

Evakuierungssimulationen im Rahmen von Sicherheitskonzepten

von der Konzeption bis zur Realisierung

Gregor Jäger, M.Sc.; Dipl.-Ing. Andreas Plum

24.11.2011



Arbeitsschutz



Betrieblicher Umweltschutz



Brandschutz



Bautechnik



Technische Anlagen

Evakuierungssimulationen im Rahmen von Sicherheitskonzepten

von der Konzeption bis zur Realisierung

Gregor Jäger, M.Sc.; Dipl.-Ing. Andreas Plum

Der Einsatz von Personenstrom- und Evakuierungssimulationen ermöglicht eine differenzierte Betrachtung der Flucht- und Rettungswege im Zuge der Erstellung eines ganzheitlichen Sicherheitskonzeptes für Veranstaltungen. Ziel einer jeden sicherheitstechnischen Betrachtung muss sein, dass bei einem Ereignis keine zusätzliche Personengefährdung durch die Räumung einer Versammlungsstätte bzw. -fläche auftreten darf.

Für die Beurteilung des Gefahrenpotenzials einer Veranstaltung bedeutet dies, dass ein „optimales“ Verhalten einer Menschenmasse nur unter guten Bedingungen möglich ist. Der Nachweis könnte zukünftig nach einem 3-stufigen Verfahren erfolgen.

Grundlage für eine geordnete Räumung sind beispielsweise Ordnerkonzepte, die auf wichtigen Informationen aus den Ergebnissen von Räumungs- und Evakuierungssimulationen beruhen. Die Entwicklung, Überprüfung und Abstimmung des Ordnungsdienstes mit dem Veranstaltungskonzept ermöglichen bereits im Vorfeld eine vorausschauende umfassende Sicherheitsbetrachtung. Die so abgestimmten Ergebnisse werden zum Abschluss in einem ganzheitlichen Sicherheitskonzept zusammengefasst.

Motivation

Normative und gesetzliche Regelungen im Bauwesen haben immer den Anspruch, für eine Vielzahl von verschiedenen Bauwerken Gültigkeit zu finden. Dabei findet im Brandschutz in der Regel ein „Baukastenprinzip“ Anwendung, bei dem auf Grundlage des Gebäudetyps und der Besonderheiten der Nutzer aus verschiedenen Komponenten (z. B. Abschottungen, Brandmeldeanlagen, Löschanlagen, Rauchabzugsanlagen, Rettungsweglängen und -breiten etc.) ein Brandschutzniveau zusammengestellt wird, das die Erfüllung der bauordnungsrechtlichen Schutzziele gewährleistet.

Die modernen Ingenieurmethoden sind zur Gewährleistung eines sicheren, aber dennoch wirtschaftlichen Brandschutzniveaus und nicht zuletzt zur Bewältigung der vielfältigen brandschutztechnischen Probleme beim Bauen im Bestand heute nicht mehr aus der Brandschutzplanung wegzudenken. Zudem lassen sich viele architektonisch anspruchsvolle Bauwerke erst durch die Anwendung von Ingenieurmethoden ausreichend brandsicher planen bzw. durch diese alternativen Nachweismethoden überhaupt erst realisieren. Dabei ergänzen wissenschaftliche und praxisorientierte Ingenieurmethoden den „konservativen“ Brandschutz, der allein auf der Basis von strengen gesetzlichen und normativen Vorschriften beruht.

Einzelnachweise mit Brandsimulationsmodellen, die thermische Analyse von Tragwerken und numerische Untersuchungen zur Evakuierung finden im modernen Bauwesen immer häufiger Anwendung. Durch eine möglichst genaue Berücksichtigung der beeinflussenden Randbedingungen lassen sich mit den Ingenieurmethoden im Brandschutz objektbezogene und schutzzielorientierte Brandschutzkonzepte und entsprechende Sonderlösun-

gen entwerfen, die eine sichere und wirtschaftliche brandschutztechnische Auslegung von Sonderbauten ermöglichen.

Ingenieurmethoden des Brandschutzes zur Simulation von Bränden werden seit ca. 20 Jahren angewendet. In der Praxis gefestigt haben sich die Methoden wie Zonenmodelle und Feldmodelle jedoch erst seit ca. 10 Jahren.

Bei der Anwendung der Räumungs- und Evakuierungsberechnungen sieht man noch auf ein sehr junges Instrument der Brandschutzingenieurmethoden. Die Untersuchungen von Gebäuden mit Evakuierungssimulationen beschränken sich nicht mehr nur auf den Brandfall, sondern werden seit einigen Jahren auch verstärkt bei der Erstellung von Sicherheitskonzepten eingesetzt.

Vielfach wird bei Veranstaltungen im Rahmen der hierzu bei der zuständigen Ordnungsbehörde zu erwirkenden Erlaubnis zur Sondernutzung bestimmter Flächen auch die Stellung eines Bauantrages für die abweichende Nutzung gefordert. Regelmäßiger Bestandteil eines solchen Bauantrages ist dabei auch die Forderung nach der Erstellung eines Brandschutz- oder Sicherheitskonzeptes.

