the geometrical model
- 2) Definition of the population size and initial distribution
- 3) Definition of the population composition and distribution
- 4) Description of the escape route concept
- 5) Naming of the triggering event for the evacuation
- 6) Definition of the spatial and temporal evacuation stages
- 7) Definition of the place of safety
- 8) Description of the alarm system
- 9) Description of organisational measures

## **4.2 Betrachtete Szenarien**

Die Berechnung der Entfluchtungszeit 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 Änderungen eines Parameters entsteht ein neues Szenario. Die geplante Nutzungsart sowie die zu erwartenden Personenzahlen sind detailliert zu beschreiben. Besonders zu berücksichtigen sind unterschiedliche Nutzungsarten innerhalb eines Objektes (z. B. Einkaufszentrum mit Multiplexkino und Versammlungsstätte). Aufgrund von unterschiedlichen Nutzungszeiten ist es erforderlich, der Nutzung entsprechende differenzierte 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 das jeweilige Objekt oder Räumlichkeiten vorgesehen ist. Da diese stark von der Nutzungs- bzw. Veranstaltungsart abhängig sein kann, muss sie gegebenenfalls beim Nutzer/Betreiber oder Planer erfragt werden. Gibt es keinerlei Angaben über die höchstzulässige Zahl der Personen im Gebäude, so muss diese wie in Abschnitt 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 Scenarios considered**

The evacuation time is calculated from the analysis of one or more scenarios. A scenario is defined by a geometry, an initial distribution of persons, a route distribution and the statistical composition of the population. Changes to a parameter result in the creation of a new scenario. The planned type of utilisation as well as the expected number of persons must be described in detail. In particular, different types of utilisation inside one building (e.g. shopping centre with a multiplex cinema and place of assembly) must be taken into account. Due to differing utilisation times, it is necessary to develop different evacuation scenarios which correspond to the particular utilisation.

### **4.2.1 Initial distribution of persons**

For the evacuation analysis, the initial distribution of persons provided for in the application plans or other documents for the relevant building or premises should be taken into account. As this may vary greatly depending on the type of utilisation or event, it may be necessary to contact the user / operator or planner. If there is no information regarding the maximum permissible number of persons in the building, then this must be explained or calculated as described in Section 4.2.4 or in accordance with the applicable laws, regulations, guidelines or policies.

### **4.2.2 Arrangement of escape routes – fundamental evacuation scenario**

All existing escape and emergency routes are available for the evacuation. Persons move along the escape routes and know their way outside or to the nearest place of safety. Here it is assumed that the following factors comply with the requirements of the relevant laws and regulations: signposting, guidance systems, training of security personnel who may be present as well as other influences related to the design and operation of the evacuation facilities. With this method, a potential lack of familiarity with the building can be accounted for by factoring in correspondingly longer premovement times.

#### **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 versperpter 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 reduzierter Personenanzahl soweit fortgesetzt, bis eine Gesamtentfluchtungsdauer innerhalb der durch die vorgegebene definierte Entfluchtungsdauer erreicht ist.

### **4.3 Behandlung der Entfluchtungszeiten**

1. Sowohl die vom Modell vorhergesagte als auch eine in der Realität gemessene (Gesamt-) Entfluchtungszeit sind zufallsbehaftete Größen. Das liegt in der statistischen Natur des Entfluchtungsprozesses begründet;
2. Für jeden Simulationsdurchgang sollen die Anfangspositionen der Personen stochastisch neu bestimmt werden;
3. Für jeden Simulationsdurchgang sollen die demographischen Parameter der Personen entsprechend der dem Szenario zugrunde liegenden Populationszusammensetzung stochastisch neu bestimmt werden;
4. Für jedes Szenario soll eine angemessene Anzahl von Simulationsdurchläufen (mindestens 10) ausgeführt werden. Das ergibt für jedes Szenario 10 Gesamtentfluchtungszeiten. Je nach statistischer Verteilung der (Gesamt-) Entfluchtungszeiten kann eine größere Anzahl an Simulationsdurchläufen notwendig sein, um eine statistisch belastbare Aussage treffen zu können.

#### **4.2.3 Flexibility of escape routes – additional evacuation scenarios**

It is recommended that additional scenarios are investigated in coordination with the competent authorities. This allows the effects of obstructed escape routes (and therefore the flexibility of the evacuation concept) to be tested. Modelling the perception of emergency signs (marking of escape routes) as part of a microscopic evacuation analysis, for example, can therefore provide important information regarding the coherence of the concept.

#### **4.2.4 Calculating the maximum number of persons**

To determine the maximum number of persons it is assumed, as in Section 4.2.2, that all available escape and emergency routes are usable, and that the legal and normative requirements for evacuation are met.

The simulation is continued with a gradually decreasing number of persons until a total evacuation time is reached that lies within the predefined evacuation time.

### **4.3 Treatment of evacuation times**

1. Both the (total) evacuation times predicted by the model and measured in reality are values that are influenced by random factors. This is due to the statistical nature of the evacuation process;
2. For every simulation run, the initial positions of the persons are to be redefined stochastically;
3. For every simulation run, the demographic parameters of the persons are to be redefined stochastically according to the underlying population composition of the scenario;
4. For each scenario, an appropriate number of simulation runs (at least 10) should be carried out. This provides 10 total evacuation times for each scenario. Depending on the statistical distribution of the (total) evacuation times, a larger number of simulation runs may be necessary in order to allow a statistically sound statement.



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-) Entfluchtungszeit sowie die Standardabweichung.
6. Die zulässige signifikante (Gesamt-) Entfluchtungszeit ist im Vorfeld mit den Behörden abzustimmen. Ihre Festlegung erfolgt durch die Bestimmung der zur Verfügung stehenden Zeit in der eine Entfluchtung ohne Einflüsse durch das auslösende Ereignis möglich ist, oder entsprechend der rechtlichen und normativen Bestimmungen. Die berechnete signifikante (Gesamt-) Entfluchtungszeit muss kleiner sein.
7. Für die akzeptablen Gesamtentfluchtungszeiten 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<sup>9</sup>, für Zuschaueranlagen im Gebäude 2 min<sup>10</sup>. 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 Fluchwegbreiten und der Annahme, dass 100 Personen für das Durchströmen einer 1,2 m breiten Tür 1 Minute benötigen (gemäß Kommentar zur MVStättV).
5. The results of all simulation runs for all scenarios are to be documented in a comprehensible manner. A graphical representation of the duration distribution (histogram) should be provided, as should the minimum, maximum and significant (total) evacuation time and the standard deviation.
6. The significant permissible (total) evacuation time is to be agreed upon in advance with the authorities. This is determined by establishing the available time in which an evacuation is possible without the influence of the triggering event, or in accordance with the legal and normative provisions. The calculated significant (total) evacuation time must be lower than this.
7. There are no legal or normative requirements for acceptable total evacuation times. The values here refer to one part of the evacuation process, e.g. the flow of persons through exit doors.
  - a) In the European Union [4] 8 min is stated for outdoor spectator facilities<sup>11</sup>, with 2 min specified for indoor spectator facilities<sup>12</sup>. These are example values, which do not contain any acceptance criteria.
  - b) In Germany [1], 2 min is stated for indoor stands and 6 min for outdoor stands. These values are for a fictional flow period (without congestion, pure flow time) and were stated in an earlier comment as values to determine the necessary width of escape routes in the MVStättV (Germany). These values are derived from a back calculation using the assumptions of the required escape route widths and the assumption that 100 persons require 1 minute to flow through a 1.2 m wide door (according to the comment on the MVStättV).

<sup>9</sup> Empfohlene maximale Dauer bis zum Erreichen eines Sicherheitsplatzes für Bereiche im Freien.

<sup>10</sup> Empfohlene maximale Dauer bis zum Erreichen eines Sicherheitsplatzes für Bereiche in Gebäuden.

<sup>11</sup> Recommended maximum time until a safe place is reached for outside areas.

<sup>12</sup> Recommended maximum time until a safe place is reached for indoor areas.

- 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 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.

- c) In Switzerland [6], 3 to 5 min is stated for stadia with a closed roof and rooms with a large number of people, with 8 min given as the recommended evacuation period for open-roof stadia.

#### **4.4 Identifying congestion**

As part of the evacuation analysis, any occurrence of congestion must be identified, described and assessed. Effects that can significantly influence the criticality of the evacuation must also be noted. Critical movements and congestion can be identified based on, among other things, the density of persons, waiting times, queuing times, delay times and congestion times. For the criteria used to identify congestion, calculation rules must be specified in the analysis. Significant congestion exists, for example, when a local density of 4 persons per square metre is exceeded for longer than 10% of the total evacuation time.

## 5 Dokumentation

Die Dokumentation muss sämtliche Arbeitsschritte zur Erstellung einer Entfluchtungsanalyse 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 in diesem Kapitel ist an die einzelnen Arbeitsschritte der Analyseerstellung angelehnt.

### 5.1 Dokumentation der Arbeitsschritte

Die einzelnen Arbeitsschritte der Analyse müssen ausreichend detailliert dokumentiert werden

- a) Annahmen (siehe Kapitel 4);
- b) Verwendete Berechnungs- und Simulationsverfahren (siehe Abschnitt 5.2);
- c) Ergebnisse (siehe Abschnitt 5.3)
  - 1) (Gesamt-) Entfluchtungszeit und deren Häufigkeitsverteilung;
  - 2) Bereiche mit kritischen Bewegungsabläufen und Stauungen.

