

Simulation der Evakuation

In einem ersten Beitrag wurde anhand der Sicherheitsplanung mit Brandverhütung, Brandbegrenzung und Brandbekämpfung die Frage dargestellt, wie viel Zeit im Brandfall überhaupt für die Personenflucht zur Verfügung steht. Wie viel Zeit in Realität für die Flucht in verschiedenen Brandszenarien benötigt wird, kann mit Hilfe der hier vorgestellten Personensimulation überprüft werden.

VON ALEX SCHMID

Wenn ein konkreter Brandfall eintritt, sind die Gebäudegeografie, geplante und mögliche Fluchtwege sowie die Geschwindigkeit der Verrauchung entscheidend, wie viel Zeit den betroffenen Personen für die Flucht aus dem Gebäude bleibt. Rechnerische Nachweisverfahren, wie die hier vorgestellte Personensimulation, erlauben es, diese Faktoren einzubeziehen und konkrete Fluchtzeiten in verschiedenen Evakuationszenarien zu untersuchen. Mit «Evakuation» ist in diesem Fall die Selbstrettung der betroffenen Personen gemeint auf Grund eines Brandereignisses und der entsprechenden Alarmierung.

Bedingungen der Evakuationszeit

Hauptfaktoren für die Gesamtdauer einer Evakuation sind Brandmeldezeit, Alarmierungszeit, Reaktionszeit und Laufzeit. Alle diese Faktoren zusammen bestimmen, wie lange Personen für das Verlassen der Gefahrenzone benötigen.

Die Brandmeldezeit ist davon abhängig, wo der Brand sich befindet, wie intensiv der Brandherd ist (Feuer, Glut) sowie ob und wo es automatische Meldesysteme gibt (Wärme-, Flammen- oder Rauchmelder). Im günstigen Fall, wenn zum Beispiel die Rauchmelder richtig platziert sind, kann der Brandherd innerhalb von zwei bis vier Minuten erkannt und lokalisiert werden. Für die Alarmierungszeit wird in der Regel ein Richtwert von einer Minute angenommen, abhängig von einer internen oder externen Alarmierung, die entweder automatisch oder manuell erfolgen kann.

Alex Schmid

ist lic. phil. I, MBA und Gründer sowie Geschäftsführer der Savannah Simulations AG. Savannah Simulations ist ein Simulationsdienstleister. Das Unternehmen entwickelt und vertreibt die Simulationssoftware für Personenbewegung und Evakuations-simulation SimWalk (www.simwalk.ch), die ursprünglich am Institut für Computer Science der ETH entstanden ist.

Wie lange es dauert, bis ein alarmierter Mensch reagiert und seine Fluchtzeit beginnt, ist unter anderem abhängig von der Art der Alarmierung (z.B. leises und monotones Klingeln oder aber ein Feuerwehmann in voller Montur) und der Einsicht, dass die Person sich in unmittelbarer Gefahr befindet. Oft behindert Neugier die schnelle Umsetzung. Doch auch unter günstigen Bedingungen sollte mit mindestens drei Minuten Reaktionszeit gerechnet werden. Als so genannte Laufzeit wird die Zeit bezeichnet, die ein Mensch benötigt, die Strecke bis zum Heraustreten ins Freie, in einen gesicherten Treppenraum oder in einen nicht betroffenen Brandabschnitt zu bewältigen.

Die Tabelle zeigt, dass eine Dauer von zehn Minuten für die Evakuationszeit, inklusive Sicherheitsmargen, eine vernünftige Zeit darstellt. Für den Feuerwehreinsatz und die Fremdrettung kann als weiterer Richtwert von zusätzlichen zehn Minuten ausgegangen werden.

Simulationsanalyse

In komplexen Gebäudegeometrien mit vielen Personen ist es schwierig, konkrete Evakuationszeiten abzuschätzen.

