

DIN SPEC 91284

Grundlagen mikroskopischer Entfluchtungsanalysen

*engl.:* Principles of Microscopic Evacuation Analysis

*frz.:* Principes du Analyses microscopique d'evacuation

## Vorwort

Diese DIN-Spezifikation nach dem PAS-Verfahren legt die Methodik für die Erstellung einer simulati-  
onsgestützten Entfluchtungsanalyse fest.

Verfasser sind:

- Dr. Hubert Klüpfel, TraffGo HT GmbH, Duisburg
- Dr. Rainer Könnecke, IST GmbH, Frankfurt
- Christian Rogsch, CAD-Zeichenbüro Rogsch, Neustadt
- Andreas Winkens, Bergische Universität Wuppertal

Weiterhin haben an dieser Spezifikation mitgearbeitet:

- RiMEA e. V., Duisburg

Die Veröffentlichung der DIN SPEC hat die "Entwicklungsbegleitende Normung" im DIN Deutsches In-  
stitut für Normung e. V. betreut. Für den Inhalt dieses Dokumentes sind allein die Verfasser verant-  
wortlich. Für dieses Thema existiert keine Norm.

Allerdings betrachten die DIN EN 13200 mit der Sicherheit von Zuschaueranlagen und die ISO/TR  
16738 mit dem Brandschutzingenieurwesen verwandte Themengebiete.

Die Arbeiten zu dieser Spezifikation wurden gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung  
und Forschung für das Verbundprojekt INFRANORM.

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

November 2011

## Einleitung

### Schutzziele

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 im Brandfall die Rettung von Menschen und Tieren und wirksame Löscharbeiten möglich sein.

### Abweichung von der pauschalen Bemessung

Der § 51 Absatz 7 der MBO erlaubt im Einzelfall für Sonderbauten die Abweichung von den allgemeinen Vorschriften hinsichtlich Brandschutzanlagen, -einrichtungen und -vorkehrungen. Für diesen Fall ist ein Nachweis erforderlich, dass das geforderte Sicherheitsniveau auch auf anderen belegbaren Wegen erreicht wird. Zu diesem Zweck sind Entfluchtungsanalysen (bzw. -berechnungen) als Teil eines ganzheitlichen Brandschutzkonzeptes anzuraten. Dies gilt ebenso für Gebäude, die planmäßig von einer großen Anzahl an Personen genutzt werden.

### Prüfung und Beurteilung

Der Einsatz rechnergestützter Verfahren bei solchen Nachweisen stellt die Bauaufsichtsbehörden vor neue Herausforderungen bei der Beurteilung der Verlässlichkeit und Richtigkeit dieser Nachweise und darin enthaltenen Berechnungen (Simulationen). Die vorliegende Spezifikation stellt eine Handreichung für Behörden und Nutzer dar, um eine einheitliche Vorgehensweise für die Erstellung von Entfluchtungsanalysen zu gewährleisten.<sup>1</sup>

### Ziel dieser Spezifikation

Ziel dieser Spezifikation ist es, die Methodik für die Erstellung einer simulationsgestützten Entfluchtungsanalyse festzulegen und:

1. die (Gesamt-) Entfluchtungszeit bzw. die Entfluchtungszeit 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 Fluchtwege - abweichend von den Dimensionierungsvorgaben des Bauordnungsrechts für die angenommenen Personenzahlen - die erforderlichen Schutzziele erfüllen;
3. zu zeigen, dass die Fluchtvorkehrungen ausreichend flexibel sind für den Fall, dass bestimmte Fluchtwege oder gesicherte Bereiche nicht verfügbar sind;
4. soweit möglich, signifikante Stauungen, die während der Entfluchtung aufgrund der normalen Bewegung von Personen entlang der Fluchtwege auftreten können, zu erkennen.

---

<sup>1</sup> Es wird darauf hingewiesen, dass Fluchtwegeberechnungen nicht alle Einflüsse einer komplexen Realität berücksichtigen können, zumal auch bei einer erneuten Realräumung unterschiedliche Personenkonstellationen einen anderen Verlauf bewirken können. Die Simulation stellt einen idealisierten Fall dar, bei dem sich die Agenten (das sind die simulierten Personen) gemäß der Vorgaben des Nutzers (für Parameter und Routenwahl) bewegen. Psychologische Aspekte, die zum Beispiel die Routenwahl und das Verhalten der Person beeinflussen, können jedoch gerade durch statistische Verteilungen und damit mittels mehrfach durchgeführter Simulationsläufe bewertet werden.

Diese Spezifikation definiert einen Mindeststandard in Bezug auf die Eingangsgrößen, die Modellbildung, die rechnerische Simulation und die Auswertung und Dokumentation einer Entfluchtungsanalyse. Mithilfe der in dieser Spezifikation dargestellten Methodik einer simulationsgestützten Entfluchtungsanalyse soll die Leistungsfähigkeit eines Fluchtwegekonzeptes als Bestandteil einer baulichen Anlage bewertet werden.