### 5.2 Dokumentation des verwendeten Simulationsverfahrens

Die Dokumentation der Entfluchtungsanalyse muss nachfolgend aufgeführte Bestandteile enthalten:

- die Programmversion (Build-Nr.), die für die Entfluchtungsanalyse verwendet wurde;
- die im Modell zur Beschreibung der Personenbewegung benutzten Variablen, z. B. Gehgeschwindigkeit;
- die Darstellung von Treppen, Türen, Sammelplätzen und anderen besonderen räumlichen Elementen und ob und wie 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:

## 5 Documentation

The documentation must comprise all of the steps taken in the creation of an evacuation analysis. It must be limited to aspects that can be influenced by the user. This means the mathematical and technical correlations at model level should not be documented by the user. A reference to the relevant documentation of the program developer (usually the manual) is sufficient.

The order of this chapter is based on the individual steps involved in creating the analysis.

### 5.1 Documentation of work steps

The individual work steps of the analysis must be documented to a sufficient level of detail

- a) Assumptions (see Chapter 4);
- b) Calculation and simulation methods used (see Section 5.2);
- c) Results (see Section 5.3)
  - 1) (Total) evacuation time and its frequency distribution
  - 2) Areas with critical movement processes and congestion

### 5.2 Documentation of the applied simulation method

The documentation of the evacuation analysis must contain the elements listed below:

- The program version (build no.) used for the evacuation analysis
- The variables used in the model to describe the movement of persons, e.g. walking speed;
- The representation of stairs, doors, assembly points and other specific spatial elements and how and whether the associated variables and parameters affect the simulation sequence
- The reference to the user manual which describes the type and function of the model and the underlying assumptions

It is also useful to provide the following information, for example:

- die Darstellung der Körperausmaße (z. B. Kreis, Ellipse, Quadrat usw.);
- die Art der Aktualisierung (Update), d. h. die Reihenfolge, in der die 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 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 (Raum- / Gebäudegeometrien) evtl. mit Grafik / Bild, sofern nicht schon im Brandschutzkonzept dargestellt und für die Entfluchtung relevant.

- Flächen;

- The representation of body dimensions (e.g. circle, ellipse, square)
- The type of update, i.e. the order in which persons move during the simulation (parallel, randomly sequential, sequential in order, other)

## **5.3 Documentation of simulation results**

### **5.3.1 Documentation structure**

The minimum content and the structure of the documentation of an evacuation analysis are listed in Section 5.4.

### **5.3.2 Identification of critical movement processes and congestion**

As part of an evacuation analysis, the occurrence of critical movement processes and congestion must be identified, described and assessed.

## **5.4 Minimum content of an evacuation analysis**

### **5.4.1 Title page**

Information about the assignment

- Presentation format (analysis, report ...)
- Topic
- Date created, status of current version if necessary (e.g. when updating)
- Commissioning party, commissioning date, business reference
- Independent expert
- Date and index of assessed planning documents
- Length of text and annex

### **5.4.2 Objective and problem definition**

Description of why the analysis or report is being created, explanation of the problem and description of the protection goals.

### **5.4.3 Description of the property**

Description of the property (geometries of the rooms / building), potentially with graphic / picture, provided this is relevant to the evacuation and not already presented in the fire protection concept.

- Areas

## **Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen**

Version: 3.0.0  
10. März 2016

© 2004 – 2016 RiMEA e.V., [www.rimea.de](http://www.rimea.de)  
Lizenz/Licence: CC BY-ND 4.0

## **Guideline for Microscopic Evacuation Analysis**

Version: 3.0.0  
10 March 2016

Seite 27 / 58  
Page 27 / 58

- ✦ 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 Evakuierungsszenarien**

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;

- ✦ Types of utilisation
- ✦ Utilisation times / durations
- ✦ Description of provisions for organisational fire protection (person responsible, fire prevention officer, fire protection assistant, evacuation officers, evacuation assistants)
- ✦ Number and type of exits with dimensions
- ✦ Fire protection infrastructure (FDS, PA system, emergency lighting, sprinkler system, SHE)
- ✦ Escape route markings / guidance systems, fire safety watch
- ✦ Definition of the „place of safety“ with reasons

### **5.4.4 Description of software and model used**

Explanation of basic information about the program used

- ✦ Name, developer, version of simulation software
- ✦ Underlying model, calculation method (rough)
- ✦ Maximum densities of persons, speeds

### **5.4.5 Description of evacuation scenarios**

Explanation of assumptions and boundary conditions

- ✦ Number of simulation runs
- ✦ Reference to the type of initialisation of the random number generator if applicable
- ✦ Chosen assumptions about the population with reasons (if applicable, reference to particularities such as disability or similar)
- ✦ Number of persons and their distribution in the property at the beginning of the evacuation analysis
- ✦ Mean density, mean speed, frequency distribution
- ✦ Other boundary conditions for the simulation to be defined by the user
- ✦ Chosen / Required simplifications of the simulation model with reasons

- ♦ Zuordnung von Personen zu Ausgängen mit Begründung (szenarioabhängig).

#### **5.4.6 Ergebnisse / Besonderheiten**

Darstellung der Simulationsergebnisse

- ♦ (Gesamt-) Evakuierungszeit; detaillierte Darstellung des 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 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 Entfluchtungszeit die akzeptable (Gesamt-) Entfluchtungszeit überschreitet, sollten gegebenenfalls Korrekturmaßnahmen am Bauwerk vorgenommen werden, bis die notwendige (beispielsweise vorgeschriebene) Entfluchtungszeit erzielt wird.

Korrekturmaßnahmen können in einer Veränderung

- ♦ der Geometrie,
- bzw. durch Anpassen
- ♦ baulicher Maßnahmen,
  - ♦ anlagentechnischer Maßnahmen,
  - ♦ organisatorischer Maßnahmen
- bestehen.

- ♦ Allocation of persons to exits with reasons (scenario-dependent).

#### **5.4.6 Results / Particularities**

Presentation of the simulation results

- ♦ (Total) evacuation time; detailed representation of the evacuation process in time steps of  $\Delta t \leq T_{\text{Total}} / 10$  using diagrams, tables or graphics, for example
- ♦ Relevant segments, if applicable
- ♦ Graphical representation (snapshots) of changes in density / maximum densities (temporal, spatial)
- ♦ Abnormalities / Particularities during the simulation (e.g. occurrence of congestion)

#### **5.4.7 Interpretation of results**

Explanation / Interpretation of results

- ♦ Comparison with legal requirements
- ♦ Comparison with literature / generally recognised rules of engineering;
- ♦ Comparison of findings with results (boundary conditions) from fire simulations, requirements of authorities ...

#### **5.4.8 Closing remarks / Conclusion**

Final assessment of the results from the simulations and a summary including a conclusion of the analysis.

### **5.5 Corrective measures**

If the calculated evacuation time for a built environment exceeds the acceptable (total) evacuation time, corrective measures should be carried out on the building where necessary until the necessary (e.g. stipulated) evacuation time is achieved.

Corrective measures may involve a change in

- ♦ Geometry
- or adjustments to
- ♦ Structural measures
  - ♦ Equipment-related measures
  - ♦ Organisational measures

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 Gesamtentfluchtungszeit überschreitet, müssen die Entfluchtungsabläufe im Gebäude mit dem Ziel überprüft werden, durch Setzen von geeigneten Maßnahmen die in der Analyse festgestellten Stauungen bzw. die Gesamtentfluchtungszeit zu verringern.

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

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

A change of demographic parameters in the evacuation analysis in order to achieve the required (total) evacuation time is not permitted.

If the calculated evacuation time for existing buildings exceeds the specified total evacuation time, the evacuation procedures in the building must be reviewed with the aim of implementing appropriate measures to reduce the congestion determined in the analysis and/or the total evacuation time.

The evacuation analysis should proceed with the modified boundary conditions (corrective measures) until an acceptable evacuation time (situation) is achieved.

If the applied corrective measures do not permit an acceptable evacuation time, then the number of persons must be reduced.



## **Anhang 1: Vorläufige Anleitung zur Validierung / Verifizierung von Simulationsprogrammen**

### **A 1 Allgemein**

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

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

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

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

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

## **Annex 1: Provisional instructions for the validation / verification of simulation programs**

### **A 1 General**

Continuous verification is necessary for all simulation software. There are at least four forms of verification that evacuation models should go through. These are:

1. Testing of components
2. Functional verification
3. Qualitative verification
4. Quantitative verification

This approach is set out in ISO document ISO/TR 13387-8:1999

During the revision cycles of the RiMEA guideline, the test scenarios are adapted according to the latest research.

The verification process is to be documented in a comprehensible and comprehensive manner. The documentation is to be carried out in accordance with this section. The verification documents may be part of the program documentation and are to be made available when requested by the authorities or the commissioning party. Alternatively, they can be made publicly available on the homepage of the RiMEA association ([www.rimea.de](http://www.rimea.de)).

## **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.

Zweifellos 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>13</sup> der Zustände einer Mikrosimulation vordergründig kein Zwang zur tiefen 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

## **A 2 Testing of components**

The testing of components involves verifying whether the various software components function as intended. This includes carrying out a range of elementary test cases in order to ensure that the most important parts of the model work as intended. What follows is a non-exhaustive list of suggested tests which should be included in the verification process.

### **Possibilities and limitations of quantitative tests**

Some of the test cases can be used not only for functional validation, but also for quantitative calibration. Empirical data is available for test 4, for example.

A quantitative calibration is without doubt a necessary part of any planning method for obtaining helpful results. Correspondingly, the limitations of calibration and quantitative tests mentioned below also apply to all planning methods. For simulation models or simulation projects, however, the question is often significantly more pressing. There are at least two reasons for this. First, (micro-)simulations have the potential to provide significantly more detailed results, namely at the level of the individual, the micro level. This distinguishes simulations from previous planning methods which, by design, only provide results at a macro level (density, flow, total travel times). The second reason comes from the possibility of everyday visualisation. As the 3D representation<sup>14</sup> of the various stages of a microsimulation ostensibly does not require a profound interpretation, the danger exists – at least in principle – that without any calibration there will be an incorrect suggestion, either through autosuggestion or intentional deception by the commissioning party or tester.