Mit der Beachtung der Vorgaben der Sonderbauverordnung können jedoch nicht alle Risiken beurteilt werden, da sich die Versammlungsstättenverordnung bei den Regelungen im Wesentlichen auf das Vorhandensein einer baulichen Hülle mit einer entsprechenden Infrastruktur stützt.

In diesem Beitrag wird unter einem ganzheitlichen Sicherheitskonzept ein Konzept verstanden, das sämtliche sicherheitsrelevanten Aspekte betrachtet, beurteilt und abgestimmte Maßnahmen in den verschiedenen Bereichen ermöglicht.

Schutzziele

Grundsätzliche Anforderungen an die Sicherheit und Ordnung finden sich zu Beginn der Musterbauordnung (MBO) ^{/3/} in § 3 Abs. 1. So sind 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. Neben dieser recht allgemeinen Schutzzieldefinition wird in § 14 MBO das Schutzziel des Brandschutzes näher beschrieben. So sind bauliche Anlagen so anzuordnen, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.

Das Schutzziel der Rettung von Menschen aus Gebäuden wird in § 33 Abs. 1 MBO konkretisiert. Zur Erreichung des Schutzzieles stellt die MBO für Nutzungseinheiten mit mindestens einem Aufenthaltsraum die Forderung nach zwei voneinander unabhängigen Rettungswegen ins Freie. Soweit Nutzungseinheiten nicht zu ebener Erde liegen, muss der 1. Rettungsweg über eine notwendige Treppe führen. Der 2. Rettungsweg kann nach § 33 Abs. 2 eine weitere notwendige Treppe oder eine mit Rettungsgeräten der Feuerwehr erreichbare Stelle der Nutzungseinheiten sein. Jede notwendige Treppe muss nach § 35 Abs. 1 MBO zur Sicherstellung der Rettungswege in einem eigenen, durchgehenden Treppenraum liegen. Diese so genannten notwendigen Treppenräume sind so anzuordnen und auszubilden, dass die Nutzung im Brandfall ausreichend lang möglich ist. Flure, über die Rettungswege führen, sind nach § 36 MBO so auszulegen, dass sie für den größten zu erwartenden Verkehr ausreichen. Die maximal zulässige Rettungsweglänge von jeder Stelle eines Aufenthaltsraumes zum Ausgang in einen notwendigen Treppen-

raum oder ins Freie ist in § 35 Abs. 2 MBO auf 35 m festgeschrieben. Konkrete Angaben zur Rettungswegbreite in notwendigen Treppenträumen und Fluren finden sich nur in den Landesbauordnungen oder den zugehörigen Durchführungsvorschriften.

Neben den allgemeinen Anforderungen nach § 3 Abs. 1 MBO können an Gebäude besonderer Art und Nutzung nach § 51 MBO im Einzelfall besondere Anforderungen gestellt werden. Wie diese besonderen Anforderungen aussehen, obliegt letztlich der zuständigen Genehmigungsbehörde. In manchen Bundesländern ist dies in Verordnungen oder ähnlichen Vorschriften geregelt. Als Orientierung und Entscheidungsfindung können die jeweiligen Musterrichtlinien und -verordnungen der ARGEBAU¹ dienen.

Für Versammlungsstätten als typisierter Sonderbau kann die Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (MVStättV)^{1, 2/} herangezogen werden. Neben der Bemessung der Besucherzahlen (siehe Tabelle 1) enthält die Verordnung Angaben über die Definition der Rettungswege (§ 6 MVStättV) und den Verlauf und die Bemessung (§ 7 MVStättV) (siehe Tabelle 2).

¹ Bauministerkonferenz – Konferenz der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (ARGEBAU)

Tabelle 1: Bemessung der Besucherzahlen (Auszug aus MVStättV)

Anzahl der Besucher ...	
für Sitzplätze an Tischen	1 Besucher je m ² ¹⁾
für Sitzplätze in Reihen und für Stehplätze	2 Besucher je m ² ¹⁾
für Stehplätze auf Stufenreihen	2 Besucher je lfd. m ¹⁾
für Ausstellungsräume	1 Besucher je m ² ¹⁾

¹⁾ bezogen auf die Grundfläche des Versammlungsraumes

Tabelle 2: Anforderungen an Rettungswege (Auszug aus MVStättV)

Entfernung ...	
von jedem Besucherplatz zum nächsten Ausgang	30 m
Bei mehr als 5 m Höhe ist je 2,5 m zusätzlicher lichter Höhe eine Verlängerung möglich.	um je 5 m
maximale Entfernung	60 m

Tabelle 3: Anforderungen an Rettungswege (Auszug aus MVStättV)

Lichte Breite von Rettungswegen	
im Freien sowie bei Sportstätten	1,2 m je 600 Personen
andere Veranstaltungsstätten	1,2 m je 200 Personen
Versammlungsräume mit < 200 m ² und < 200 Personen	0,9 m
maximal lichte Breite notwendiger Treppen	2,4 m