## 1 Anwendungsbereich

Die simulationsgestützte Entfluchtungsanalyse dient zur Bestimmung der Entfluchtungszeit von baulichen Anlagen und Freiflächen, auf denen der freie ungehinderte Personenstrom baulich beeinflusst wird und zur Überprüfung der Konzeption und Leistungsfähigkeit von Fluchtwegen, 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. Diese Spezifikation 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.

## 2 Begriffe

### 2.1 Mikroskopische Entfluchtungsanalyse

Rechnergestützte Analyse von selbstständigen Personenbewegungen hin zum sicheren Ort, bei der jede 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 Fähigkeiten, 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 Anlagen.

### 2.3 Freifläche

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

## 2.4 Versammlungsstätten

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

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

## 2.5 Entfluchtung

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

## 2.6 Fluchtwege

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.

## 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.

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

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

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

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

### ANMERKUNG

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

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

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 $t_{i, \text{Flucht}}$

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

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

### ANMERKUNG

Abbildung 1 zeigt den grafischen Zusammenhang der oben genannten Zeitkomponenten.

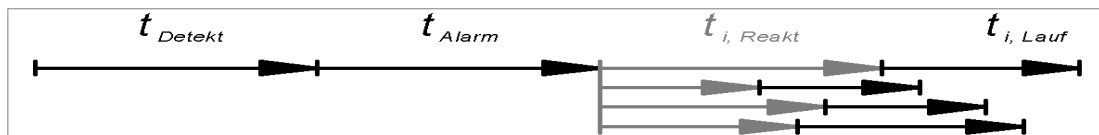


Abbildung 1: Grafische Darstellung der einzelnen Zeitkomponenten der individuellen Entfluchtungszeit

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

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

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

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

## 2.17 Statistische Auswertung wiederholter Simulationsläufe

Zur Bewertung unterschiedlicher Konstellationen während der Entfluchtung, bei der Agenten (Personen) mit unterschiedlichen Eigenschaften zufällig im Zeitablauf auf dann auch 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 $t_{\text{Flucht, min}}$

Minimum aus einem Ensemble von Entfluchtungszeiten.

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

Maximum aus einem Ensemble von Entfluchtungszeiten.

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

Arithmetischer Mittelwert aus einem Ensemble von Entfluchtungszeiten.

### 2.17.4 Standardabweichung $s_{\text{Flucht}}$

Maß für die Streuung der Verteilung (Schätzung der Varianz der Grundgesamtheit) und somit die Streubreite der Verteilung .

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

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

### 3 Eingabegrößen für Simulationen

Die im folgenden aufgeführten Eingabegrößen sind entsprechend der jeweiligen zu untersuchenden Situation festzulegen, zu begründen und zu dokumentieren (vgl. Kap. 6 und 7), wobei die herangezogenen Quellen zu benennen sind. Typische Werte für die verschiedenen Eingabegrößen können den geltenden Gesetzen / Verordnungen sowie einigen Regeln der Technik, wie z.B. dem vfdb-Leitfaden, RiMEA, aber auch den Handbüchern der Simulationssoftware gefunden 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 Versperrung und teilweise Nicht-Verfügbarkeit.

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

#### 3.2 Kategorie POPULATION

Die Zusammenstellung der Population erfolgt im Hinblick auf Alter, physische Attribute und Reaktionszeit. Die statistische Zusammensetzung der Population ist typischerweise identisch für alle Szenarien 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:

1. Jede Person wird in der Simulation individuell repräsentiert.
2. Die grundlegenden Regeln für die Entscheidungen und Bewegungen sind für alle Personen gleich und werden durch einen dokumentierten, universellen Algorithmus beschrieben.
3. Die Leistungsfähigkeit jeder Person oder Personengruppe wird durch einen Satz von Personenparametern festgelegt. Einige dieser Parameter wirken sich stochastisch auf das Verhalten der Personen aus.
4. Die Bewegung jeder einzelnen Person wird aufgezeichnet.
5. Die Personenparameter variieren zwischen den Individuen einer Population.
6. Der Zeitunterschied zwischen den Aktionen zweier Personen in der Simulation (also die Zeit, innerhalb derer alle Personen agieren) soll zeitlich so hoch aufgelöst sein, dass die notwendigen Bewegungs- und Verhaltensaktionen mit ihren Wechselwirkungen konsistent modelliert werden können (mikroskopische Analyse). Die Aktualisierung aller Aktionen wird als Update bezeichnet.
7. Bei der Auswahl der analysierten 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, wird in der Analyse nicht berücksichtigt.