As important as the calibration process may be for ensuring that the results represent a close approx-

<sup>13</sup> 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.

<sup>14</sup> This should not create the impression that the 3D representation derived from (micro)simulations should generally be viewed with scepticism. They are actually a benefit of simulations, as they pave the way for simple communication even with non-experts. Furthermore, the experts can evaluate results better when they also receive them in a form that reflects what they see on a daily basis.

## Anhang 1: Vorläufige Anleitung zur Validierung / Verifizierung von Simulationsprogrammen

Version: 3.0.0  
10. März 2016

© 2004 – 2016 RiMEA e.V., [www.rimea.de](http://www.rimea.de)  
Lizenz/Licence: CC BY-ND 4.0

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.

## Annex 1: Provisional instructions for the validation / verification of simulation programs

Version: 3.0.0  
10 March 2016

Seite 32 / 58  
Page 32 / 58

imation of reality, it must also be made clear that the calibration of a simulation has fundamental, economic and ethical limitations, with limits to what is possible as well as a limit to the need for precision in calibration.

### Statistical distribution of observations

A fundamental limitation of the agreement between empirical data and simulation results comes from the fact that many observable variables are distributed over a certain range. A football stadium will not always be empty the exact same amount of time after a match has ended, even if the number of visitors is the same, such as on all sold-out match days. These fluctuations derive from non-observable or barely observable causes, meaning they can certainly be summarised under the term "random". There is also the fact that even observable variables, such as the number of persons in the stadium, are not always the same. For the emptying of a football stadium, which is indeed a regularly repeating process, one can demand in principle that a simulation reproduces the distribution found in reality. Economic decisions can then be made based on the results, such as how long to keep sales booths open, as average values of all kinds can be considered and, in the long term, an optimal solution can be planned.

However, for all aspects of planning that come under the umbrella of "disaster management" – and this includes fire protection and therefore the simulation of emergency evacuations – it is key that the distribution of the variables involved does not materialise in reality. On the day that is being planned for, day X, a certain number of persons with a very specific population composition are in the building and will require a specific period of time to leave the building, where smoke may be spreading due to a fire load which also exists on this day in particular. There are also general external conditions such as the temperature, which is very stable according to the annual average, yet on day X has a particular value that all participants will experience as being between very low and very high, with all of the consequences this may have on their movement.

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 unbekannten 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 nicht-geplantem 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,

It is inherent in the meaning of the word “disaster” that a repeat under the same or even similar conditions will generally not take place. On the one hand, this makes the calibration of the simulation model difficult, as the measured variables originate from an unknown distribution. It is therefore not possible to synchronise the distribution occurring in reality with the distribution in the simulation results. On the other hand, it is of course not possible to work with long-term averages of the results in the field of disaster management.

#### **Ethical and economic limitations**

A further factor is pragmatic and economic in nature: calibration costs money. It costs money both to collect data and to carry out the calibration. Both in data collection and calibration, higher precision costs more money. As empirical values for the flow of persons are generally diverse, more data is required to reduce variance and thus more accurately determine the true mean value. For the calibration process, it must be anticipated that more simulation runs are necessary if a greater match with the empirical values is desired.

Last but not least, certain types of data collection are prohibited for ethical reasons. For example, choke points with 10 persons/m<sup>2</sup> would pose a danger to the subjects' lives. In such cases, only random observations of unplanned occurrences are considered as a data source.

#### **Limitations of attributing observations to their causes**

As pedestrians are almost directly exposed to their surroundings – much more directly than motorists, in particular – and they must summon the strength and energy for movement practically without aid, there are a variety of external factors and personal characteristics which influence their movement. These include the ambient temperature, lighting, purpose of the movement (motivation), nature of the terrain (ascent, descent, uneven surfaces) time of day, age and sex, social relations among the pedestrians and probably even their native culture.

Planning work is already limited in its precision in that some of the factors are either unknown, only

## Anhang 1: Vorläufige Anleitung zur Validierung / Verifizierung von Simulationsprogrammen

Version: 3.0.0  
10. März 2016

© 2004 – 2016 RiMEA e.V., [www.rimea.de](http://www.rimea.de)  
Lizenz/Licence: CC BY-ND 4.0

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 „Münchner“ 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 behan-

## Annex 1: Provisional instructions for the validation / verification of simulation programs

Version: 3.0.0  
10 March 2016

approximately known or only known as a statistical distribution. However, it is also important to understand that *all* of the influencing factors are only known for a small proportion of the data available for calibration purposes. Although the amount of available data has grown quickly in recent times thanks to the ability to conduct automated video evaluation, the details are not yet clear regarding how the individual factors influence free walking speed, to name one example. Ideally, all significant influencing parameters would be known and in agreement both for the calibration data and the specific planning case. If, however, they are merely known – which is still a relatively pleasing situation – but not in agreement, then a perfect calibration is no longer expedient. A lot of time would be spent on the calibration to increase the accuracy from 95% to 99.9%, when it is in fact a situation where the parameters of the 95% calibration would be the better choice, only this is not known beforehand.

As an aside, it should be noted at this point that descriptions such as “football (soccer) fan”, “commuter” or “Munich resident” when referring to walking behaviour are merely an incomplete description of the original data collection. “Football fan” describes an age distribution and gender composition that may differ from the average total population. Walking behaviour that differs from the average should therefore certainly be expected. But football fans also move around in various ambient temperatures and at different times of the day, after winning or losing a game, with knowledge of the infrastructure (home fans) or without (away fans). Commuters, on the other hand, are known for walking quickly, but even this – in a train station – is very much dependent on whether the amount of time until the connecting train leaves is short or long. Finally, there are Munich residents who are football fans or commuters or walking aimlessly around the city's *Englische Garten*. The popular idea that all cities and cultures have and set their own pace may or may not be true. What is certain, however, is that the internal distribution is much broader than the spread of mean values.

### Limited requirements

At this point the consideration becomes relevant that the precision of the entire simulation project is often determined by the element treated with the least precision that still has a significant effect on

Seite 34 / 58  
Page 34 / 58



delte Element, das signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse hat, bestimmt wird. Fußgänger bewegen sich in unterschiedlichen Situationen. Durch eine Tür 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.

the result. The situations in which pedestrians move can vary greatly. Whether through a door or in a long and narrow corridor, in one direction, crossing each other or in a counterflow situation; straight ahead, around a corner or even a 180° turn; on flat terrain, moving up stairs or down stairs; in a pedestrian situation or in traffic with cyclists and cars. Pedestrians make decisions about which route to take not only for the desired destination, but also whether on the way to the chosen destination they take the longer, less congested route or the shorter, more congested route, for example. Model parameters which are highly relevant in one situation (e.g. the obstacle posed to the flow of persons by the corner in test 6) may be meaningless in another (e.g. test 4). A calibration process which only works with situation B may not provide a good value for the parameter used in the realistic simulation of situation A. Some of the situations mentioned here happen only rarely or not at all in the field of fire protection. Yet there can be projects where the test cases listed below do not cover all of the calibration requirements.

There are also important factors influencing the result that must be mentioned – the most important of which is the total number of persons, or even just the profile for the time of arrival at an event – which in some scenarios (e.g. a festival where participation is not regulated by tickets) are only approximately known.

#### **Conclusion**

The necessary calibration time depends on the specific underlying question definition or project goal.

If the goal is to calculate, accurate to a matter of a few seconds, the key figures (mean value, standard deviation) of the statistical distribution of the evacuation curve of a stadium at each point in time and for every fill level as well as the density distribution in the stadium, then all of the influencing factors mentioned above will have to be considered. As there will hardly be a second stadium where all influencing factors are the same, local measurement data will be needed for the calibration – and lots of it – because data is required for different ambient temperatures, to name one example.

## **Anhang 1: Vorläufige Anleitung zur Validierung / Verifizierung von Simulationsprogrammen**

Version: 3.0.0  
10. März 2016

© 2004 – 2016 RiMEA e.V., [www.rimea.de](http://www.rimea.de)  
Lizenz/Licence: CC BY-ND 4.0

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 Fluchtwegebeschilderung 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.

## **Annex 1: Provisional instructions for the validation / verification of simulation programs**

Version: 3.0.0  
10 March 2016

Seite 36 / 58  
Page 36 / 58

It is without question a justified requirement of a simulation model or simulation software that such a calibration is possible in principle. However, it is not the case that a model will be of no use if such an exact calibration is not carried out. The following two project goals are given as examples:

It is to be determined using a simulation from which point in a corridor (i.e. for which room or which persons) the information regarding the directions given on escape route signs should point in a different direction (in other words, to the second escape route) in order to achieve the most efficient evacuation possible. The answer given by a simulation will be the same for different sets of parameters. In turn, this implies that, compared to the example given above, an approximate calibration will suffice.

It is to be calculated using a simulation which of three evacuation strategies (or three floor plans) is the best. The above reasoning applies here all the more. For such a question, it is even conceivable for a series of different parameter sets which have a good approximation of reality to be used for the simulation and, if the answer to the question is always the same, no calibration at all may be used for that specific case.

Finally, a simulation can serve to substantiate vague doubts regarding the functionality of a plan. If during the discussion between planners and the authorising authority as part of the planning process the primary focus moves away from safety and towards technical and organisational requirements and economic considerations, then the benefit of a simulation can be to ask questions rather than to provide answers; questions that everyone can understand and the answers to which therefore cannot be avoided. In such a situation, both conservative and optimistic / realistic parameters fulfil their purpose and any calibration beyond this can be omitted completely, provided the questions raised are clear.

For these reasons, the RiMEA guideline does not specify fixed or specific boundaries for passing the tests.



