

Evakuierungssimulationen im Rahmen von Sicherheitskonzepten

von der Konzeption bis zur Realisierung an Beispielen

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

24.11.2011



Arbeitsschutz



Betrieblicher Umweltschutz



Brandschutz



Bautechnik



Technische Anlagen

Evakuierungssimulationen im Rahmen von Sicherheitskonzepten

von der Konzeption bis zur Realisierung an Beispielen

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

Die Untersuchung von Gebäuden mit Evakuierungssimulationen basiert immer auf einer geordneten Evakuierung eines Gebäudes. Insbesondere bei großen Versammlungsstätten werden daher Berechnungsergebnisse aus Evakuierungssimulationen in ganzheitliche Sicherheitskonzepte integriert. Die Berechnungsergebnisse werden dabei zunächst im Rahmen der Erstellung des Brandschutzkonzeptes berücksichtigt - insbesondere alle baulichen und technischen Maßnahmen zur Sicherstellung der Rettungswege (Rettungswegbreiten, Maßnahmen zur Alarmierung und Rauchfreihaltung). Der Einsatz von Evakuierungssimulationen ermöglicht dabei eine differenzierte Auslegung der Flucht- und Rettungswege.

Ein wesentliches organisatorisches Instrument zur sicheren Evakuierung in Versammlungsstätten sind darüber hinaus beispielsweise Ordnerkonzepte, die auf wichtigen Informationen aus den Ergebnissen von Evakuierungssimulationen beruhen und bereits einen gezielten Einsatz von Ordnern im Vorfeld ermöglichen. Alle Ergebnisse lassen sich zum Abschluss der Betrachtungen in einem ganzheitlichen Sicherheitskonzept zusammenfassen.

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 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.

Um für die Besucher von großen Versammlungsstätten und Veranstaltungen ein ausreichendes Sicherheitsniveau zu schaffen, sind daher weitergehende Betrachtungen erforderlich, die auch eine Berücksichtigung der Belange von Feuerwehren und Rettungsdiensten und die Einbindung von Ordnerdiensten und Erfahrungen der Veranstalter erfordern.

Insbesondere bei komplexen Situationen sind zusätzlich zur Gefahrenanalyse und -beurteilung gegebenenfalls auch Methoden des Brandschutzingenieurwesens wie Entrauchungs- oder Evakuierungssituationen zu Rate zu ziehen, die abschließend in ganzheitliche Sicherheitskonzepte integriert werden.

In diesem Beitrag wird unter einem ganzheitlichen Sicherheitskonzept ein Konzept verstanden, dass 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 (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 (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 (2) MBO eine weitere notwendige Treppe oder eine mit Rettungsgeräten der Feuerwehr erreichbare Stelle der Nutzungseinheiten sein. Jede notwendige Treppe muss nach § 35 (1) MBO zur Sicherstellung der Rettungswege in einem eigenen, durchgehenden Treppenraum liegen. Diese sogenannten 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 Treppenraum oder

ins Freie ist in § 35 (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 (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 typisierte Sonderbauten kann die Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (MVStättV) /1, 2/ herangezogen werden. Neben der Bemessung der Besucherzahlen (siehe Tabelle 1) enthalten die Verordnungen 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⁾
Sitzplätze in Reihen und für Stehplätze	2 Besucher je m ² ¹⁾
Stehplätze auf Stufenreihen	2 Besucher je lfd. m ¹⁾
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 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

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 sogenannten Ingenieurmethoden in Betracht zu ziehen. Die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Erstellung von Brandschutz- und Sicherheitskonzepten lässt sich vereinfacht durch nachfolgende Abbildung skizzieren.