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

### 3.2.2 Eigenschaften der Population

Entsprechend der jeweiligen Nutzung der baulichen Anlage ist es angezeigt, einen ausreichend konservativ gewählten Parametersatz für 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 Reaktionszeiten z. B. gemäß RiMEA, vfdb-Leitfaden oder anderer Standards festgelegt werden.

Die Verteilung der Reaktionszeiten kann je nach Gebäudetyp und Veranstaltungsart variieren.

### 3.2.4 Freie Gehgeschwindigkeit in der Ebene

Sind genaue Kenntnisse über die Population im Objekt bekannt, können die Gehgeschwindigkeiten gemäß RiMEA, vfdb-Leitfaden oder anderen Standards festgelegt werden.

Die durchschnittlichen Gehgeschwindigkeiten für die typische Bevölkerung sind in Abhängigkeit vom Alter zu ermitteln und zu dokumentieren.

### 3.2.5 Freie Gehgeschwindigkeit 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.

### 3.2.6 Personendichten der Anfangsverteilung

Die Anfangsverteilung der Personen gibt vor, gemäß welchen Personendichten die Personen zu Beginn der Simulation verteilt werden müssen. Liegen konkrete Daten vor, sollten sie unter Bekanntgabe der Quelle in die Analyse einfließen.

## 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 Faktoren und Randbedingungen

1. Definition des Geometriemodells.
2. Definition der Populations-Zusammensetzung und Verteilung.
3. Beschreibung des Fluchtwegekonzeptes.
4. Benennung des auslösenden Ereignisses für die Entfluchtung.
5. Definition der Abschnittsbildung.
6. Definition der sicheren Bereiche.
7. Beschreibung des Alarmierungssystems.
8. Beschreibung organisatorischer Maßnahmen.

## 4.2 Betrachtete Szenarien

Die Berechnung der Entfluchtungszeit erfolgt durch die Analyse eines oder mehrerer Szenarien. Ein Szenarium ist durch eine Geometrie, eine Anfangspersonenverteilung, eine Routenverteilung und die statistische Zusammensetzung der Population definiert. Durch die Änderungen eines Parameters entsteht ein neues Szenarium. Die geplante Nutzungsart sowie die zu erwartenden Personenzahlen sind detailliert zu beschreiben. Besonders zu berücksichtigen sind unterschiedliche Nutzungsarten innerhalb eines Objektes (z. B. Einkaufszentrum mit Multiplexkino und Versammlungsstätte). Aufgrund von unterschiedlichen Nutzungszeiten 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 anhand eines in der Literatur dokumentierten Verfahrens berechnet werden.

### 4.2.2 Anordnung der Fluchtwege - grundlegender Entfluchtungsfall

Alle vorhandenen Fluchtwege stehen für die Entfluchtung zur Verfügung. Die Personen bewegen sich entlang der Fluchtwege und kennen den Weg ins Freie bzw. zum nächstgelegenen sicheren Bereich. Hierbei wird unterstellt, dass Beschilderung, Leitsysteme, Schulung eventuell vorhandener Sicherheitskräfte und andere Einflüsse bezüglich Gestaltung und Betrieb der Entfluchtungseinrichtungen mit den Anforderungen der entsprechenden Gesetze und Verordnungen im Einklang stehen. Eine eventuelle Unvertrautheit mit dem Gebäude kann bei dieser Vorgehensweise durch entsprechend längere Reaktionszeiten berücksichtigt werden.

### 4.2.3 Flexibilität der Fluchtwege – zusätzliche Entfluchtungsfälle

Es empfiehlt sich, auch in Abstimmung mit der zuständigen Behörde zusätzliche Szenarien zu

untersuchen. Hierdurch können die Auswirkungen versperrter Fluchtwege (und damit die Flexibilität des Entfluchtungskonzepts) geprüft werden. So kann z. B. die Modellierung der Wahrnehmung von Rettungszeichen (Fluchtwegemarkierungen) im Rahmen einer mikroskopischen Entfluchtungsanalyse wichtige Hinweise auf die Schlüssigkeit des Konzepts liefern.

### 4.3 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 je nach Szenario stochastisch neu bestimmt werden.
3. Für jeden Simulationsdurchgang sollen die demographischen Parameter der Personen entsprechend der dem Szenarium zugrunde liegenden Populationszusammensetzung stochastisch neu bestimmt werden.
4. Für jedes Szenario soll eine dem Simulationsmodell angemessene Anzahl von Simulationsdurchläufen ausgeführt werden. Je nach statistischer Verteilung der Gesamtentfluchtungszeiten kann eine größere Anzahl an Simulationsdurchläufen notwendig sein, um eine statistisch belastbare Aussage treffen zu können.
5. Die Ergebnisse aller Simulationsdurchläufe für alle Szenarien sind nachvollziehbar zu dokumentieren. Anzugeben sind eine grafische Darstellung der Zeitverteilung (Histogramm), die minimale, maximale und die signifikante (Gesamt-) Entfluchtungszeit sowie die Standardabweichung.
6. Die akzeptable 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 (Gesamt-) Entfluchtungszeiten 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.