**Anhang 1: Vorläufige Anleitung zur Validierung /  
Verifizierung von Simulationspro-  
grammen**

Version: 3.0.0  
10. März 2016

© 2004 – 2016 RiMEA e.V., [www.rimea.de](http://www.rimea.de)  
Lizenz/Licence: CC BY-ND 4.0

**Annex 1: Provisional instructions for the valida-  
tion / verification of simulation pro-  
grams**

Version: 3.0.0  
10 March 2016

Seite 37 / 58  
Page 37 / 58

**Literatur / Siehe auch:**

„Transporttechnik der Fußgänger“ by Ulrich Weidmann, IVT, ETH Zürich, 1992

“Magic Numbers and Golden Rules” by Margaret Law and Paula Beever, *Fire Technology*, 31(1), pages 77-83, 1995

“Comment 1 on Talvitie's Paper: The Games Transportation Academics Play” by Michael G.H. Bell, *Transportation*, 24(1), pages 33-42, 1997

“Comparison of pedestrian fundamental diagram across cultures” by Ujjal Chattaraj, Armin Seyfried and Partha Chakroborty, *Advances in complex systems*, 12(3), pages 393-405, 2009

“Simulation-aided Planning for Events” by Ulrike Merz et al., *Journal of Crowd Safety and Security Management*, 2( 2), pages 86-104, 2012.

**Literature / see also:**

### **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 1 Maintaining the specified walking speed in a corridor**

It is to be proven that a person in a 2 m wide and 40 m long corridor with a defined walking speed will cover the distance in the corresponding time period.

If 40 cm (body dimension), 1 second (premovement time) and 5% (walking speed) are set as imprecise values, then the following requirement results with a typical pedestrian speed of 1.33 m/sec: the speed should be set at a value between 4.5 and 5.1 km/h. The travel time should lie in the range of 26 to 34 seconds when 1.33 m/sec is set as the speed.

### **Test 2 Maintaining the specified walking speed up stairs**

It is to be proven that a person on a 2 m wide and 10 m long (measured along the slope) staircase will cover this distance in the corresponding time period with a defined walking speed.

The considerations from test 1 apply accordingly with adjusted values for route, duration and speed.

### **Test 3 Maintaining the specified walking speed down stairs**

It should be proven that a person on a 2 m wide and 10 m long (measured along the slope) staircase covers this distance in the corresponding time period with a defined walking speed.

The considerations from test 1 apply accordingly with adjusted values for route, duration and speed.

## Test 4 Messung des Fundamentaldiagrammes

Es soll die gezeigte Abbildung (Abbildung 4) model-  
liert werden (Korridor, 1.000 m lang, 10 m breit). Es  
gibt drei Messstellen (2 x 2 m), wobei die gepunk-  
tete Messstelle die Hauptmessstelle ist, die beiden  
anderen grauen Messstellen dienen als Kontroll-  
messstellen.

Der Korridor ist mit unterschiedlichen Personen-  
dichten mit möglichst gleicher freier Gehgeschwin-  
digkeit 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>.

An den Messstellen ist nun bei der vorgegebenen  
Dichte die Durchschnittsgeschwindigkeit der Pers-  
onen über einen Zeitraum von 60 Sekunden zu er-  
mitteln, die ersten 10 Sekunden können als „Ein-  
schwingvorgang“ vernachlässigt werden. Aus den  
Ergebnissen (Geschwindigkeit bei vorgegebener  
Dichte) können die entsprechenden Fundamentaldi-  
agramme erstellt werden, wobei für den Perso-  
nenfluss die Umrechnung Fluss = Geschwindigkeit  
\* Dichte zugrunde gelegt wird.

Um sicherzustellen, dass auch das Fundamentaldi-  
agramm bei einer „Linienbewegung“ durch das Pro-  
gramm wiedergegeben wird, ist der Korridor soweit  
in seiner Breite zu verkleinern, dass die Personen  
sich nur hintereinander bewegen können und ein  
überholen nicht möglich ist.

## Test 4 Measurement of the fundamental diagram

The figure shown below (Figure 4) is to be modelled  
(corridor 1000 m long, 10 m wide). There are three  
measuring points (2 x 2 m), the dotted of which is  
the main measuring point, with the other two grey  
measuring points functioning as control measuring  
points.

The corridor is to be filled with different densities  
of persons with an equal as possible free walking  
speed (for example 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> and 6 P/m<sup>2</sup>.

At the measuring points, the average speed of per-  
sons over a period of 60 seconds is to be deter-  
mined for the specified density. The first 10 sec-  
onds can be ignored as a “transient response”. From  
the results (speed at the specified density), the cor-  
responding fundamental diagrams can be created,  
with the calculation flow = speed \* density taken as  
a basis for the flow of persons.

In order to ensure that the fundamental diagram is  
also reproduced by the program in case of a “line  
movement”, the corridor should be reduced in  
width to such a degree that the persons can only  
move one behind the other and overtaking is not  
possible.

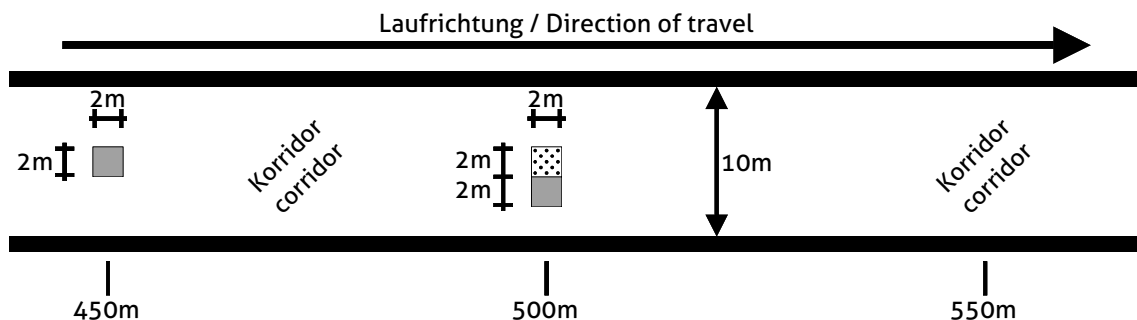


Abbildung 4 Messung des Fundamentaldiagramms  
Figure 4: Measurement of the fundamental diagram

### 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 5 Premovement time

Ten persons in a room measuring 8 m x 5 m with a 1 m wide exit situated in the middle of the 5 m long wall. Set the premovement times as follows: uniformly distributed between 10 s and 100 s. Verify that each person starts at an appropriate time.

### Test 6 Movement around a corner

Twenty persons moving towards a corner which turns to the left (cf. Figure 5) will successfully go around it without passing through walls.

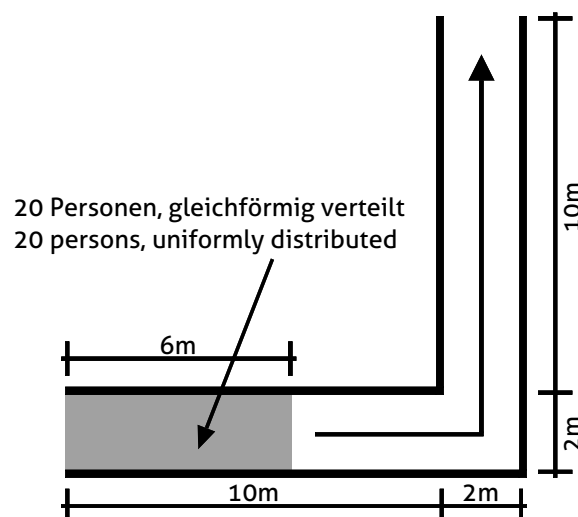


Abbildung 5: Quergang / Ecke  
Figure 5: Crossway / corner

### 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.

### Test 7 Allocation of demographic parameters

Select a group consisting of adult persons in accordance with Figure 2 and distribute the walking speeds over a population of 50 persons. Show that the distribution of walking speeds in the simulation is consistent with the distribution in the table.

### **A 3 Funktionale Verifizierung**

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

#### **Test 8 Parameteranalyse**

Die Parameteranalyse dient dazu, die Auswirkungen der in der Simulation verwendeten Parameter darzustellen. Für den in Abbildung 6 gezeigten dreistöckigen Testgrundriss soll aufgezeigt werden, wie sich die Gesamtentfluchtungsdauer verändert, wenn einzelne Personenparameter variiert werden. Dies ist für jeden einzelnen Parameter zu wiederholen, wobei die restlichen Parameter auf feste Standardwerte eingestellt werden. Der untersuchte Parameter soll dabei jeweils einmal für alle Personen gleich sein (z.B. Geschwindigkeit aller Personen: 0,5 m/s, 0,75 m/s, 1,0 m/s,...) und einmal statistisch gleich verteilt um einen festen Mittelwert variiert werden (z.B. Geschwindigkeit: 0,75 m/s, 0,5-1,0 m/s, 0,25-1,25 m/s,...).

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

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

### **A 3 Functional verification**

Functional verification includes verifying that the model has the ability to cover the range of possibilities necessary for the simulation. This requirement is task-specific. To carry out functional verification, the developers of the model must present the model's full range of possibilities and the inherent assumptions in a comprehensible manner and provide instructions for the correct use of these possibilities. This information should be easily accessible in the software's technical documentation.

#### **Test 8 Allocation of demographic parameters**

The parameter analysis serves to represent the effects of the parameters used in the simulation. For the three-storey test floor plan illustrated in Figure 6, it should be demonstrated how the total evacuation time changes when the individual person parameters are varied. This is to be repeated for each individual parameter, with the other parameters set as fixed standard values. The parameter being tested should be the same for all persons once (e.g. speed of all persons 0.5 m/s, 0.75 m/s, 1.0 m/s,...) and varied once in a statistically equally distributed way around a fixed mean value (e.g. speed: 0.75 m/s, 0.5-1.0 m/s, 0.25-1.25 m/s,...).