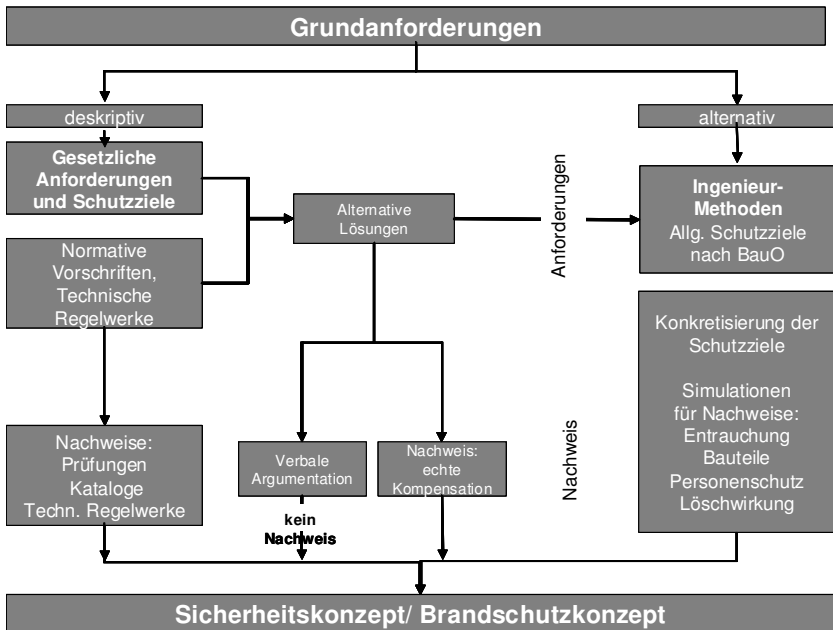


Abbildung 1: Systematik zum Nachweis des Sicherheitsniveaus

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:

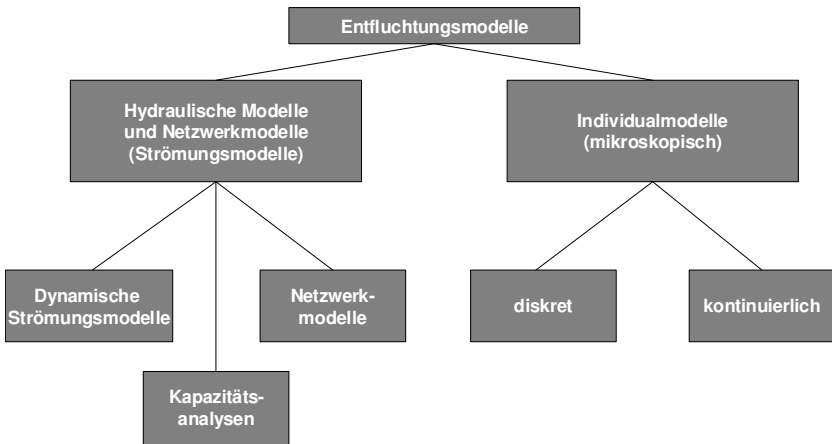


Abbildung 2: Einteilung von Evakuierungs- und Räumungsmodellen

Hydraulische Modelle, sogenannte 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 vor. Für einen vorgegebenen Rettungsweg, eine definierte homogene Personengruppe und einen stationären Personenstrom erhält man nach Durchführung der Berechnung die Zeit für die letzte Person der betrachteten Gruppe, die über den definierten Rettungsweg flüchtet.

Bei der sogenannten 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 sogenannten 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 sogenannte Individual- bzw. mikroskopischen 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 dies ausschließlich computergestützt erfolgt.

Die Lösung und Berechnung dieser Individualmodelle lassen sich in diskrete und kontinuierliche Modelle unterteilen. Diskrete Modelle weisen ein zugrunde gelegtes Gitternetz auf, anhand des-

sen sich die Personen von einer Zelle zur nächsten fortbewegen. Die Geometrierzeugung ist dann auch an die Abmessungen des zugrunde gelegten Gitternetzes gebunden. Man spricht bei diesem Modell auch von sogenannten „Zellularautomaten“.

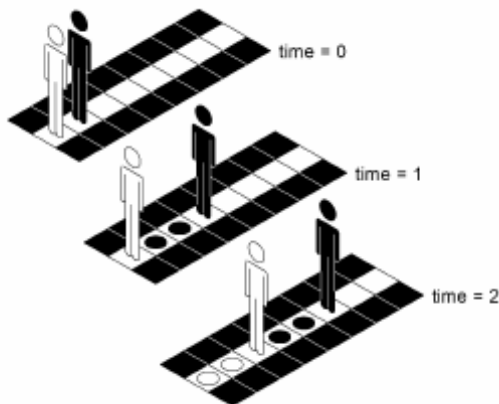
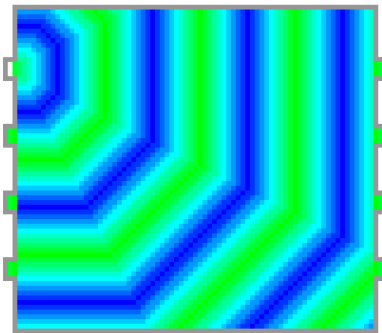


