

Personenstromanalysen für die sichere Evakuierung

Bedingt durch planerisch-stilistische Vorgaben, Bestandssituationen (z.B. Denkmalschutz) oder besondere Nutzungen können Fluchtwegsituationen auftreten, bei denen die einschlägigen Vorschriften nicht vollumfänglich umgesetzt werden können. In solchen Fällen können, gestützt auf die VKF-Brandschutzvorschriften, Verfahren aus den Ingenieurmethoden des Brandschutzes für die Beurteilung einer sicheren Evakuierung eingesetzt werden.

Marcel Six und Matthias Siemon

Im Rahmen einer schutzzielorientierten Brandschutzplanung ist die Gewährleistung der Schutzziele, insbesondere der Schutz von Menschen und Tieren, konkret nachzuweisen. Vor diesem Hintergrund finden Personenstromanalysen zur Bewertung unterschiedlichster Fluchtwegsituationen vor allem bei Abweichungen von den allgemein gültigen Vorschriften (VKF, Wegleitung zu den Verordnungen 3 und 4 zum Arbeitsgesetz etc.) Anwendung. Häufig werden Personenstromanalysen aus folgenden Gründen herangezogen:

- Die Bestandssituation lässt keine ausreichenden baulichen Massnahmen zur Lösung der Fluchtwegsituation zu. Diese Problematik tritt vor allem bei denkmalgeschützten Bauten auf.
- Die besondere Nutzung von Gebäuden (z.B. sehr grosse Personenanzahl) erfordert einen Nachweis der ausreichend schnellen und sicheren Evakuierung des Gebäudes. Dies kann u.a. vonseiten der Brandschutzbehörde, aber auch der Bauherrschaft, eingefordert werden.
- Die Untersuchung wird im Zusammenhang und ggf. in Abhängigkeit von anderen Nachweisverfahren (z.B. Brand- und Entrauchungssimulation, seltener Heissbemessung) durchgeführt.

Die Personenstromanalyse dient der Ermittlung der benötigten sicheren Entfluchtungszeit [engl.: required safe egress time (RSET)], also der Zeit, bis die letzte

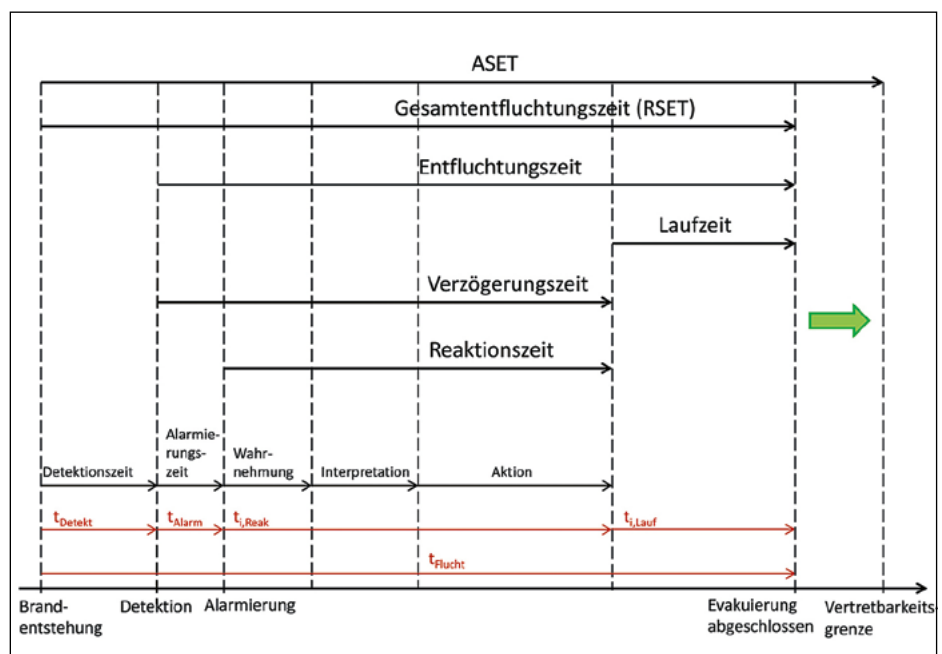


Abb. 1: Zeitlicher Ablauf einer Entfluchtung.

Person einen vorher definierten, sicheren Bereich (z.B. ein Ort im Freien) erreicht hat. Hierfür gilt im Grundsatz, dass die benötigte Entfluchtungszeit kleiner sein muss als die verfügbare Entfluchtungszeit [engl.: available safe egress time (ASET)]. Je nach gewählten Eingangsgrößen und Ingenieurmodell zur Bestimmung von ASET und RSET kann es erforderlich sein, einen Sicherheitsabstand zwischen beiden Zeitpunkten zu definieren. Dies ist mit den zuständigen Behörden abzustimmen.