The results should be recorded in graphs and will be made freely accessible to all on the RiMEA homepage.

On the 2nd floor there are no more stairs upwards. It differs in this way from the 1st floor.

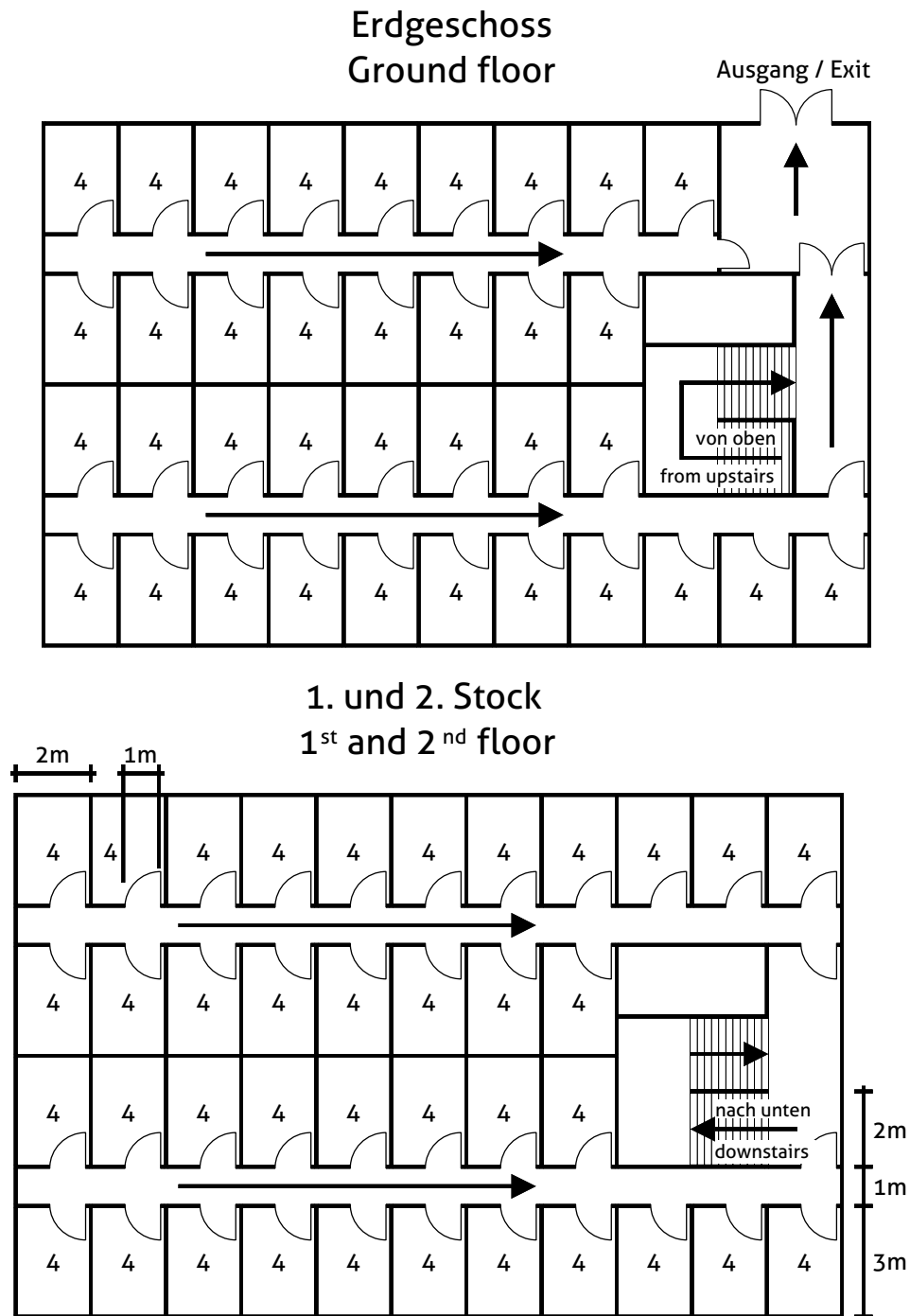


Abbildung 6: Der Testgrundriss für die systematische Analyse der Personenparameter. In jedem „Zimmer“ sollen sich vier Personen befinden. Breite eines Türflügels: 1 m

Figure 6: Test floor plan for the systematic analysis of person parameters. Four persons should be located in each "room". Width of a wing of a door: 1 m



## **A 4 Qualitative Verifizierung**

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

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

Ein öffentlicher Raum mit vier Ausgängen und 1.000 gleichförmig in dem Raum verteilten Personen (vgl. Abbildung 7). Wähle 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:** Tür 1 und Tür 2 werden versperrt und Schritt 1 wird wiederholt.

Das erwartete Ergebnis ist eine ungefähre Verdopplung der Zeit zum Verlassen des Raums.<sup>15</sup>

## **A 4 Qualitative verification**

The third form of model validation concerns matching between predicted human behaviour and informed expectations. Although this only represents a qualitative form of verification, it is important nonetheless, as it shows that the behaviour patterns incorporated into the model are capable of producing realistic behaviour.

### **Test 9 Crowd of people leaving a large public space**

A public space with four exits and 1,000 persons equally distributed in the space (cf. Figure 7). Choose a population of adult persons from Figure 2 with an immediate reaction and distribute the walking speeds over a population of 1,000 persons.

**Step 1:** Record the time at which the last person leaves the space.

**Step 2:** Door 1 and door 2 are locked and step 1 is repeated.

The expected result is that it takes approximately twice as long to leave the space.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Sollte die Dichte zu jedem Zeitpunkt den Fluss beeinflussen, ist die Annahme, dass beim Schließen zweier Türen eine Verdopplung der Dauer zu erwarten ist, gegebenenfalls zu pessimistisch, da der größere Wartepulk vor den Ausgängen unter Umständen zu höheren Dichten und damit zu einem veränderten (erhöhten) Fluss führen könnte. Solange in dieser Frage keine Entscheidung auf empirischer Basis getroffen werden kann, sollte Test 9 nicht im Sinne eines Ausschlusskriteriums behandelt werden, sondern lediglich Modellverhalten dokumentieren.

<sup>16</sup> Should the density influence the flow at every point in time, then the assumption that closing two doors will cause the time taken to leave the room to double may be too pessimistic, as the larger crowd of people waiting in front of the exits may lead to higher density and therefore a different (increased) flow. As long as no decision can be made on this matter on an empirical basis, test 9 should not be treated as an exclusion criterion, but should rather only document model behaviour.

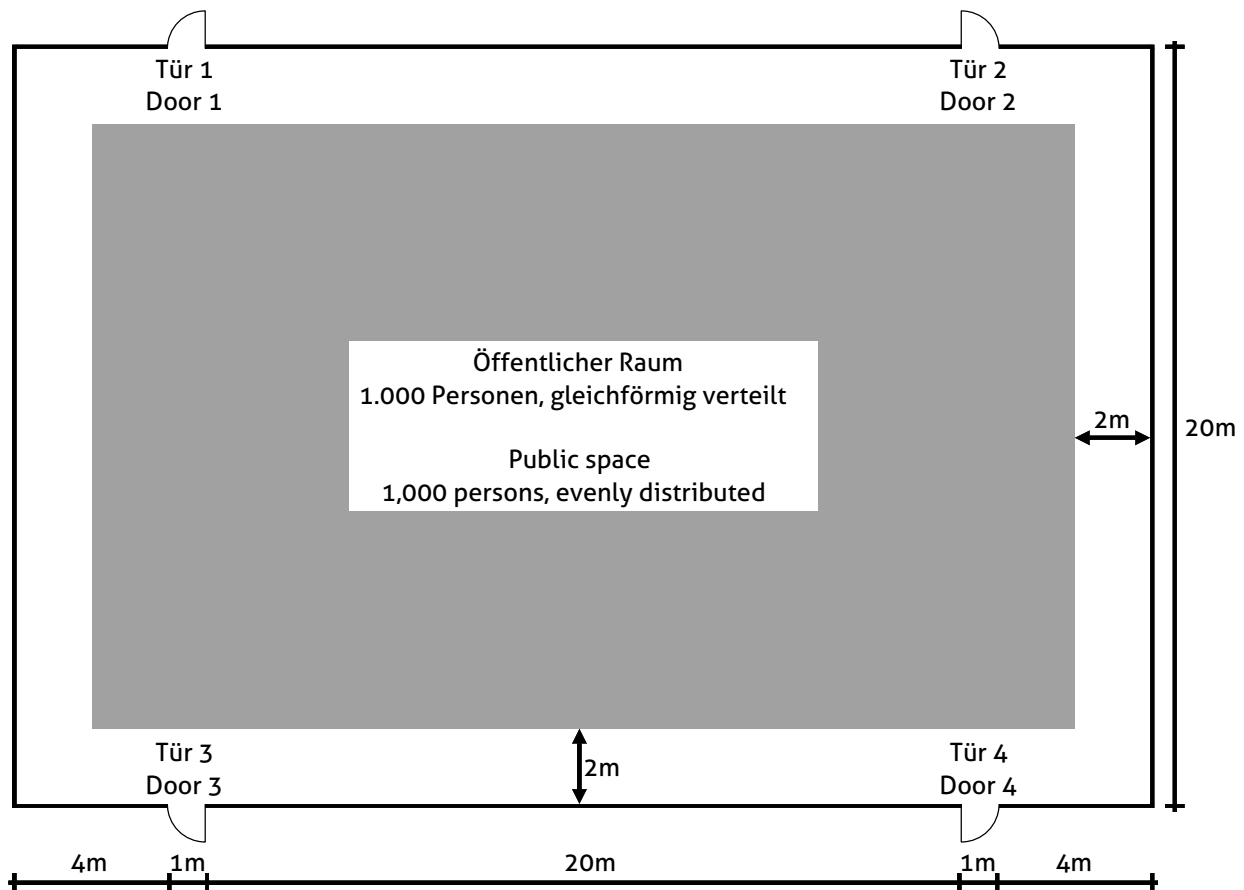


Abbildung 7: Verlassen eines großen öffentlichen Raumes  
Figure 7: Leaving a large public space

## Test 10 Zuweisung von Rettungswegen

Konstruiere die Sektion eines Ganges wie in Abbil-  
dung 8 mit einer Population von erwachsenen Per-  
sonen aus Abbildung 2 mit sofortiger Reaktion und  
verteile die Gehgeschwindigkeiten auf eine Popu-  
lation von 23 Personen. Die Personen in den Räu-  
men 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 und 10 sind dem Hauptausgang  
zugewiesen, alle übrigen Personen dem sekundä-  
ren Ausgang. Das erwartete Ergebnis ist, dass alle  
zugewiesenen Personen zu den entsprechenden  
Ausgängen gehen.