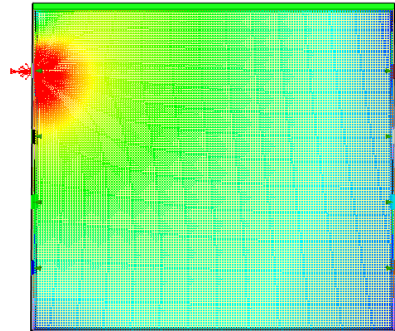
Abbildung 3: Bewegung und Update von PedGo ^{/9/}
(TraffGo HT GmbH)

Kontinuierliche Modelle basieren jedoch nicht auf dieser Gitterabhängigkeit, sondern ermöglichen dem Personenstrom freie Bewegung innerhalb der durch Begrenzungswände und Hindernisse eingeteilten Geometrie. Ein Modell dieser Gattung ist das Evakuierungsmodul FDS+Evac ^{/6/}, 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 sogenannte 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 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.

Bei Evakuierungssimulationen handelt es sich - wie bereits beschrieben - 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 sogenannte Sicherheitsniveau.

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.

Bei einem schutzzielorientierten Verfahren kann die Einhaltung des gesetzlich definierten Sicherheitsniveaus beispielsweise durch Berechnungen mit Evakuierungsmodellen nachgewiesen werden, wobei ein definiertes Entfluchtungssystem mit der Lage und den Abmessungen der Rettungswege, den aus Alarmierungseinrichtungen resultierenden Reaktionszeiten und den demographischen Eigenschaften der Personen zugrunde gelegt wird.

Der Nachweis erfolgt unter Verwendung von statistischen Verfahren zur Gleichwertigkeit des deskriptiv definierten Sicherheitsniveaus und den mit Methoden des Brandschutzingenieurwesens erzielten Ergebnissen.

Orientierungshilfen für die Anwendung und Dokumentation liefern beispielsweise der vfdb-Leitfaden „Ingenieurmethoden des Brandschutzes“^{/5/} sowie die RiMEA-Richtlinie^{/7/}, die sich seit dem Jahr 2004 in der Entwicklung und Fortschreibung befindet.

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.

Neben der Bildung eines qualitätssichernden Rahmens um das Gesamt-Konstrukt der Evakuierungssimulation, das die beschriebenen Dokumente und Initiativen bieten, sollte auch die reine Programmanwendung mit möglichst hoher Qualität erfolgen. Hierfür eignet sich das auf Deming^{/4/} und Shewhart^{/8/} zurückgeführte Modell der kontinuierlichen Verbesserung, der sogenannte A-PDCA-Zyklus. Betrachtet man die Durchführung einer

Evakuierungssimulation als Prozess, lässt sich das Vorgehen in fünf Phasen unterteilen:

- Analyse (**A**),
- Planung (**P**),
- Umsetzung (**D**),
- Überprüfung (**C**) und
- Anwendung (**A**).

Im Prozess der kontinuierlichen Verbesserung sind die einzelnen Schritte im Kreislauf zu wiederholen, bis das gewünschte Ergebnis eintritt.

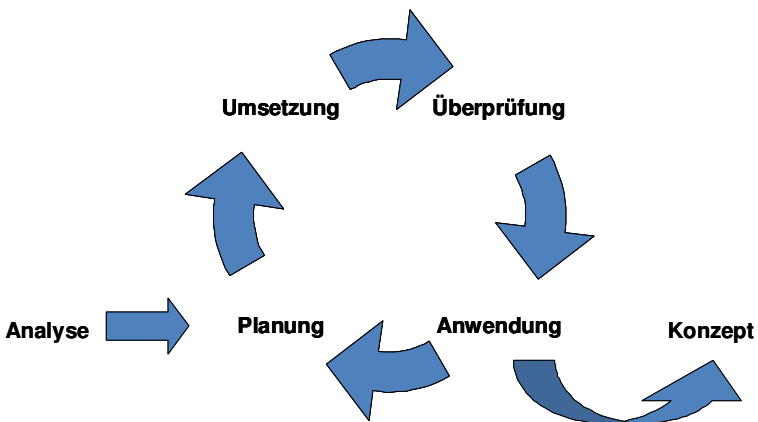


Abbildung 5: A-PDCA-Zyklus "Evakuierungsgutachten"

Bei der Anwendung dieses Verfahrens im Zuge von Evakuierungsgutachten können die nachfolgend nicht abschließend beschriebenen fünf Schritte als Checkliste angesetzt werden.