Für die Sicherheit der Veranstaltung und die Einhaltung der Vorschriften ist gemäß § 38 MVStättV der Betreiber einer Veranstaltungsstätte verantwortlich. Dies beinhaltet die Gewährleistung der Zusammenarbeit von Ordnungsdienst, Brandsicherheitswache und Sanitätswache mit der Polizei, der Feuerwehr und dem Rettungsdienst. Wenn für die Sicherheit der Versammlungsstätte notwendige Anlagen, Einrichtungen oder Vorrichtungen nicht betriebsfähig sind oder wenn die Betriebsvorschriften nicht eingehalten werden, hat der Betreiber den Veranstaltungsbetrieb einzustellen. Der Betreiber kann diese Verpflichtungen durch schriftliche Vereinbarung auf den Veranstalter übertragen. Die Gesamt-Verantwortung des Betreibers bleibt davon unberührt. Dies bedeutet, dass der Betreiber nur von der Anwesenheitspflicht befreit wird. Der Veranstalter ist nicht alleinverantwortlich, sondern mitverantwortlich (siehe § 38 (5) S. 1 MVStättV).

In Abhängigkeit der Art der Veranstaltung ist der Betreiber nach MVStättV verpflichtet, ein Sicherheitskonzept zu erstellen und einen Ordnungsdienst einzurichten. Bereits im Kommentar zur MVStättV 2005 heißt es: „Die Regelung des § 117 VStättVO 1978 hat sich als unzureichend erwiesen, da sie den besonderen Sicherheitsanforderungen bei Großveranstaltungen nicht gerecht wird.“ In den vergangenen Jahren hat sich gezeigt, dass die in § 43 MVStättV 2005 festgeschriebene Verpflichtung in Abhängigkeit von der Art der Veranstaltung auch noch nicht den gewünschten Erfolg gebracht hat. Nicht zuletzt nach den Ereignissen der vergangenen Jahre wurde ein Prozess des Umdenkens und der Weiterentwicklung angestoßen.

Die gesetzlichen Anforderungen und somit die Schutzziele der Bauordnung werden bei der Einhaltung der deskriptiven Regeln (Vorgaben aus der Musterbauordnung bzw. den Sonderbauvorschriften) erreicht. Grundsätzlich werden in der Regel die in Auszügen dargestellten einfachen gesetzlichen Regelungen zur Ausbildung der Rettungswege in Brandschutzkonzepten angewendet. In den meisten Fällen wird bei Feststellung einer Abweichung (z. B. Tür schlägt in die falsche Richtung auf oder die vorgesehene Türbreite ist zu gering) eine verbale Argumentation mit oder ohne Kompensation in die Konzeption eingeführt. Bei Überschreitung der zulässigen Rettungsweglängen oder Rauchabschnittslängen im Flur wird z. B. eine Brandmelde- und Alarmierungsanlage als kompensierende Maßnahme vorgesehen, deren Beurteilung einem „Experten“ obliegt.

Bei komplexeren Systemen reicht diese verbale Argumentation nicht aus. Beim Abweichen von den deskriptiven Regeln der MBO und Sonderbauvorschriften ist die Anwendung von so genannten Ingenieurmethoden in Betracht zu ziehen. Die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Erstellung von Brandschutz-

und Sicherheitskonzepten lässt sich vereinfacht durch nachfolgende Abbildung skizzieren.

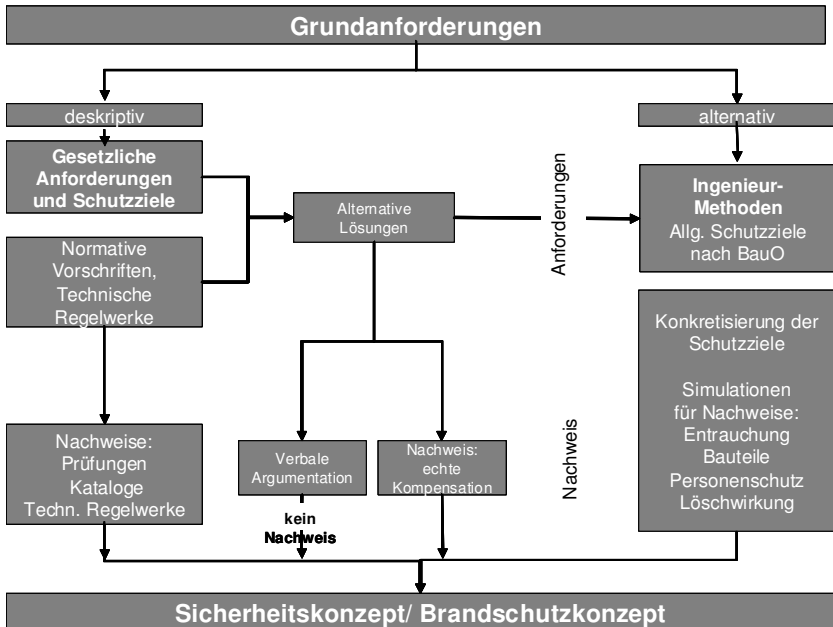


Abbildung 1: Systematik zum Nachweis des Sicherheitsniveaus

Beim Einsatz von Ingenieurmethoden des Brandschutzes sind Kenntnisse über die eingesetzten Modelle, eine für Dritte nachvollziehbare Durchführung, Dokumentation und Bewertung unabdingbar. Nachfolgend wird ein Überblick über die verschiedenen Modelle der Evakuierungs- und Räumungssimulation sowie eine Vorgehensweise zur Durchführung und Dokumentation gegeben.