## Test 10 Allocation of escape routes

Construct the section of a corridor as shown in Fig-  
ure 8 with a population of adults from Figure 2 with  
an immediate reaction and distribute the walking  
speeds over a population of 23 persons. The per-  
sons in rooms 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 and 10 are assigned  
to the main exit, with all other persons assigned to  
the secondary exit. The expected result is that all  
allocated persons go to their corresponding exits.

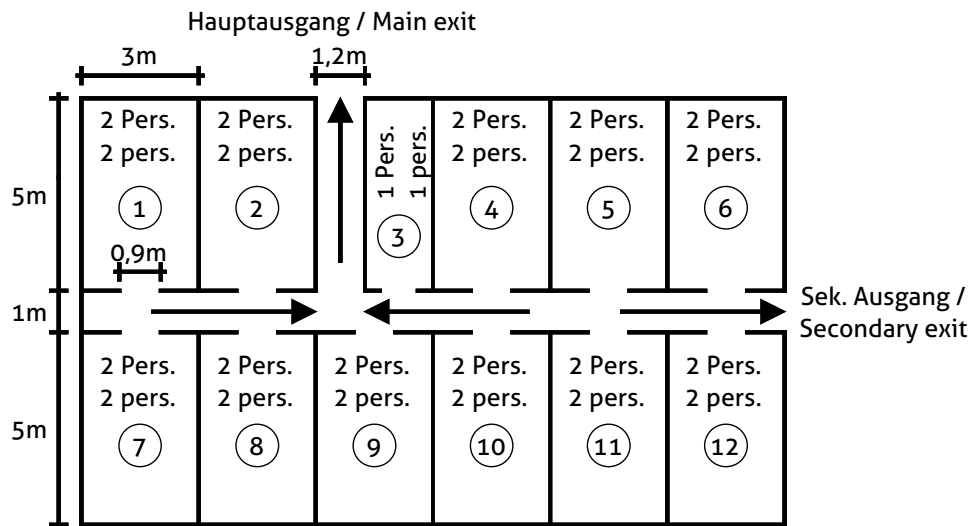


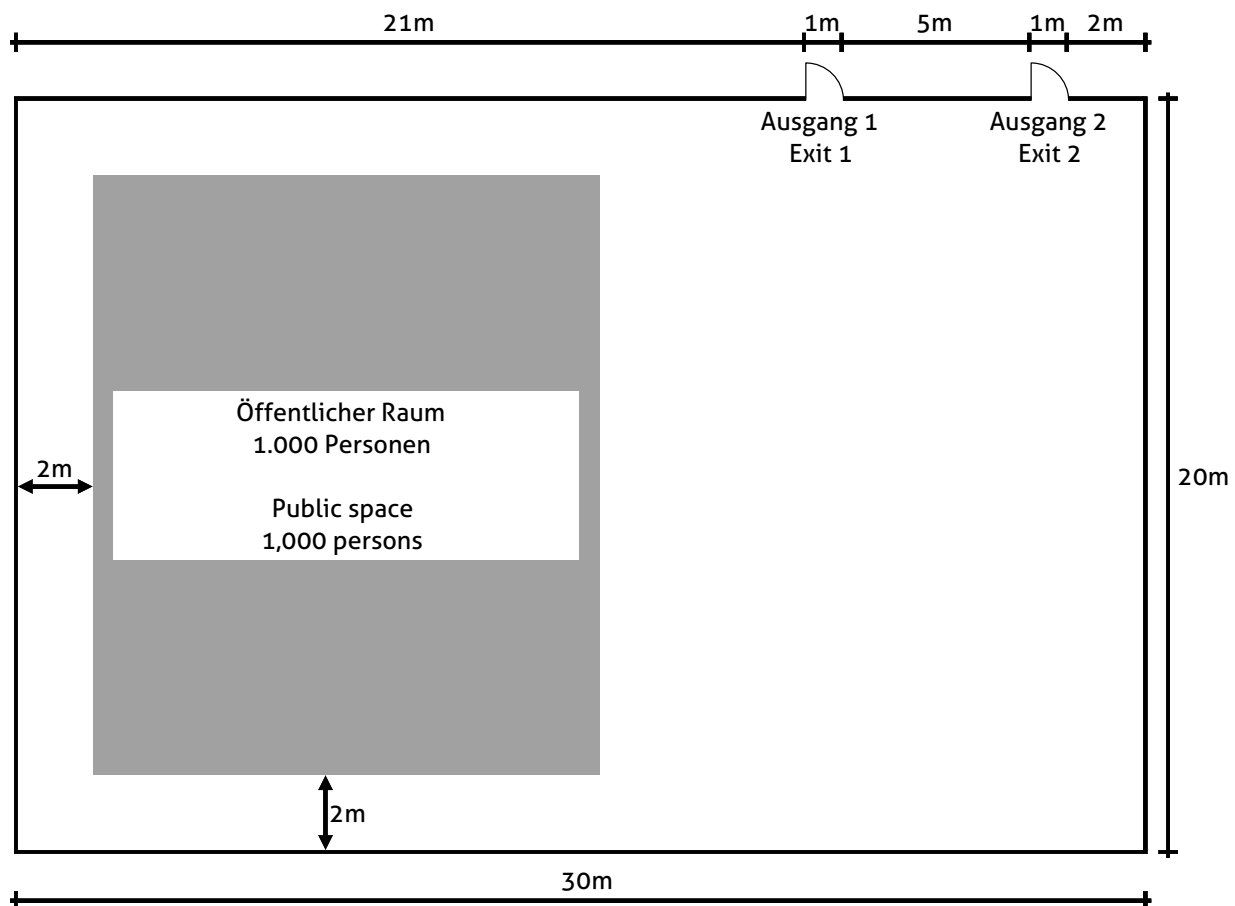
Abbildung 8: Gang mit angrenzenden Räumen  
Figure 8: Corridor with adjacent rooms

### Test 11 Wahl des Rettungsweges

Ein öffentlicher Raum verfügt über 2 Ausgänge: Ausgang 1 und Ausgang 2 (vgl. Abbildung 9). Wähle eine Population 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 11 Choice of escape route

A public space has 2 exits: exit 1 and exit 2 (cf. Figure 9). Choose a population of adults from Figure 2 with an immediate reaction and distribute the walking speeds over a population of 1,000 persons. The space should be occupied from the left side with the maximum possible density. The expected result is that the persons prefer the closer exit 1 and congestion occurs in this area. However, individual persons will also use the alternative exit 2.



**Abbildung 9:** Verlassen eines Raumes über zwei Ausgänge  
**Figure 9:** Leaving a space via two exits

## Test 12 Auswirkung von Engstellen

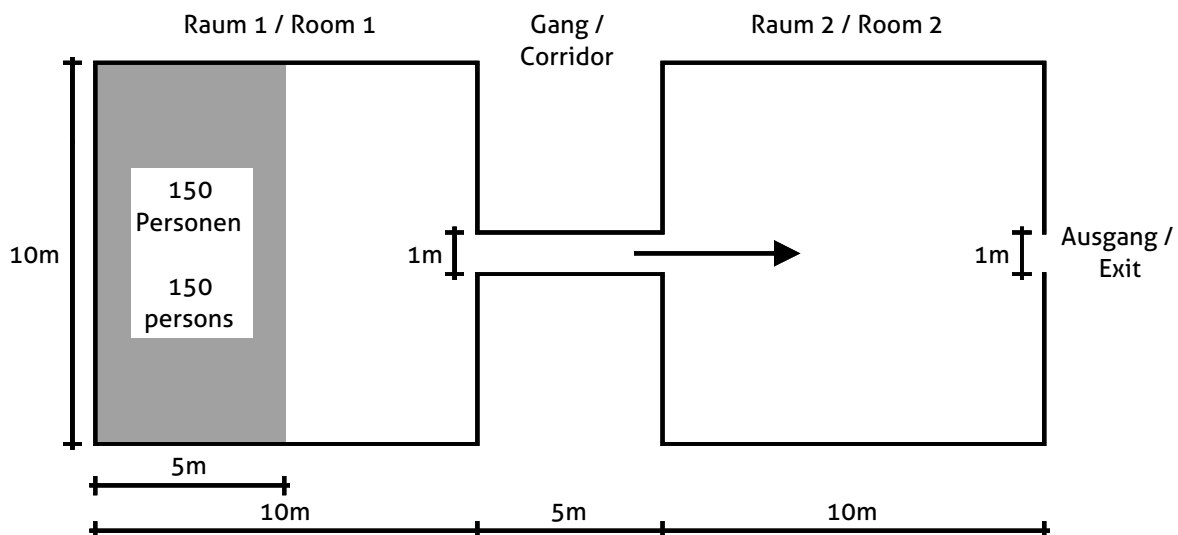
Konstruiere einen Raum, der durch einen Gang mit einem weiteren Raum verbunden ist (vgl. Abbildung 10) und fülle ihn wie gezeigt mit einer Population von 150 erwachsenen Personen (Gehgeschwindigkeit gemäß Abbildung 2). Die Reaktionsdauer betrage 0 s.