1. Analyse	<ul style="list-style-type: none">- Welches Objekt/Gebäude wird betrachtet?- Was ist das Ziel der Untersuchung?- Welches Schutzzielniveau liegt der Untersuchung zugrunde (Grundlage für Herleitung von relevanten Parametern)?- Wo sind Problempunkte im betrachteten Objekt zu erwarten?- Soll zeitgleich eine Brandsimulation durchgeführt werden?- Welche Evakuierungsmodelle stehen zur Verfügung und sind diese für die Aufgabenstellung geeignet?- Welche Vereinfachungen des Simulationsmodells sind aufgrund der Geometrie des betrachteten Objektes und den Programmgrenzen notwendig?
2. Planung	<ul style="list-style-type: none">- Inwiefern kann die vorgegebene Geometrie abstrahiert werden?- Welche Eigenschaften hat die zu betrachtende Population?- Sind ausreichend Rechenkapazitäten vorhanden?

	<ul style="list-style-type: none"> - Wie viele Berechnungsdurchläufe sind durchzuführen? - Welche Parametervariationen sind zu berücksichtigen? - Welche Teilbereiche sind gegebenenfalls zu betrachten? - Definition des Referenzszenarios und der zu betrachtenden Evakuierungsszenarien
3. Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> - Erstellung der Eingabedatei(en) - Durchführung der Berechnungen und statistische Auswertung/Aufbereitung der Ergebnisse
4. Überprüfung	<ul style="list-style-type: none"> - Entsprechen die Evakuierungszeiten dem gesetzten Ziel? - Treten zeitliche und räumliche Dichten auf? - Sind die durch das Programm visualisierten Personenströme plausibel?
5. Anwendung	<p>Liegen die Ergebnisse vor und sind diese plausibel, so kann das Evakuierungsgutachten fortgeschrieben werden. Entsprechen die Ergebnisse nicht den Anforderungen, so sind die Szenarien anzupassen und die Schritte 2 - 4 zu wiederholen.</p>

Anwendungsbeispiel: Hochschulgebäude

Am Beispiel eines Hochschulgebäudes soll die Anwendung einer Evakuierungssimulationen von der Konzeptionierung bis zur Realisierung beispielhaft dargestellt werden. Anlass der Betrachtung des Hochschulgebäudes ist einerseits die über den Hochschulbetrieb hinausgehende Nutzung des Gebäudes als Tagungs- und Veranstaltungsort für wissenschaftliche Fachveranstaltungen. Im für das Gebäude vorliegenden Brandschutzkonzept werden diese Veranstaltungen als Sonderveranstaltung definiert, die gesondert unter Berücksichtigung des Einzelfalls betrachtet und beurteilt werden müssen. Andererseits ist für den Hochschulbetrieb in den kommenden Jahren für den durch Veränderungen im Bildungssystem im Jahr 2013 geplanten doppelten Abiturjahrgang und Aussetzung der Wehrpflicht mit einer Erhöhung der Nutzerzahlen zu erwarten. Am Beispiel der Hochschulstadt Aachen ist mit einem erhöhten Aufkommen von Studierenden zwischen 2013 und 2017 zu rechnen.