Nichtlineare und selbstorganisierende Ereignisse wie Stauungen vor Türen, die vom Verhalten der Flüchtenden abhängig sind, können zum Beispiel nicht in die Abschätzung einbezogen werden, obwohl sie für die Evakuationszeit von entscheidender Bedeutung sind. Hier kann die dynamische Personensimulation eingesetzt werden, die es ermöglicht, diese Faktoren zu berücksichtigen.

Obwohl die Bewegung von Personen in Normalsituationen und im Notfall seit längerer Zeit empirisch untersucht wird und in entsprechende Entleerungsberechnungen einging, erlaubt erst die Computersimulation die Untersuchung der komplexen Interaktion von Fussgängerströmen und Umgebung. Über die numerische Simulation kann die detaillierte Modellierung der Geometrie mit dem individuellen Verhalten der Flüchtenden kombiniert werden, um realistische Szenarien analysieren zu können. Dies erlaubt die so genannte Mikrosimulation, bei der die Bewegung jeder einzelnen Person simuliert wird, und nicht – wie es zum Teil verschiedene Softwares berechnet – als Makrobewegungen in Anlehnung an Gase und Flüssigkeiten.

Szenario →	Fall 1a	Fall 1b	Fall 2a	Fall 2b
↓ Zeiten	100 Personen in Raummittle 2 Ausgänge, je 50%	100 Personen auf einer Seite 100% zu Ausgang vis-à-vis	200 Personen in Raummittle je 50% zu einem Ausgang	200 Personen auf einer Seite 100% zu Ausgang vis-à-vis
Branderkennung	3 Minuten			
Alarmierungszeit	1 Minute			
Reaktionszeit	3 Minuten			
Laufzeit	35 m, 1,2 m/s ca. 0,5 Minuten	70 m, 1,2 m/s ca. 1 Minute	35 m, 1,2 m/s ca. 0,5 Minuten	70 m, 1,2 m/s ca. 1 Minute
Türdurchlass	50 P., 1,4 P./m/s ca. 0,5 Minuten	100 P., 1,4 P./m/s ca. 1 Minute	100 P., 1,4 P./m/s ca. 1 Minute	200 P., 1,4 P./m/s ca. 2 Minuten
Total Evakuierungszeit	8 Minuten	9 Minuten	8,5 Minuten	10 Minuten

Richtwerte für Evakuationen (nach VDMA, Blatt 3).

RWD Schlatter
TÜREN

RWD Schlatter AG
CH-8953 Dietikon
Telefon 044 745 40 40
CH-9325 Roggwil
Telefon 071 454 63 00
www.rwdschlatter.ch

Für die Mikrosimulation werden die Personen einerseits auf Grund ihrer physikalischen Eigenschaften (Alter, Geschlecht, Gewicht, Agilität, Beweglichkeit oder Bewegungsgeschwindigkeit) und andererseits ihrer psychologischen Eigenschaften modelliert (Geduld, Durchsetzungsvermögen, Reaktionszeit). Diese detaillierte Modellierung von Personen und Umgebung ermöglicht die realistische Simulation von Evakuationszeiten. In der Regel erfolgt die Simulation in zwei Dimensionen, zum Teil sind auch 3D-Module erhältlich, die jedoch für die eigentliche Evakuationsanalyse keine Rolle spielen, sondern nur für Präsentationen eingesetzt werden.

Einzelpersonen oder ganze Personenströme können während der Simulation genau verfolgt werden.

Der Anwender der Evakuationssoftware positioniert die einzelnen Personen entweder gezielt oder zufällig verteilt im Gebäude, entsprechend dem zu simulierenden Szenario. Jede einzelne Person oder ganze Personenströme können dann während der Simulation über ihren Fluchtweg in Wechselwirkung mit allen anderen Personen und der Gebäudegeometrie verfolgt werden. Dadurch ergeben sich sowohl die Gesamtzeit wie auch eine Gesamtansicht der Personenevakuations (Stauungen).