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

## Test 12 Effect of bottlenecks

Construct a room that is connected to another room by a corridor (cf. Figure 10) and fill it as illustrated with a population of 150 adults (walking speed in accordance with Figure 2). The premovement time is 0 s.

As the flow of persons through the corridor is limited, congestion should only occur in room 1 and not in room 2.



**Abbildung 10:** Die Auswirkung der Engstelle führt zu einer Staubildung vor dem Gang wodurch ein Stau vor dem Ausgang vermieden wird

**Figure 10:** The effect of the bottleneck leads to the formation of congestion in front of the corridor which means congestion in front of the exit is avoided.

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.

As long as no decision can be made on an empirical basis on whether congestion can in fact occur at the entrance to room 2, test 12 should not be treated as an exclusion criterion and should only document model behaviour.

### Test 13 Stau vor einer Treppe

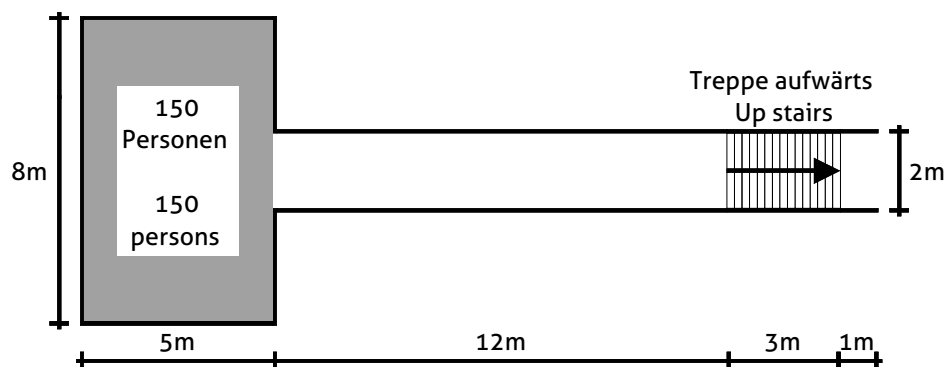
Konstruiere einen Raum, der durch einen Gang mit einer Treppe verbunden ist (vgl. Abbildung 11) be-  
setzt wie gezeigt mit einer Population von erwach-  
senen Personen aus Abbildung 2 mit sofortiger Re-  
aktion und verteile die Gehgeschwindigkeiten auf  
eine Population von 150 Personen.

Das erwartete Ergebnis ist, dass ein Stau am Aus-  
gang 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 13 Congestion in front of a flight of stairs

Construct a room that is connected to a flight of  
stairs by a corridor (cf. Figure 11) and occupied as  
illustrated with a population of adults taken from  
Figure 2 with an immediate reaction and distribute  
the walking speeds over a population of 150 per-  
sons.

The expected result is that congestion will occur  
at the exit of the room, creating steady flow in the cor-  
ridor. Additionally, congestion at the foot of the  
stairs is expected. This will grow over time, as the  
flow via the stairs is smaller than it is through the  
corridor.



**Abbildung 11:** Rettungsweg über Treppe  
**Figure 11:** Escape route via stairs

## Test 14 Routenwahl

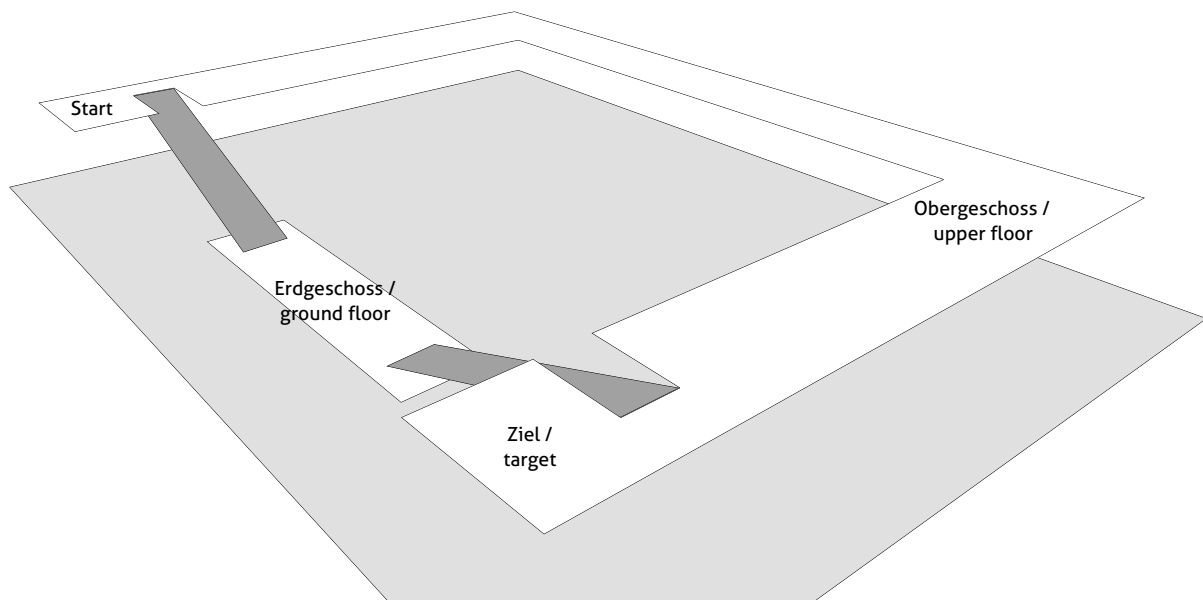
Startbereich (in der nachfolgenden Abbildung 12 mit „Start“ gekennzeichnet) und Zielbereich („Ziel“) sind durch zwei Treppen (dunkelgrau) und einen Gang im Erdgeschoss und durch einen (längeren) Gang im Obergeschoss miteinander verbunden.

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 14 Choice of route

Start area (marked as “Start” in the following illustration (Figure 12)) and target area (“target”) are connected by two flights of stairs (dark grey) and a corridor on the ground floor and by a (longer) corridor on the upper floor.

Do the pedestrians take a shorter route via another floor or do they stay on the longer route on the same floor? (document: “short”, “long”, “mixed” or “configurable”).



**Abbildung 12: Konfiguration für Test 14**  
**Figure 12: Configuration for test 14**



## **Test 15 Bewegung einer großen Menge Fußgänger um eine Ecke**

Mit Test 15 soll aufgezeigt werden, in wie weit die Bewegung von Personen um eine Ecke einen Einfluss auf die berechnete Evakuierungszeit 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.

## **Test 15 Movement of a large crowd of pe- destrians around a corner**

Test 15 aims to demonstrate the extent to which the movement of persons around a corner affects the calculated evacuation time. Further background information can be found in publications<sup>19</sup> and <sup>20</sup>.

Construct three geometries as illustrated in Figure 13 below. 500 persons are located in the start area („Start“). This area is to be designed accordingly depending on the chosen program. The same group of persons should be chosen for each geometry so that the initial conditions are identical for all three geometries. The destination is area marked with „target“.

By comparing the results (time taken for all persons to reach the destination) it can be determined how much a corner influences the simulation result, as the right illustration represents the shortest route and the illustration on the left is the longest. Ideally, the result from the „corner“ will be in between the two results for the shortest and longest straight-line route.

---

<sup>17</sup> Rogsch, C. and W. Klingsch: „Basics of Software-Tools for Pedestrian Movement – Identification and Results“ *Fire Technology* 2010. DOI: 10.1007/s10694-010-0197-2

<sup>18</sup> Im Rahmen des Basigo-Projektes wurden jedoch vergleichsweise großskalige Experimente zu diesem Phänomen durchgeführt, so dass in naher Zukunft mit der Publikation empirischen Daten zu rechnen ist.

<sup>19</sup> Rogsch, C. and W. Klingsch: "Basics of Software Tools for Pedestrian Movement – Identification and Results" *Fire Technology* 2010. DOI: 10.1007/s10694-010-0197-2

<sup>20</sup> As part of the Basigo project, however, comparatively large-scale experiments were carried out concerning this phenomenon, so that empirical data can be expected when it is published in the near future.