Evakuierungssimulation

Modelle zur Beschreibung von Evakuierungs- und Räumungs-szenarien lassen sich wie folgt unterteilen:

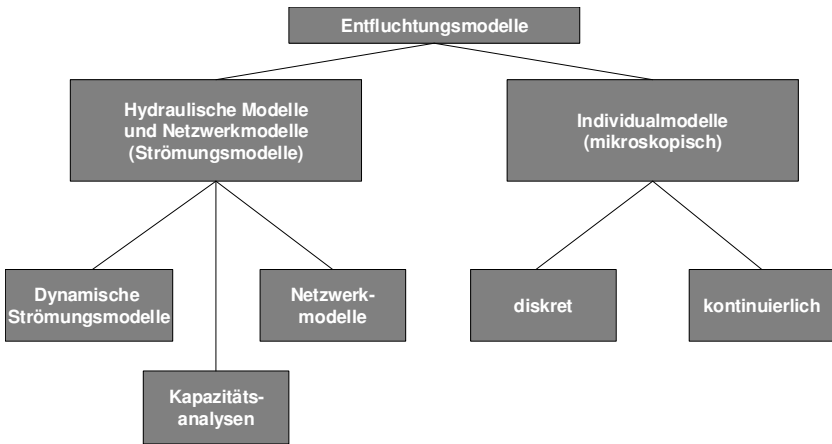


Abbildung 2: Einteilung von Evakuierungs- und Räumungsmodellen

Hydraulische Modelle, so genannte Strömungsmodelle, beschreiben die Bewegung von Personen modellhaft anhand verschiedener Wegelemente. Diesen Modellansätzen liegen für verschiedene Wegelemente Daten aus empirischen Untersuchungen über den spezifischen Durchfluss in Abhängigkeit zur Personendichte zugrunde. Für einen vorgegebenen Rettungsweg, eine definierte homogene Personengruppe und einen stationären Personenstrom erhält man nach Durchführung der Berechnung die Entfluchtungszeit.

Bei der so genannten Kapazitätsanalyse wird das betrachtete Objekt in einzelne Wegelemente unterteilt. Die zur Bestimmung der Fluchtzeit verwendeten Berechnungsansätze basieren auf Relationen, welche die Kapazität eines Wegelementes (Ausgang, Treppe oder Korridor) in Abhängigkeit von seiner Breite und gegebenenfalls auch anderen Parametern (z. B. Stufenabmessungen) beschreiben.

Dynamische Strömungsmodelle betrachten darüber hinaus die sich im Verlauf einer Personenbewegung über eine Wegstrecke ergebenden unterschiedlichen Personendichten und die daraus resultierenden Gehgeschwindigkeiten und spezifischen Flüsse. Die Modellansätze ermöglichen die Berücksichtigung verschiedener Bewegungsparameter, Personengruppen und Randbedingungen.

Bei so genannten Netzwerkmodellen werden die Wegelemente als Knoten eines Systems dargestellt. Neben Informationen zu Art und Abmessung der einzelnen Wegelemente ermöglichen Netzwerkmodelle die Berücksichtigung von individuellen Parametern (z. B. Mobilitätseinschränkungen oder Wahlmöglichkeiten bei Fluchtwegalternativen).

Neben den beschriebenen Strömungsmodellen finden sehr häufig so genannte Individual- bzw. mikroskopische Entfluchtungsmodelle Anwendung in der Praxis. Personen in einem Personenstrom werden hierbei als Individuen mit verschiedenen Eigenschaften beschrieben, die sich gegenseitig beeinflussen können. Die Beschreibung dieser individuellen Bewegungen erfolgt in kleinen Simulationszeitschritten. Aufgrund ihrer Komplexität lassen sich diese Berechnungen nicht mehr von Hand lösen, so dass diese ausschließlich computergestützt erfolgen.

Die Lösung und Berechnung dieser Individualmodelle lassen sich in diskrete und kontinuierliche Modelle unterteilen. Diskrete Modelle weisen ein zugrunde gelegtes Gitternetz auf, anhand dessen sich die Personen von einer Zelle zur nächsten fortbewegen. Die Geometrieerzeugung ist dann auch an die Abmessungen des zugrunde gelegten Gitternetzes gebunden. Man spricht bei diesem Modell auch von so genannten „Zellularautomaten“.