Für die Ermittlung der benötigten Entfluchtungszeit können, abhängig von der Komplexität der jeweiligen Berechnungsmethode, hydraulische oder numerische Modelle zum Einsatz kommen (vgl. Tabelle 1, Seite 45).

Innerhalb dieser beiden übergeordneten Modellansätze finden sich weitere Untervarianten. So wird bei den hydraulischen Modellen, auch makroskopische Modelle, zwischen den algebraischen Formeln und den dynamischen Strömungsmodellen unterschieden. Die numerischen Modelle, auch mikroskopische Modelle bzw. Individualmodelle, unterteilen sich in die räumlich diskreten sowie die räumlich kontinuierlichen Modelle.

Bevor jedoch das geeignete Modell gewählt wird, ist der zu untersuchende, von den Brandschutzrichtlinien abweichende Tatbestand festzuhalten und die davon betroffenen allgemeinen Schutzziele zu identifizieren. Im Anschluss daran kann die Nachweisstrategie festgelegt werden.

Diese ist vor Durchführung des Nachweises mit den zuständigen Brandschutzbehörden abzustimmen.

Grundsätzlich empfiehlt sich, vor allem bei der Anwendung von Individualmodellen, eine Gegenrechnung als Plausibilitätscheck durchzuführen. Bei einfacher bis mittlerer Komplexität reicht hierfür in der Regel ein hydraulisches Modell aus. Bei hochkomplexen Personenstromanalysen sollte dies auf Grundlage einer zweiten verifizierten Software erfolgen. Dabei ist es in der Regel ausreichend, ein einzelnes massgebendes Szenario als Grundlage für eine Gegenrechnung heranzuziehen.

Schutzziele, Planungsziele, Leistungskriterien

Evakuierungssimulationen werden für den Nachweis der Personensicherheit von zumeist komplexen Fluchtwegsituationen herangezogen. Das nachzuweisende allgemeine Schutzziel gemäss Artikel 8 der VKF-Brandschutznorm ist die Gewährleistung der Sicherheit von Personen (und Tieren) im Brandfall.

Bei Bedarf können die Schutzziele von Seiten des Betreibers/Nutzers sowie durch Vorgaben Dritter um zusätzliche Aspekte erweitert werden.

Aus den allgemeinen Schutzzielen lassen sich die funktionalen Schutzziele ableiten, die wiederum durch Planungsziele näher definiert werden. Anhand von Leistungskriterien, welche konkrete Grenzwerte darstellen und auf physikalischen Grundlagen basieren (vgl. den Beitrag zu Brandsimulationen, SF-Spezialausgabe, Juni 2018), werden die Planungsziele quantifiziert, sodass der Nachweis der Einhaltung der Schutzziele auf der Ebene eines Soll-Ist-Abgleichs geführt werden kann.

Die Auswertung der Ergebnisse einer Personenstromanalyse liefern neben Informationen zur Fluchtwegqualität (Stauungen, Engstellen etc.) die benötigten Laufzeiten von individuellen Agenten beziehungsweise Personenströmen bis zum Erreichen eines sicheren Bereiches. Zusammen mit der Zeitkomponente, der sogenannten Pre-Movement-Zeit, ergibt sich ein Wert für RSET. Dieser ist gemäss RiMEA Richtlinie für mikroskopische Entfluchtungsanalysen, definiert als Maximalwert aller individuellen Entfluchtungszeiten für einen Entfluchtungsablauf: das heisst die Gesamtzeit ab