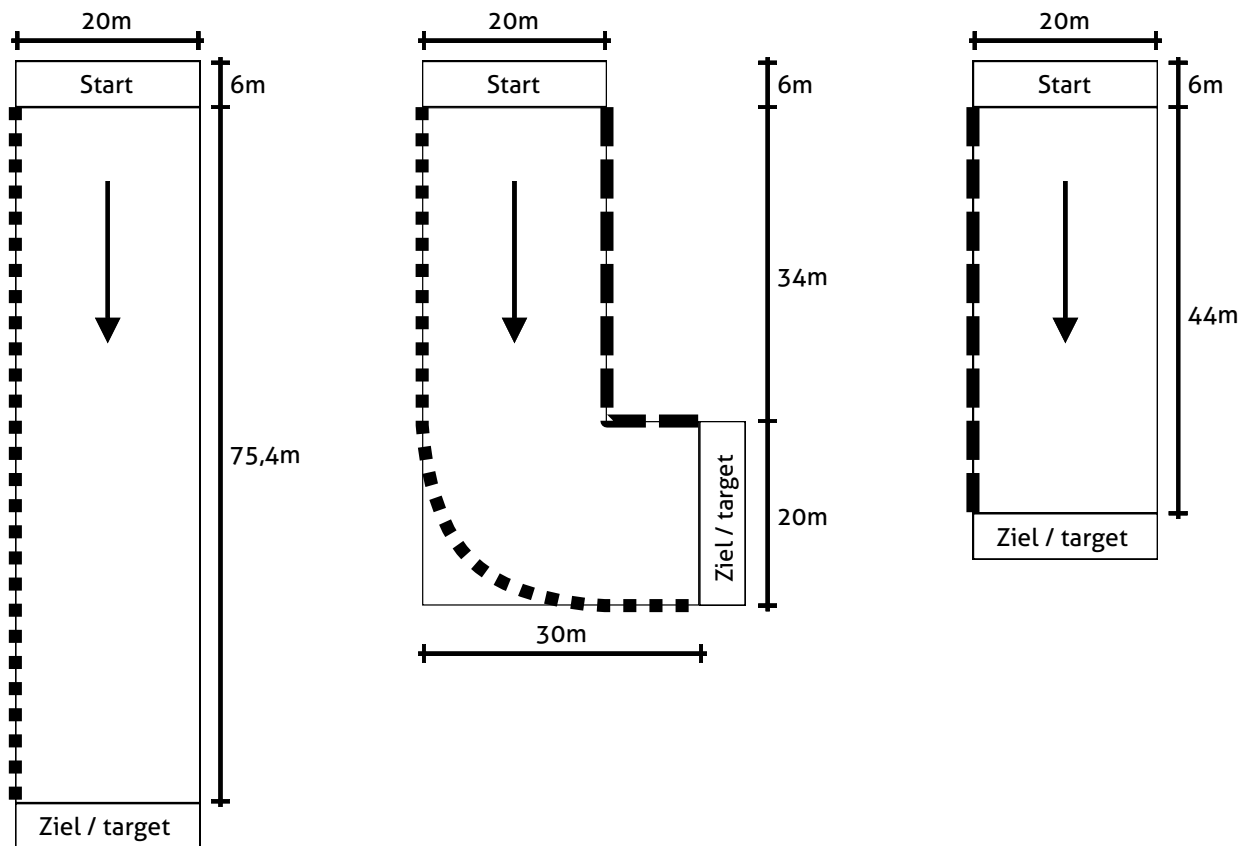


Abbildung 13: Einfluss einer Ecke auf die Evakuierungszeit. Die Linien mit gleicher Darstellung (gepunktet und gestrichelt) stellen jeweils die gleiche Weglänge in den unterschiedlichen Konfigurationen dar.

Figure 13: Influence of a corner on the evacuation time. The lines with identical style (dotted and dashed) show the same length in different configurations.

## **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.

## **A 5 Quantitative verification**

Quantitative verification involves the comparison of model predictions with reliable data from evacuation drills. At the current developmental stage, there is not enough reliable experimental data to allow a thorough quantitative verification of evacuation models. Until such data are available, the first three components of the verification process will be regarded as sufficient.

**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.

**Annex 2: Distribution of individual premovement times**

The distribution of individual premovement times is carried out in a slightly modified way according to the studies by Purser [5]. The premovement times are distributed uniformly or normally between a minimum and maximum value and are dependent on the characteristics of the persons, the type of alarm system, the building complexity and the type of fire protection management.

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

*Tabelle 4: Kategorisierung nach Gebäudeart und der daraus folgenden Personencharakteristik*

Category	Alertness	Familiarity	Density	Type of utilisation
A	Awake	Familiar	Low	Office, industry
B	Awake	Unfamiliar	High	Retail, restaurants, places of assembly
C(a)	Asleep	Familiar	Low	Housing
C(b)	Supervised	Supervised	Low	Housing
C(c)	Asleep	Unfamiliar	Low	Hotels, hostels
D	Medical supervision	Unfamiliar	Low	Medical care
E	Transport	Unfamiliar	High	Traffic facilities

*Table 4: Categorisation according to building type and resulting characteristics of persons*

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

Tabelle 5: Kategorisierung der Alarmierungssysteme

Category	Alarm system
A1	Automatic fire detection system with immediate alerting of the affected areas.
A2	Two-stage automatic fire detection system with immediate alerting of a control station and downstream delayed alerting of the affected areas.
A3	No automatic fire detection or only local automatic fire detection.

Table 5: Categorisation of alarm systems

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

Tabelle 6: Kategorisierung der Gebäudekomplexität

Category	Building complexity
B1	Simple, open floor plan, single-storey, exits directly visible and leading outside.
B2	Simple floor plan, multiple rooms and multi-storey. Construction largely complies with stipulations.
B3	Large, complex floor plan.

Table 6: Categorisation of building complexity

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

*Tabelle 7: Kategorisierung des Brandschutzmanagements*

Category	Fire protection management
M1	Large number of well-trained fire protection assistants. Safety system and procedures independently tested.
M2	Well-trained fire protection assistants. Safety system not tested.
M3	Complies with minimum standards.

*Table 7: Categorisation of fire protection management*

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:

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

The following minimum and maximum values for the distribution of individual premovement times determine a time span according with the categorisation outlined above

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

Szenario	$t_{Reakt, min}$ [min]	$t_{Reakt, max}$ [min]
<b>Kategorie A: wach, vertraut</b>		
M1 B1 – B2 A1 – A2	0,5	1,5
M2 B1 – B2 A1 – A2	1	3
M3 B1 – B2 A1 – A3	(>15)	(>30)
B3: addiere 0,5 min zu $t_{Reakt, min}$ und $t_{Reakt, max}$ wegen schwierigerer Orientierung		
<b>Kategorie B: wach, unvertraut</b>		
M1 B1 A1 – A2	0,5	2,5
M2 B1 A1 – A2	1	4
M3 B1 A1 – A3	(>15)	(>30)
B2: addiere 0,5 min zu $t_{Reakt, min}$ und $t_{Reakt, max}$ wegen schwierigerer Orientierung		
B3: addiere 1 min zu $t_{Reakt, min}$ und $t_{Reakt, max}$ wegen schwierigerer Orientierung		
<b>Kategorie C(a): schlafend, vertraut</b>		
M2 B1 A1	(5)	(15)
M3 B1 A3	(10)	(>40)
<b>Kategorie C(b): betreute Wohnanlagen</b>		
M1 B2 A1 – A2	(10)	(30)
M2 B2 A1 – A2	(15)	(40)
M3 B2 A1 – A3	(>20)	(>40)
<b>Kategorie C(c): schlafend, unvertraut</b>		
M1 B2 A1 – A2	(15)	(30)
M2 B2 A1 – A2	(20)	(40)
M3 B2 A1 – A3	(>20)	(>40)
B3: addiere 1 min zu $t_{Reakt, min}$ und $t_{Reakt, max}$ wegen schwierigerer Orientierung		

Tabelle 8: Die Minimum- und Maximumwerte der individuellen Reaktionsdauerverteilungen ergeben sich aus den zuvor genannten Kategorisierungen. Werte in Klammern weisen eine größere Unsicherheit auf [8]



Scenario	$T_{\text{Premovement, min}}$ [min]	$T_{\text{Premovement, max}}$ [min]
<b>Category A: awake and familiar</b>		
M1 B1 – B2 A1 – A2	0.5	1.5
M2 B1 – B2 A1 – A2	1	3
M3 B1 – B2 A1 – A3	(>15)	(>30)
B3: add 0.5 min to $t_{\text{Premovement, min}}$ due to more difficult orientation		
<b>Category B: awake and unfamiliar</b>		
M1 B1 A1 – A2	0.5	2.5
M2 B1 A1 – A2	1	4
M3 B1 A1 – A3	(>15)	(>30)
B2: add 0.5 min to $t_{\text{Premovement, min}}$ due to more difficult orientation		
B3: add 1 min to $t_{\text{Premovement, min}}$ due to more difficult orientation		
<b>Category C(a): sleeping and familiar</b>		
M2 B1 A1	(5)	(10)
M3 B1 A3	(10)	(>40)
<b>Category C(b): managed occupancy</b>		
M1 B2 A1 – A2	(10)	(30)
M2 B2 A1 – A2	(15)	(40)
M3 B2 A1 – A3	(>20)	(>40)
<b>Category C(c): sleeping and unfamiliar</b>		
M1 B2 A1 – A2	(15)	(30)
M2 B2 A1 – A2	(20)	(40)
M3 B2 A1 – A3	(>20)	(>40)
B3: add 1 min to $t_{\text{Premovement, min}}$ due to more difficult orientation		

Table 8: The minimum and maximum values of individual premovement time distributions are derived from the previously stated categorisations. Figures in parentheses with greater level of uncertainty [8]

**Anhang 3: Literaturverzeichnis**

**Annex 3: Bibliography**

- [1] ARGEBAU: Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Muster-Versammlungsstättenverordnung – MVStättV). ARGEBAU – Fachkommission Bauaufsicht, Fassung Juni 2005, zuletzt geändert Juli 2014
- [2] Weidmann U., *Transporttechnik der Fußgänger*, Schriftenreihe des Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau Nr. 90, S.35-46, Zürich, Januar 1992.
- [3] Fruin, *Pedestrian planning and design*, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, New York, 1971.
- [4] DIN EN 13200-1:2012, Zuschaueranlagen - Teil 1: Allgemeine Merkmale für Zuschauerplätze, November 2012.
- [5] David A. Purser, *Behaviour and Travel Interactions in Emergency Situations and Data Needs for Engineering Design*, Proceedings of the 2nd International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics 2003, Greenwich, U.K., S. 355 – 369
- [6] Braun Brandsicherheit, *Fluchtwege bei Verkaufsgeschäften und Räumen mit großer Personenbelegung - Analyse und Bemessungsvorschlag*, 5. Februar 1999, Erarbeitet im Rahmen einer Arbeitsgruppe der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF), Bern.
- [7] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2<sup>nd</sup> edition NFPA 1995.
- [8] ISO/TR 16738:2009(E), Fire-safety engineering - Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people, International Organization for Standardization (ISO), 2009.