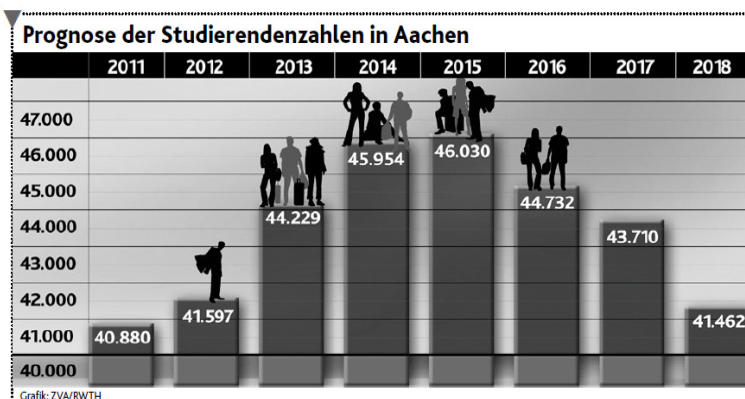


Abbildung 6: Grafik aus Aachener Zeitung, 16.06.2011

Für das betrachtete Hochschulgebäude bedeutet dies, dass die vorhandenen Flucht- und Rettungswege unter Berücksichtigung der zu erwartenden höheren Nutzerzahlen und der zukünftigen regelmäßigen Nutzung des Gebäudes für Sonderveranstaltungen hinsichtlich des gesetzlich definierten Sicherheitsniveaus untersucht und beurteilt werden müssen.



Abbildung 7: Grundriss 1. Obergeschoss

Die vorhandenen Planunterlagen des Gebäudes werden zu Beginn auf ihre Gültigkeit überprüft und anschließend für die Berechnung mit Hilfe des Räumungs- und Evakuierungsprogramms PedGo (TraffGo HT GmbH) aufbereitet (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9).

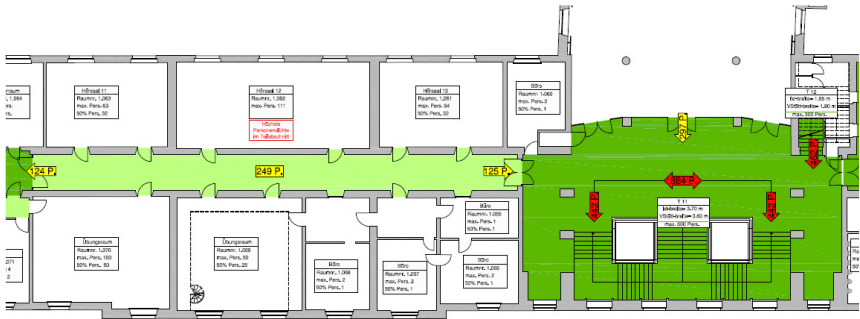
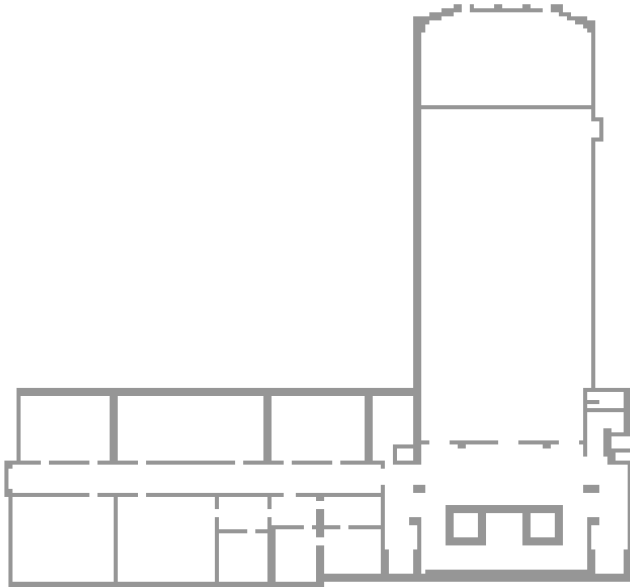


Abbildung 8: Grundriss 1. Obergeschoss - Detail



**Abbildung 9: Gebäudemodell in Simulationsprogramm
(Ausschnitt: 1. Obergeschoss)**

Nach der Bestandserhebung des Gebäudes in Bezug auf die Nutzung und der möglichen Personenanzahl pro Raum bzw. Gebäude ist erkennbar, dass die Betrachtung der Gesamtentfluchtungszeit zur Beurteilung der Flucht- und Rettungswege nicht ausreichend ist. Aufgrund der unterschiedlichen Nutzung der einzelnen Geschosse mit Büro-, Vorlesungs- bzw. Seminarräumen sind darüber hinaus die einzelnen Geschosse und Gebäudeabschnitte zu betrachten. Die für die Beurteilung der Flucht- und Rettungswege relevante Personenanzahl ist aus diesem Grund für die einzelnen Geschosse und Gebäudeabschnitte separat zu definieren. Unter Berücksichtigung der zukünftig zu erwartenden Nutzerzahlen wird folgende Vorgehensweise zur Definition der zu betrachtenden Personenanzahl gewählt:



Abbildung 10: Vorgehensweise zur Festlegung der Personenanzahl

Für das in diesem Beispiel betrachtete 1. Obergeschoss ergeben sich die in Tabelle 4 aufgeführten möglichen Personenanzahlen. In den anderen Geschossen werden die möglichen Personenanzahlen analog ermittelt.