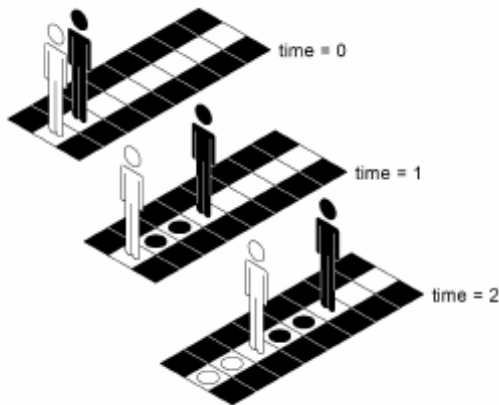
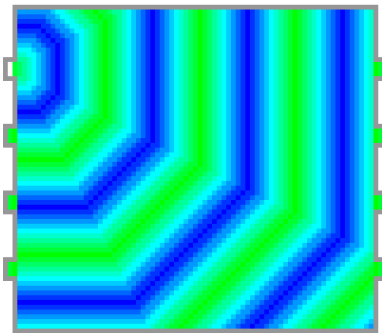


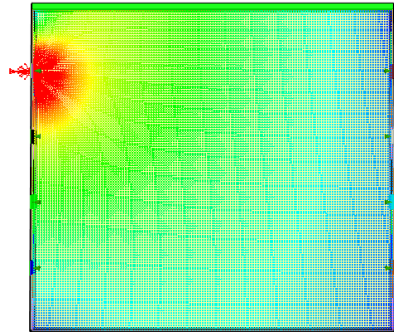
Abbildung 3: Bewegung und Update von PedGo ⁷¹
(TraffGo HT GmbH)

Der Personenstrom basiert bei kontinuierlichen Modellen jedoch nicht auf dieser Gitterabhängigkeit, sondern erfolgt als freie Bewegung innerhalb der durch Begrenzungswände und Hindernisse eingeteilten Geometrie. Ein Modell dieser Gattung ist das Evakuierungsmodul FDS+Evac ⁷⁵, das im Brandsimulationsprogramm Fire Dynamics Simulator (FDS) integriert ist und federführend am VTT Technical Research Centre of Finland entwickelt wird.

Zur Auswahl der Ausgänge und der Bewegung der Individuen dorthin verwenden Individualmodelle meist so genannte Potenzialfelder. Anhand der Potenzialwerte können die Individuen feststellen, in welche Richtung sie sich bewegen müssen, um ihr Ziel zu erreichen (siehe auch Abbildung 4).



Potenzialfeld eines diskreten Verfahrens



Potenzialfeld eines kontinuierlichen Verfahrens

Abbildung 4: Potenzialfelder von Individualmodellen

Von der Konzeption bis zur Realisierung

Unter einem Sicherheitskonzept nach § 43 MVStättV versteht man ein individuelles, auf die spezifischen Gefahren einer Veranstaltung angepasstes Konzept. Das Konzept soll die möglichen Gefahren in Bezug auf die Veranstaltungsart, den Veranstaltungsort und die Veranstaltungsbesucher aufführen, analysieren und bewerten. Im Anschluss an die Bewertung ist ein Maßnahmenkatalog zu definieren, der die Einhaltung des gesetzlich geforderten Sicherheitsniveaus unter Berücksichtigung der Veranstaltung gewährleisten soll.

Bereits im Jahr 2008 veröffentlichte der Arbeitskreis Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren (AGBF) eine Checkliste² und Inhaltsstichpunkte zur Aufstellung eines Sicherheitskonzeptes gemäß § 43 MVStättV für Veranstaltungsstätten.

Wie zu Beginn des Beitrags aufgezeigt, ist der Betreiber einer Veranstaltungsstätte für die Sicherheit der Veranstaltung und die Einhaltung der Vorschriften verantwortlich. Bei Großveranstaltungen im Freien bzw. im öffentlichen Raum stellt sich die Frage, wer als „Betreiber“ für die Sicherheit und die Einhaltung der Vorschriften verantwortlich ist. Vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Love Parade 2010 in Duisburg hat das Ministerium für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen einen

² URL (abgerufen am 01.10.2011):

http://www.agbf.de/pdf/Sicherheitskonzepte_fuer_Versammlungsstaetten.pdf

Leitfaden³ für die Planung, Genehmigung, Durchführung und Nachbereitung von Großveranstaltungen im Freien herausgegeben.

Die Planung, Genehmigung und Durchführung erfordern im Sinne des Leitfadens klare Entscheidungs- und Ablaufstrukturen. Die Zusammenarbeit der an der Veranstaltung beteiligten Stellen erfolgt im so genannten Koordinierungsgremium, dessen Koordination einer behördlich dafür bestimmten federführenden Stelle obliegt. Bei besonderem Bedarf, d. h. in Abhängigkeit von der Veranstaltungsart, können gemäß Leitfaden Arbeitsgruppen für einzelne Bereiche (z. B. Sicherheit und Ordnung, Bauaufsicht, Feuerwehr, Rettungsdienst, Feuerwehr, Verkehr (ÖPNV)) eingerichtet werden. Das Koordinierungsgremium bewertet in der Planungsphase das ermittelte Gefahrenpotenzial und berät die federführende Stelle bei der Einstufung der Veranstaltung. Es ist eine dreistufige Bewertung vorgesehen:

- kein erhöhtes Gefahrenpotenzial
- ein erhöhtes Gefahrenpotenzial
- aus Sicherheitsgründen nicht genehmigungsfähig.