Die ermittelten Laufzeiten in den verschiedenen Umgebungen sind noch um die Zeiten für die Brandentdeckung, die Alarmierung und die Reaktionszeit zu ergänzen, um die gesamte Räumungszeit eines Gebäudes oder Gebäudeteils vorherzusagen zu können. Interessant in Bezug auf die realistische Darstellung von Evakuationszenarien ist zudem die Integration von Objekten in die Fluchtwege wie blockierte Notausgänge, Paletten, Wagen mit Waren und anderen Hindernissen, die die Evakuationszeit markant beeinflussen können.

Evakuationssoftware

Im Bereich der Evakuationssoftware stehen verschiedene Produkte zur Verfügung, die unterschiedliche Technologien für die Abbildung der Fussgängerbewegung verwenden und unterschiedliche Parameter für die Modellierung der einzelnen Personen zur Verfügung stellen. Objektorientierte, agentenbasierte Techniken (Exodus, SimWalk, Aseri) werden ebenso eingesetzt wie zelluläre Automaten (Pedgo).

Grundsätzlich sind verschiedene Techniken möglich und liefern ähnliche Ergebnisse, was die Simulation realitätsnaher Personenbewegungen betrifft. Nur für die Parametererweiterung, zum Beispiel der Integration von psychologischen

Faktoren, hat sich die agentenbasierte Modellierung bisher als die flexiblere und zukunftsreichere Simulationstechnik erwiesen.

In der Regel bestimmt das Simulationsziel die Wahl der geeigneten Simulationssoftware. SimWalk, Exodus, Pedgo und Aseri sind Softwareprodukte, die für Evakuationsimulationen eingesetzt werden können. Allen gemeinsam ist der Ansatz der Mikrosimulation, das heisst die Modellierung einzelner individueller Personen, um Evakuationszeiten simulieren zu können.

Die grundsätzlichen Simulationsebenen sind einerseits die Gebäudegeometrie, die entweder in einem CAD-Format importiert oder zusätzlich noch direkt in der Software gestaltet und verändert werden kann (SimWalk), sowie die Bestimmung der Individuenzusammensetzung und -eigenschaften, die wiederum in physikalische und psychologische Eigenschaften unterschieden werden können.

Während die physikalischen Eigenschaften wie Gehgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Alter auf Grund empirischer Untersuchungen gut belegt sind, sind psychologische Parameter wie Geduld oder Durchsetzungsfähigkeit naturgemäss mit einem gewissen Unsicherheitsfaktor behaftet, da hier empirische Daten zumeist fehlen oder nur spärlich vorhanden sind. Trotzdem kann ihr Einsatz – die Software Exodus beispielsweise verfügt über verschiedene psychologische Parameter – im Einzelfall Sinn machen, wenn psychologische Faktoren eine zentrale Rolle spielen.

Weitere wichtige Faktoren, die in das Verhalten der Personen eingehen, sind globale Verhaltensfaktoren wie die Wahl des nächsten Ausgangs oder die Bevorzugung von bekannteren Exits (z.B. Hauptausgang) sowie lokales Verhalten (Reaktionszeit, Konfliktlösung in der Form von Kreuzen und Überholen, Richtungsänderung, Ausweichen).

In der Regel wird das globale Verhalten vor dem eigentlichen Simulationslauf festgelegt, während das lokale Verhalten sich durch Ereignisse im Laufe der Simulation wie die Beeinflussung durch andere Personen oder Hindernisse fortlaufend ergibt. Da es sich bei der Simulation von Fussgängerbewegungen um stochastische, das heisst zufallsbestimmte Simulationen, handelt, werden immer mehrere Simulationsläufe durchgeführt (20 bis 50 Läufe im so genannten automatischen Batchmodus), um statistisch signifikante Ergebnisse zu erzielen.

Einzelne Softwares verfügen zusätzlich über ein integriertes Brandmodul (Exodus, Aseri), mit dem Einflussfaktoren des Brandereignisses wie Hitze, Strahlung, Sicht, Toxizität und ihre Wirkung auf die flüchtenden Personen simuliert werden können. Brandereignisse können zum Beispiel als Resultate von Brandsimulationen (Computational Fluid Dynamics CFD oder Zonenmodell) eingelesen

werden. Mit dem Einsatz der Brandsimulation wird die Evakuationszeit über die zusätzliche Behinderung der Fluchtwege und die Einschränkung der Mobilität der Fluchtenden durch Hitze und Rauch beeinflusst.