Tabelle 4: Mögliche Personenbelegung im 1. Obergeschoss

Schritt	Beschreibung	Personen	Auslastung
	Personenbelegung gemäß Brandschutzkonzept	388	100 %
1	100 %/50 %	250	64 %
2	Personenzählung	116	30 %
3	Prognose	136	35 %
4	Personenbelegung (nach vfdB-Leitfaden Tabelle 9.8)	188	48 %

Die Festlegung der für den gesamten Gebäudekomplex relevanten Personenbelegung für das Referenzszenario basiert in diesem Beispiel auf der als konservativ anzusetzenden 100%/50 %-Belegung². Auch unter Berücksichtigung der zu erwartenden Erhöhung der Studierendenzahlen in den kommenden Jahren ist bei heutigem Stand des Hochschulbetriebes (d. h. Vorlesungs- und Seminarveranstaltungen) nicht mit einer 100 %-igen Auslastung des Gebäudes zu rechnen.

Die statistische Auswertung von 500 Berechnungen des betrachteten Referenzszenarios (Begrenzung der Personenzahlen nach den Vorgaben der VStättVO) mit 1.432 Personen ergeben eine Gesamtentfluchtungszeit von ca. 7:45 min (siehe Abbildung 11). Die visuelle Auswertung möglicher Staubereiche ergibt, dass im Bereich der notwendigen Treppenräume insbesondere in den oberen Geschossen Stauungen zu erwarten sind. Die lokale Dichte von 4 Personen pro Quadratmeter wird länger als 10 % der Gesamtentfluchtungszeit überschreiten (siehe Abbildung 12, Abbildung 13 und Abbildung 14).

² basierend auf § 19 (4) VStättVO 1978

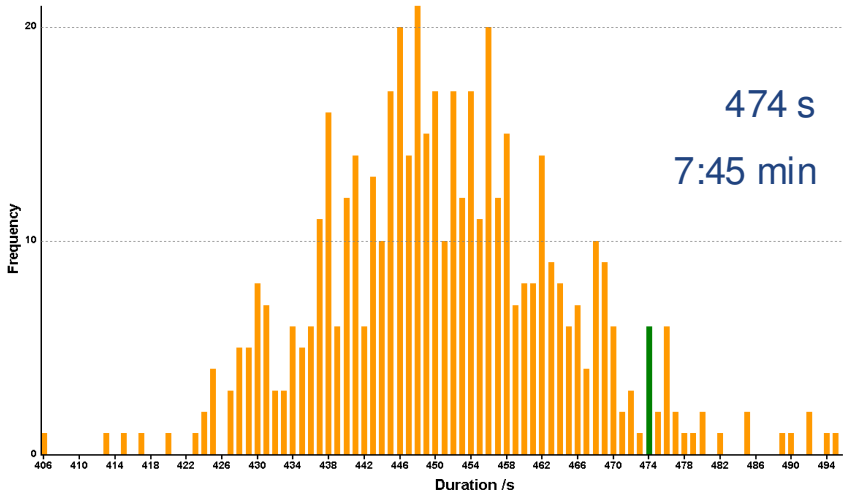


Abbildung 11: Gesamtentfluchtungszeit für Referenzszenario (N = 1.432 P.)