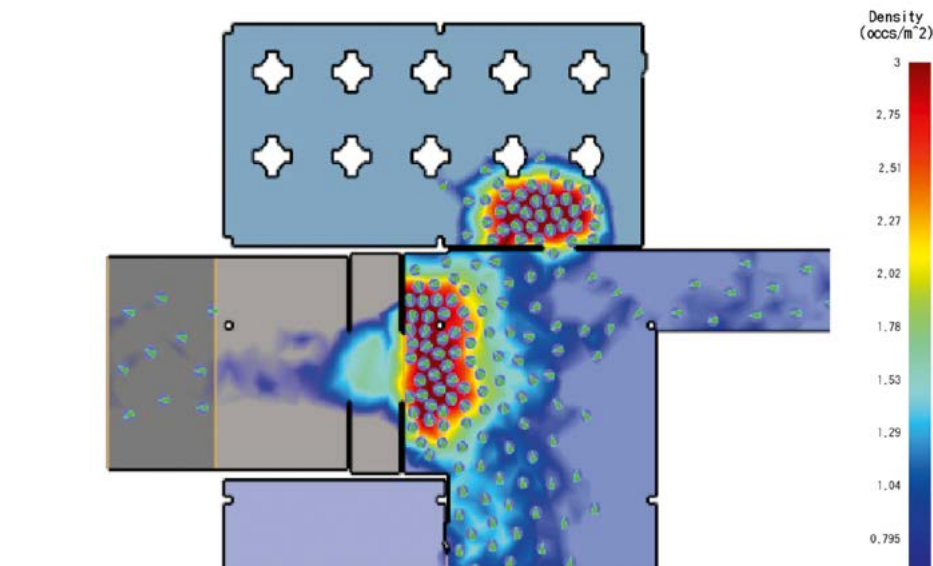


Abb. 2: Veranschaulichung der Personendichte im Bereich von Engstellen.

Ereigniseintritt, bis alle Personen aus dem Gebäude beziehungsweise dem betroffenen Abschnitt in einen sicheren Bereich geflüchtet sind. Wie beschrieben setzt sich RSET aus den folgenden Komponenten zusammen:

- Vorlaufzeit oder Pre-Movement-Zeit. Hierbei handelt es sich um die Zeit bis zur Detektion, gefolgt von der Zeit bis zur Alarmierung und anschliessender Interpretation und Reaktion bis zum Einsetzen des Fluchtbeginns.
- Laufzeit. Dies ist die ab Beginn der Fluchtbewegung benötigte Zeit bis zum Erreichen eines sicheren Bereichs inkl. möglicher Stauzeiten.

Die genannten Komponenten von RSET sind ab Beginn Ereigniseintritt in Abbildung 1 aufgeführt.

Die Pre-Movement-Zeit wiederum besteht aus drei charakteristischen Zeitanteilen. Die Detektionszeit beschreibt den Zeitanteil, der für die Detektion eines Brandereignisses (entweder über die Brandmelder einer BMA oder durch die Gebäudenutzer) benötigt wird. Während bei der Detektion (z.B. über Punktmelder) Angaben der Hersteller oder entsprechende Anforderungen aus den Prüfnormen für eine Abschätzung zugrunde gelegt werden können, ist die Entdeckung/Detektion durch Gebäudenutzer stark von der Nutzung und der spezifischen Gebäudesituation abhängig. Das gleiche gilt für den Zeitanteil der Alarmierungszeit, der bei einer automatischen Alarmierung über eine BMA relativ gut definierbar ist, jedoch bei einer Auslösung von Handmeldern durch die Nutzer

schwerer zu quantifizieren ist. Nach Alarmierung muss das Alarmsignal interpretiert werden, um darauf angemessen zu reagieren. Diese Komponente wird als Reaktionszeit bezeichnet. Sie hängt stark von der Art der Alarmierung (Signalton, Banddurchsage o.Ä.) sowie von organisatorischen Massnahmen (Evakuationsübungen) ab.

Eine Abschätzung der genannten Komponenten der Pre-Movement-Zeit kann z.B. auf Grundlage einer Publikation der British Standards Institution (BSI) getroffen werden. Für diese Abschätzung werden die Gebäudenutzung, die vorhandenen Sicherheitsmassnahmen (technische Brandschutzeinrichtungen), die Komplexität des Gebäudes sowie die geplanten Massnahmen des organisatorischen Brandschutzes (Gebäudemanagement) in Betracht gezogen. Aufgrund der relativ grossen Unsicherheiten bei der Festlegung dieser Eingangsgrössen bei gleichzeitigem direktem Einfluss auf das Ergebnis von RSET ist die Wahl der Komponenten der Pre-Movement-Zeit hinreichend zu belegen und mit den zuständigen Behörden abzustimmen.

Bei der Anwendung von rechnergestützten Simulationsmodellen gilt es, bei der Auswertung der Laufzeit die Qualität der Evakuierung über Leistungskriterien wie z.B. die Personendichte und Stauzeit zu berücksichtigen. Die Kenngrösse der Personendichte gibt an, wie viele Personen sich zu einem bestimmten Zeitpunkt auf der gleichen Fläche (P/m^2) befinden (siehe Abbildung 2). Die Stauzeit lässt sich untergliedern in signifikante Stauungen und die gesamte Stauzeit in



Abb. 3: Exemplarische Darstellung einer rechnergestützten Personenstromanalyse mit Personendarstellung der Agenten.

Bezug auf die Gesamträumungszeit. Mit Hilfe dieser Leistungskriterien lassen sich potenzielle Gefahrenstellen in den Fluchtwegabschnitten identifizieren, bei denen mit der Bildung von Menschentrauben und gegebenenfalls in Folge einer Entstehung von Paniksituationen zu rechnen ist. Im Anschluss lassen sich wirksame Massnahmen (z.B. die Verbreiterung eines Durchgangs) ableiten.