### 4.4 Identifizierung von kritischen Bewegungsabläufen und signifikanten Stauungen

Im Rahmen der Entfluchtungsanalyse müssen auftretende signifikante Stauungen identifiziert, beschrieben und bewertet werden. Ebenso so 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, Reisezeitverlusten und Stauzeiten o.a. identifiziert werden. Für die Kriterien, die zur Identifikation von Stauungen verwendet werden, müssen in der Analyse Berechnungsvorschriften angegeben werden.

## 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 Analyserstellung angelehnt.

### 5.1 Dokumentation der Arbeitsschritte

Die einzelnen Arbeitsschritte der Analyse müssen ausreichend detailliert dokumentiert werden

1. Annahmen (siehe Abschnitt 6)
2. Verwendete Berechnungs- und Simulationsverfahren (siehe Abschnitt 7.2)
3. Ergebnisse (siehe Abschnitt 7.3)
  1. Gesamtdauer und deren Häufigkeitsverteilung
  2. Bereiche mit kritischen Bewegungsabläufen und Stauungen

### 5.2 Dokumentation des verwendeten Simulationsverfahrens

Die Dokumentation der Entfluchtungsanalyse soll 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 Art der Aktualisierung (Update), d.h. die Reihenfolge, in der die Personen sich während der Simulation bewegen (parallel, zufällig sequentiell, geordnet sequentiell oder andere);
- die Darstellung von Treppen, Türen, Sammelplätzen und anderen besonderen räumlichen Elementen und iob und wie sich die zugehörigen Variablen und Parameter auf den Ablauf der Simulation auswirken; und
- der Hinweis auf das detaillierte Benutzerhandbuch, das die Art und Funktion des Modells und die zugrunde liegenden Annahmen beschreibt.

### 5.3 Dokumentation der Simulationsergebnisse

#### 5.3.1 Struktur der Dokumentation

Der Mindestinhalt und die Struktur einer Analysedokumentation sind in Abschnitt 7.4 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
- 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
- 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 / des Modells

- 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 Evakuierungsanalyse,
- Mittlere Dichte, mittlere Geschwindigkeit; Häufigkeitsverteilung

- Sonstige vom Anwender festzulegenden Randbedingungen zur Simulation
- Gewählte / erforderliche Vereinfachungen des Simulationsmodells mit Begründung
- Zuordnung von Personen zu Ausgängen mit Begründung (szenarioabhängig)

#### 5.4.6 Ergebnisse / Besonderheiten

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

#### 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 / Simulationen
- Zusammenfassung / Fazit der Analyse

### 5.5 Korrekturmaßnahmen

Falls für eine bauliche Anlage die berechnete Entfluchtungszeit die akzeptable (Gesamt-) Entfluchtungszeit überschreitet, sollten gegebenenfalls Vorschläge für Korrekturmaßnahmen am Bauwerk entwickelt werden, bis die notwendige (beispielsweise vorgeschriebene) Entfluchtungszeit erzielt wird. Korrekturmaßnahmen können in einer Veränderung

- der Geometrie,

bzw. durch Anpassung

- baulicher Maßnahmen,
- anlagentechnischer Maßnahmen,
- organisatorischer Maßnahmen,

bestehen.

Eine Veränderung demografischer Parameter in der Entfluchtungsanalyse zum Erreichen der notwendigen Entfluchtungszeit ist nicht zulässig.

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 zulässigen Personenzahl vorzunehmen.

## 6 Literatur

Hosser, Dietmar (2009): vfdb Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes. 2. Aufl. Hg. v. Dietmar Hosser. Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes - vfdb. Heyrothsberge.

ARGEBAU - Fachkommission Bauaufsicht (2005): Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten. MVStättV, vom Juni 2005

DIN 13200-1: 2004-5: Zuschaueranlagen - Teil 1: Kriterien für die räumliche Anordnung von Zuschauerplätzen – Anforderungen.

DiNenno, Philip J. (2006): SFPE handbook of fire protection engineering. 3. ed., [Nachdr.]. Quincy, Mass: NFPA, National Fire Protection Association [u.a.].

Beilicke, Gert (Hg.) (2010): Personenströme in Gebäuden. Berechnungsmethoden für die Projektierung. 1., Aufl. Leipzig: Beilicke Brandschutz Verlag.

ISO/TR 16738:2009: Fire-safety engineering -- Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people

ARGEBAU - Fachkommission Bauaufsicht (2008): Musterbauordnung – MBO - , Fassung November 2002, zuletzt geändert im Oktober 2008

Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen (RiMEA), Version 2.2.1 vom 08 Juni 2009