Bei Veranstaltungen mit erhöhtem Gefahrenpotenzial ist der Veranstalter aufgefordert, ein Sicherheitskonzept vorzulegen. Das Sicherheitskonzept hat insbesondere Aussagen zu den in An-

³ URL (abgerufen am 01.10.2011):

<http://www.mik.nrw.de/themen-aufgaben/schutz-sicherheit/gedahrenabwehr-feuerwehr-katastrophenschutz/grossveranstaltungen.html>

hang A aufgeführten Punkten zu enthalten. Die Genehmigung der Großveranstaltung ergeht auf Grundlage des mit allen Beteiligten einvernehmlich abgestimmten Sicherheitskonzeptes⁴.

Bei Veranstaltungen im Freien ist die Umsetzung des deskriptiven Vorgehens oft nur bedingt möglich. Ein Werkzeug der Beurteilung des Gefährdungspotenzials stellt die Personen- und Evakuierungssimulation dar. Als mögliche zu untersuchende Aspekte einer Gefährdungsanalyse führt der Leitfaden u. a. auf:

- topographische Lage und Größe des Veranstaltungsraumes
- Absperrmaßnahmen
- Besucher: Altersstruktur, Zusammensetzung, Verhalten, Ortskenntnis, Alkohol-/Drogenkonsum
- Wegführung
- Jahreszeit
- Dauer der Veranstaltung
- Parallelveranstaltungen in der näheren Umgebung

Bei Anwendung von Personenstrom- und Evakuierungssimulationen im Rahmen der Planungsphase und bei der späteren Erstellung des Sicherheitskonzeptes sind gemeinsam mit dem Koordi-

⁴ Siehe Anlage 3 *Struktur eines Sicherheitskonzeptes* des Erlasses vom 11. August 2011 des Ministerium für Inneres und Kommunales NRW

nierungsgremium das Ziel der Untersuchung, das zugrundeliegende Sicherheitsniveau (qualitativ sowie quantitativ), die Randbedingungen und die auszuwertenden Parameter zu definieren und festzulegen.

Unter dem Gesichtspunkt der Abweichung vom deskriptiven Vorgehen zum Nachweis der Personensicherheit und der ständigen Entwicklung von Simulationsmodellen ist seitens des Anwenders von Räumungs- und Evakuierungsmodellen besondere Sorgfalt auf die transparente Anwendung und Dokumentation zu legen. In Abhängigkeit von dem Untersuchungsziel, dem zugrunde liegenden Sicherheitsniveau und den zu berücksichtigenden Randbedingungen ist ein geeignetes Evakuierungsmodell und -programm auszuwählen und sind entsprechende Szenarien zu definieren. Bei der Auswahl der zu betrachtenden Szenarien ist zu berücksichtigen, dass die in der Öffentlichkeit und bei Vertretern der genehmigenden Behörden oft zitierte „Panik“ eine Grenzsituation darstellt. Umgangssprachlich versteht man unter dem Begriff „Panik“ einen Zustand äußerster Angst vor einer gegenwärtigen oder vermeintlich gegenwärtigen Gefahr. Die wissenschaftliche Definition und Abgrenzung ist in Fachkreisen dagegen umstritten. Aufgrund der unterschiedlichen Definitionen ist die Abbildung von „Panik“ in einem Modell und einer anschließenden Umsetzung in einem Evakuierungsprogramm für die praktische Anwendung nur eingeschränkt möglich bzw. nützlich.

Die Auswertung von Unfallereignissen bei großen Menschenansammlungen zeigten^{8/}, dass Unfälle nicht unbedingt durch gefährliche oder vermeintlich gefährliche Situationen ausgelöst wurden. Bei einer genaueren Analyse der Ereignisse waren andere Faktoren, wie zum Beispiel ungenügende Ausgangsbreiten, Überfüllungen von Versammlungsstätten und -räumen, eine verspätete Alarmierung oder fehlende sicherheitstechnische Anla-

gen ursächlich. Betrachtet man das Verhalten einzelner Personen in der Nachbereitung dieser Ereignisse, so mag das Verhalten selbst-zerstörend oder zerstörend für andere Personen erscheinen. Dabei wird oft angenommen, dass Drängeln, Schieben, Stoßen oder Trampeln auf unkontrolliertem panischen Verhalten beruht. Für den Betroffenen in der Situation erscheint sein Verhalten im Gegensatz zur Alternative, in der Situation zu Tode zu kommen, als rational und logische Entscheidung. Für die Beurteilung des Gefahrenpotenzials einer Veranstaltung bedeutet dies, dass ein „optimales“ Verhalten einer Menschenmasse im Sinne einer „normalen sozialen“ Fortbewegung nur unter guten Bedingungen möglich ist. Die Anwendung von Personenstrom- und Evakuierungsmodellen muss daher zum Ziel haben, solche Grenzzustände und das daraus resultierende Verhalten der in der Menschenmasse befindlichen Individuen zu vermeiden. Die hierfür notwendigen Sicherheitsgrenzwerte sind heute teilweise noch unbestimmt und unbekannt. In den kommenden Jahren ist es die Aufgabe aller Beteiligten, die hierfür notwendigen quantitativen Werte herauszufinden, zu definieren und festzulegen.