Randbedingungen und Eingabegrößen

Damit die Analyse möglichst aussagekräftige Ergebnisse erzeugt, müssen im Vorfeld folgende Randbedingungen und Eingabegrößen berücksichtigt werden:

- Auswahl und Verwendung eines ausreichend validierten Rechenverfahrens.
- Gebäudegeometrie und Nutzung für die zu untersuchenden Bereiche möglichst detailliert einbeziehen.
- Personeneigenschaften, wie z.B. persönlicher Raumbedarf, Gehgeschwindigkeiten, Altersverteilung, Verhalten gegenüber externen Einwirkungen.
- Ermittlung der massgebenden Personenanzahl, z.B. nutzungsbezogen,

Angabe durch Betreiber, Nutzungsvereinbarung.

- Wahl der Fluchtwege, entweder durch explizite Vorgabe (makroskopische und mikroskopische Modelle) oder implizite Bewegungs-/Verhaltensregeln (mikroskopische Modelle).

Grundsätzlich sollten zunächst ausreichend konservative Annahmen respektive Angaben aus den VKF-Brandschutzrichtlinien beziehungsweise der einschlägigen Fachliteratur (z.B. Paul Frey: Brandschutzplanung mit ingenieurwissenschaftlichen Methoden, vfdb: Leitfaden «Ingenieurmethoden des Brandschutzes», RiMEA: Richtlinie für mikroskopische Entfluchtungsanalysen etc.) verwendet werden, solange nicht begründet von diesen abgewichen werden kann.

Des Weiteren ist bei der Verwendung rechnergestützter Simulationsmodelle eine ausreichende Anzahl von Simulationenläufen durchzuführen, um bei der Verwendung von zufallsverteilten Eingangsgrößen die Erzeugung eines nicht massgebenden Einzelergebnisses zu vermeiden. Wird die Möglichkeit der Zuweisung von unterschiedlichen, zufallsver-

teilten Eingangsgrößen und Startpunkten der einzelnen Agenten (Personen) genutzt, ist die Varianz der Ergebnisse darzustellen.

Fazit und Ausblick

Mithilfe von Personenstromanalysen können, unter Berücksichtigung der Anwendungsgrenzen der jeweiligen Berechnungsmodelle, in Verbindung mit entsprechender Expertise der Anwender, verlässliche Aussagen über Fluchtwegsituationen getroffen werden. Damit die Ergebnisse, Beurteilung und mögliche Folgemaassnahmen nachvollziehbar und plausibel sind, sind für die Anwendung von Personenstromanalysen die Vorgaben und Anforderungen der VKF-Brandschutzrichtlinie 27-15 «Nachweisverfahren im Brandschutz» und der zuständigen Brandschutzbehörde zu beachten. Personenstromanalysen werden in der Regel als Nachweismethode für die sichere Entfluchtung von Gebäuden herangezogen, wenn diese Abweichungen zum vorschriftskonformen Zustand aufweisen.

Auf Grundlage der vielfältigen Rechenmodelle kann die Personenstromanalyse für ein weites Spektrum an Fragestellungen zum Einsatz kommen. Durch die stetige Weiterentwicklung in der Informationstechnik wird die Anwendung auf Fragestellungen von immer grösseren und komplexeren Gebäuden (z.B. Spitäler, Stadien, Einkaufszentren, Flughäfen usw.) möglich. Eine immer bessere und realitätsnähere Darstellung der simulierten Evakuierungsszenarien erlaubt es ausserdem, die Ergebnisse, mögliche Engstellen und Stauungen auch ohne den Rückgriff auf komplexe Modellgrundlagen zu kommunizieren (siehe Abbildung 3). ■



MARCEL SIX

Projektingenieur Brandschutz,
Ingenieurmethoden, Gruner AG

MATTHIAS SIEMON

Dr.-Ing., Leiter Abteilung Brandschutz,
Ingenieurmethoden
Gruner AG

Berechnungsmodell	Komplexität	Anwendungsbeispiel
Hydraulische Evakuierungsmodelle	Einfach	Kapazitätsanalyse einzelner Wegelemente (z.B. Engstellen) in Abhängigkeit von deren Breite und Länge.
Numerische Evakuierungsmodelle	Mittel bis hoch	Untersuchung gesamthafter Raum- oder Gebäudestrukturen unter Berücksichtigung von Hindernissen (z.B. Einrichtungsgegenstände), sämtlichen Wegelementen und anderen Personen (Personendichte, Personeneigenschaften).

Tabelle 1: Übersicht von Verfahren für die Personenstromanalyse.