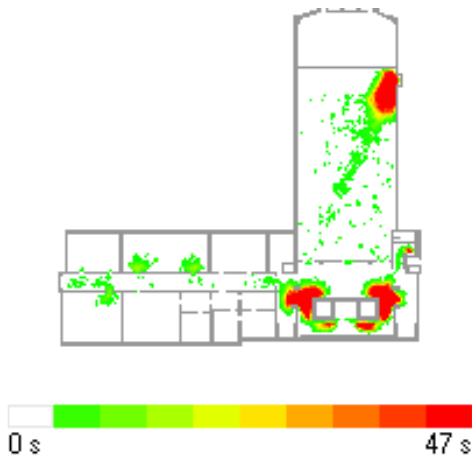


Abbildung 12: Referenzszenario - 1. Obergeschoss - Dichteplot

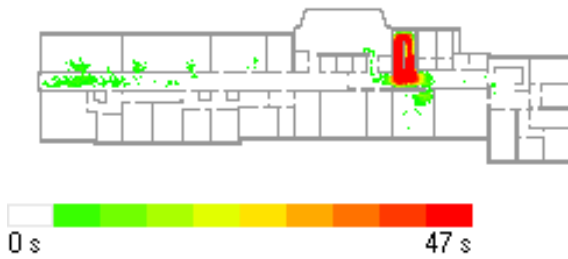


Abbildung 13: Referenzszenario - 2. Obergeschoss - Dichteplot

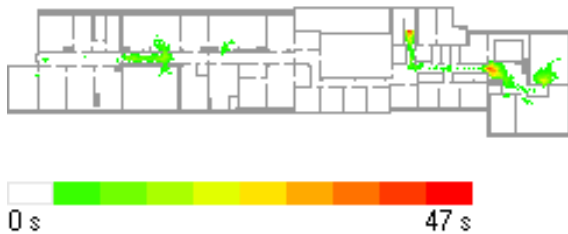
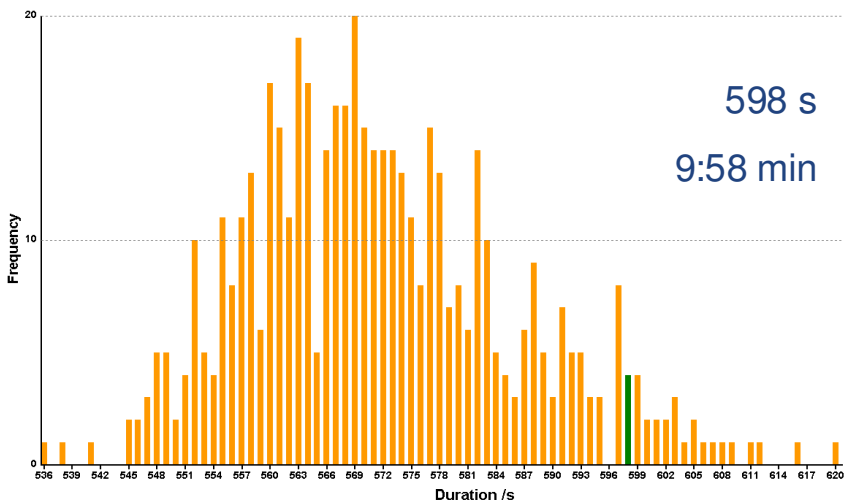


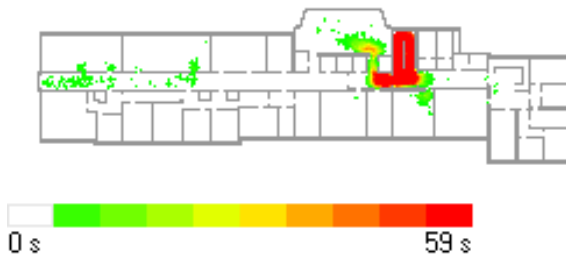
Abbildung 14: Referenzszenario - 3. Obergeschoss - Dichteplot

Für die geplante Nutzung des Gebäudes als Tagungs- und Veranstaltungsort für wissenschaftliche Fachveranstaltungen über den Hochschulbetrieb hinaus, wurde die mögliche Personenanzahl im 2. und 3. Obergeschoss um insgesamt 162 Personen erhöht (Szenario: „Erhöhte Personenzahl“).

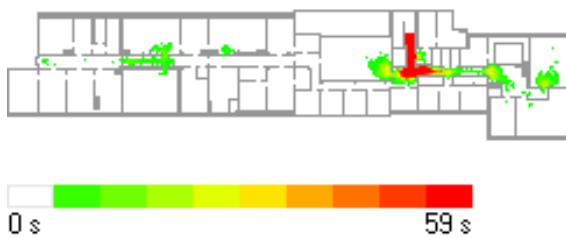
Die statistische Auswertung von 500 Berechnungen des betrachteten Gebäudeabschnittes mit insgesamt 1.594 Personen ergibt eine Gesamtentfluchtungszeit von ca. 9:58 min (siehe Abbildung 15). Die visuelle Auswertung möglicher Staubereiche ergibt, dass im Bereich der notwendigen Treppenräume insbesondere im 2. und 3. Obergeschoss längere Stauungen zu erwarten sind (siehe Abbildung 12, Abbildung 13 und Abbildung 14).