Versammlungsstätten müssen so bemessen und ausgebildet sein, dass keine Ressourcenknappheit, keine „hohen“ Dichten und kein Informationsverlust für den Einzelnen auftreten können. Ziel einer jeden sicherheitstechnischen Betrachtung muss es daher sein, dass bei einem Ereignis keine zusätzliche Personengefährdung durch die Räumung einer Versammlungsstätte bzw. -fläche auftreten darf. Seitens des Betreibers einer Versammlungsstätte und des Veranstalters muss dies im ganzheitlichen Sicherheitskonzept berücksichtigt werden. Ziel einer Evakuierungsanalyse muss daher die Möglichkeit der Durchführung einer geordneten Räumung sein.

An den Anwender von Personenstrom- und Evakuierungssimulationen werden daher besondere Anforderungen gestellt. Wie bereits beschrieben handelt es sich bei der Simulation von Personenströmen und Evakuierungsszenarien um eine relativ „junge Brandschutzingenieurdisziplin“ und so besteht das Problem, dass es hierfür so gut wie keine Richtlinien oder Verordnungen gibt. Aus den Vorgaben der Bauordnung ergeben sich lediglich die allgemeinen Schutzziele, das so genannte Sicherheitsniveau.

Sonderbauten und Veranstaltungsstätten im Freien haben immer komplexere und größere Dimensionen und können teilweise nicht oder nur mit erheblicher Beeinträchtigung ihres Zwecks nach den gültigen Gesetzen und Verordnungen verwirklicht werden. Das Baurecht in seiner heutigen Form bietet noch keine Möglichkeit für eine ingenieurmäßige Auslegung der Flucht- und Rettungswege. In enger Abstimmung mit den genehmigenden Behörden kann die Einhaltung des gesetzlich definierten Sicherheitsniveaus durch Einsatz von Personen- und Evakuierungssimulationen bereits heute nachgewiesen werden. Zukünftig könnte das gesetzlich definierte Sicherheitsniveau nach dem in Abbildung 5 dargestellten dreistufigen Verfahren nachgewiesen werden.

In Stufe 1, dem deskriptiven Nachweis, werden die Länge und Breite der Rettungswege und der Türen in ihrem Verlauf nach den präskriptiven Vorgaben des Baurechts geplant und umgesetzt.

Der Nachweis in Stufe 2 erfolgt durch Vergleich mit den im Baurecht enthaltenen deskriptiven Vorschriften. Hierfür werden zunächst die bauliche Anlage baurechtskonform abgebildet und eine Evakuierungsberechnung durchgeführt. Im nachfolgenden Schritt wird die vom Baurecht abweichende Ausführung der baulichen Anlage untersucht. Die beiden Varianten werden anschlie-

ßend beispielsweise anhand der Entfluchtungsdauer, der Anstehzeit und der Personendichte verglichen und die möglichen Abweichungen in Bezug auf dem daraus resultierenden Gefährdungspotenzial beurteilt.

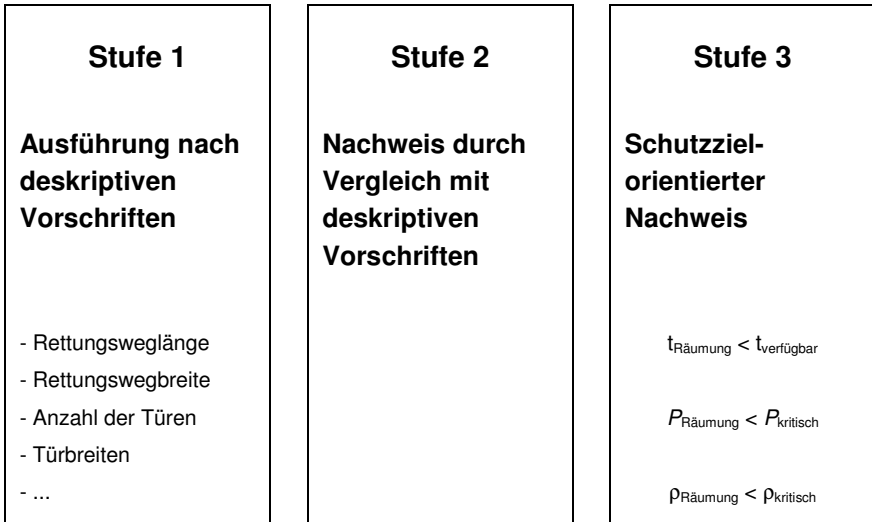


Abbildung 5: Nachweisstufen

Der schutzzielorientierte Nachweis der Stufe 3 erfolgt durch eine Grenzwertbetrachtung der Evakuierungszeit, des Personendrucks und der Personendichte. Die verfügbare Zeit, der Personendruck und die Personendichte sind dabei abhängig von den gewählten Akzeptanzkriterien. Zurzeit fehlen noch quantitative Werte für die Akzeptanzkriterien, die in den kommenden Jahren ermittelt, definiert und festgelegt werden müssen.