**Abbildung 15: Gesamtentfluchtungszeit für
Szenario „Erhöhte Personenzahl“ (N = 1.594 P.)**



**Abbildung 16: Szenario "Erhöhte Personenzahl"
2. OG - Dichteplot**



**Abbildung 17: Szenario „Erhöhte Personenzahl“
3. OG -Dichteplot**

Aus den Ergebnissen und Erkenntnissen der Evakuierungssimulation in Bezug auf die längeren Stauungen im Bereich der notwendigen Treppenhäuser werden nachfolgende Lösungsansätze abgeleitet:

- Definition von maximal zulässigen Personenzahlen für gleichzeitigen Hochschul- und Veranstaltungsbetrieb
- Trennung von Rettungswegen
- Schaffung von organisatorischen Voraussetzungen für eine geordnete Evakuierung und Räumung des Gebäudes
- Definition von technischen Sofortmaßnahmen (bspw. Anpassung der Fluchtwegkennzeichnung, Installation einer Alarmierungsanlage und Festlegung von Alarmierungsdurchsagen, etc.)

Die Ergebnisse der Evakuierungssimulation dienen neben der Anpassung und Fortschreibung des Brandschutzkonzeptes darüber hinaus den verschiedenen Abteilungen der Hochschule dazu, ihr Angebot und ihre Vorgehensweise auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse anzupassen. Die Koordination und Festlegung von Vorlesungs- und Seminarzeiten können nun unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Personenzahl für einen gleichzeitigen Hochschul- und Veranstaltungsbetrieb erfolgen. Das Veranstaltungsmanagement der Hochschule kann unter Berücksichtigung der Erkenntnisse Veranstaltungen und Tagungen planen, ohne das gesetzlich geforderte Sicherheitsniveau zu unterschreiten. Dem Brandschutzbeauftragten dienen die Ergebnisse der Evakuierungssimulation für die Festlegung und Veranlassung dem jeweiligen Betrieb angepassten Brandschutzmaßnahmen.

Zusammenfassung

Der Beitrag hat gezeigt, dass der Einsatz von Evakuierungssimulationen eine differenzierte Auslegung von Flucht- und Rettungswegen ermöglicht. Dabei sind Kenntnisse über die eingesetzten Modelle, eine für Dritte nachvollziehbare Durchführung, Dokumentation und Bewertung unabdingbar.

Im Beitrag wurde ein Überblick über die verschiedenen Modelle der Evakuierungs- und Räumungssimulation sowie eine Vorgehensweise zur Durchführung und Dokumentation gegeben.

Am Beispiel eines Hochschulgebäudes wurde zudem eine konkrete Berechnung vorgestellt.

Evakuierungs- und Räumungssimulationen können als Grundlage dienen, das für Besucher geforderte Sicherheitsniveau zu schaffen. Die aus den Ergebnissen abgeleiteten Maßnahmen können sich dabei nicht nur auf das Brandschutzkonzept beschränken. Die Ergebnisse können und sollten auch als Werkzeug bei der Erstellung und Fortschreibung eines ganzheitlichen Sicherheitskonzeptes dienen.

Evakuierungs- und Räumungssimulationen stellen bereits heute ein effektives Werkzeug für ein ganzheitliches Sicherheitskonzept dar, das sämtliche 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 29.08.2005 (St.Anz. S. 3387).
- /3/ ARGEBAU (Hrsg.): Musterbauordnung (MBO), Fassung November 2002.
- /4/ DEMING, W.E: Out of the Crisis. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge 1982.
- /5/ 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.
- /6/ KORHONEN, T.; HOSTIKKA, S.: Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac, Technical Reference an User`s Guide, VTT Working Papers 119, VTT Technical Re-search Centre of Finland, 2009.
- /7/ RiMEA e.V. (Hrsg.): Richtlinie für mikroskopische Entfluchtungsanalysen. Version 2.2.1, RiMEA-Projekt, 2009.
- /8/ SHEWHART, W.A.: Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control. Graduate School of the Department of Agriculture, Washington, D.C. 1939.
- /9/ TraffGo HT GmbH (Hrsg.): Benutzerhandbuch PedGo/ AENEAS, Version 2.5.0, Duisburg 2008.