Orientierungshilfen für die Anwendung und Dokumentation von Personen- und Evakuierungsanalysen als Grundlage eines ganzheitlichen Sicherheitskonzeptes liefern beispielsweise der vfd-

Leitfaden „Ingenieurmethoden des Brandschutzes“^{/4/} sowie die RiMEA-Richtlinie^{/6/}.

Die Anforderungen an Evakuierungsberechnungen bleiben gemäß dem vfdb-Leitfaden relativ allgemein. Neben der Definition von Begrifflichkeiten werden nur einzelne Vorschläge bezüglich anzusetzender Reaktionszeiten sowie Personendichten in diversen Gebäudearten beschrieben.

Die RiMEA-Richtlinie befindet sich seit 2004 in der fortlaufenden Entwicklung und befasst sich ausschließlich mit simulationsgestützten Entfluchtungsanalysen. Ziel dieser Richtlinie ist es, die Methodik (u. a. themenbezogene Begriffe, allgemeine Eigenschaften von Simulationsmodellen sowie die Bestandteile und notwendigen Arbeitsschritte usw.) für die Erstellung festzulegen. Die Richtlinie enthält weiterhin eine Anleitung zur Validierung und Verifizierung von Simulationsprogrammen. Seit 2008 findet sich im Anhang der Richtlinie eine Vorlage für die Gliederung und den Mindestinhalt eines Evakuierungsgutachtens.

Zusammenfassung

Der Einsatz von Personenstrom- und Evakuierungssimulationen ermöglicht eine differenzierte Betrachtung der Flucht- und Rettungswege im Zuge der Erstellung eines ganzheitlichen Sicherheitskonzeptes für Veranstaltungen. Hierfür sind Kenntnisse über die eingesetzten Modelle, eine für Dritte nachvollziehbare Durchführung, Dokumentation und Bewertung unabdingbar.

Als zentrale Grundlage für die Durchführung von Simulationen hat zunächst eine ausführliche Schutzzielbetrachtung zu erfolgen. Die Ergebnisse einer Bemessung nach einem schutzzielorientierten Verfahren basieren auf dem gleichen Sicherheitsniveau, das auch den pauschalen bauaufsichtlichen Regelungen zugrunde liegt, die ohne Berücksichtigung der individuellen Gebäudespezifikationen bleiben. Die Einhaltung des gesetzlich definierten Sicherheitsniveaus kann durch Berechnungen mit Evakuierungsmodellen nachgewiesen werden, wobei ein definiertes Entfluchtungssystem mit der Lage und den Abmessungen der Rettungswege, die aus Alarmierungseinrichtungen resultierenden Reaktionszeiten und die demographischen Eigenschaften der Personen zugrunde gelegt werden. Die für die Beurteilung notwendigen Sicherheitsgrenzwerte sind heute teilweise noch unbestimmt und unbekannt. In den kommenden Jahren ist es die Aufgabe aller Beteiligten, die hierfür notwendigen quantitativen Werte herauszufinden, zu definieren und festzulegen.

Evakuierungs- und Räumungssimulationen stellen dennoch bereits heute ein effektives Werkzeug für ein ganzheitliches Sicherheitskonzept dar, das sicherheitsrelevanten Aspekte betrachtet, beurteilt und abgestimmte Maßnahmen in den verschiedenen Bereichen ermöglicht. Unabdingbar ist hierbei die Abstimmung der Randbedingungen der betrachteten Evakuierungsszenarien mit allen Beteiligten.

Literaturverzeichnis

- /1/ ARGEBAU (Hrsg.): Begründung und Erläuterung zur Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten, Fassung Juni 2005.
- /2/ ARGEBAU (Hrsg.): Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Muster-Versammlungsstättenverordnung - MVStättV), vom 29. August 2005 (St.Anz. S. 3387).
- /3/ ARGEBAU (Hrsg.): Musterbauordnung (MBO), Fassung November 2002.
- /4/ HOSSER, D. (HRSG.): Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes. Technischer Bericht vfdb TB 04-01, 2. Auflage, Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb), Altenberge, Braunschweig 2009.
- /5/ KORHONEN, T.; HOSTIKKA, S.: Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac, Technical Reference and User's Guide, VTT Working Papers 119, VTT Technical Research Centre of Finland, 2009.
- /6/ RiMEA e.V. (Hrsg.): Richtlinie für mikroskopische Entfluchtungsanalysen. Version 2.2.1, RiMEA-Projekt, 2009.
- /7/ TraffGo HT GmbH (Hrsg.): Benutzerhandbuch PedGo/AENEAS, Version 2.5.0, Duisburg 2008.
- /8/ Rogsch, C.: Aus der Geschichte lernen – Ursachen für Massenunglücke. Tagungsband vfdb-Jahresfachtagung 2011, Berlin.