Empirische Daten und Validierung

Obwohl Evakuationsimulationen effiziente Instrumente zur Untersuchung von Fluchtwegen und Fluchtzeiten sind, hängt die Aussagekraft der Simulationen stark

von den Input-Daten wie zum Beispiel Gehgeschwindigkeiten der Evakuierten, statistische Verteilungen der Anzahl von Personen nach Alter und Geschlecht im entsprechenden Simulationsszenario sowie weiteren Parametern ab. Die empirischen Grundlagedaten müssen deshalb einerseits von den Betreibern oder Auftraggebern der Evakuationsimulation bereits vorhanden sein oder noch erhoben werden, zum Teil sind diese Daten auf Grund von früheren Untersuchungen in der Literatur bereits vorhanden.

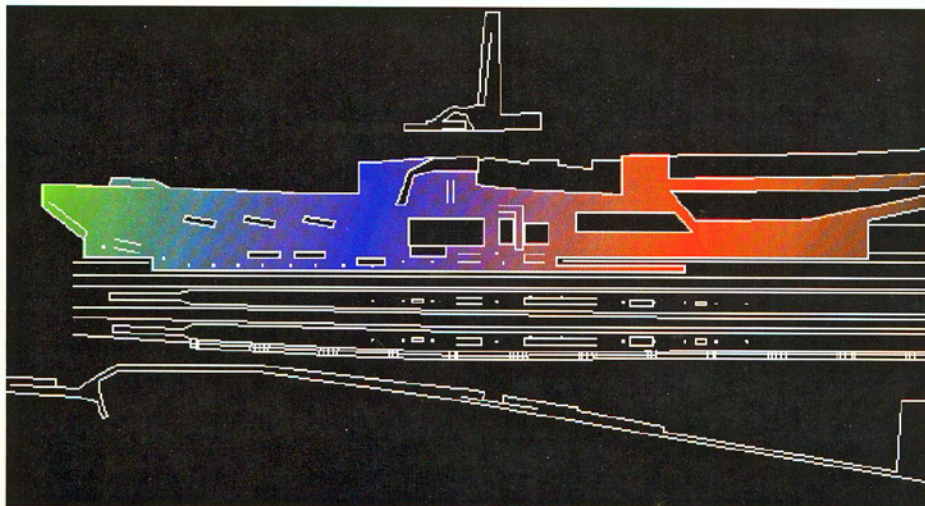
Daten über Fluchtverhalten im Brandfall, sowohl physikalischer Art (Gehgeschwindigkeit, Einfluss der Toxizität) wie auch psychologische Faktoren (Beeinträchtigung der Orientierung, Nachahmeverhalten), sind in der einschlägigen Literatur früherer Untersuchungen vorhanden und können in der konkreten Simulation eingesetzt werden. Zudem gibt es Realversuche zu verschiedenen Evakuationszenarien, die ebenfalls für die notwendigen Input-Daten der Simulation herangezogen werden können. Alle diese Daten müssen natürlich immer mit dem geplanten Simulationsszenario der Gebäudeevakuations abgestimmt und auf ihre Plausibilität überprüft werden.

Das häufigste Verfahren, das heute für die Untersuchung von Personenverhalten sowohl im Evakuationsfall wie auch für Normalbewegungen eingesetzt wird, ist der Einsatz von Videoaufnahmen. Mit einer speziellen Tracking-Software können die einzelnen Videoaufnahmen ausgewertet und das Laufverhalten der Personen in verschiedenen Situationen untersucht werden. Vor allem das Gehverhalten, was Richtung und Geschwindigkeit betrifft, ist für die spätere Auswertung und die Validierung von Evakuationsimulationen von grosser Wichtigkeit.

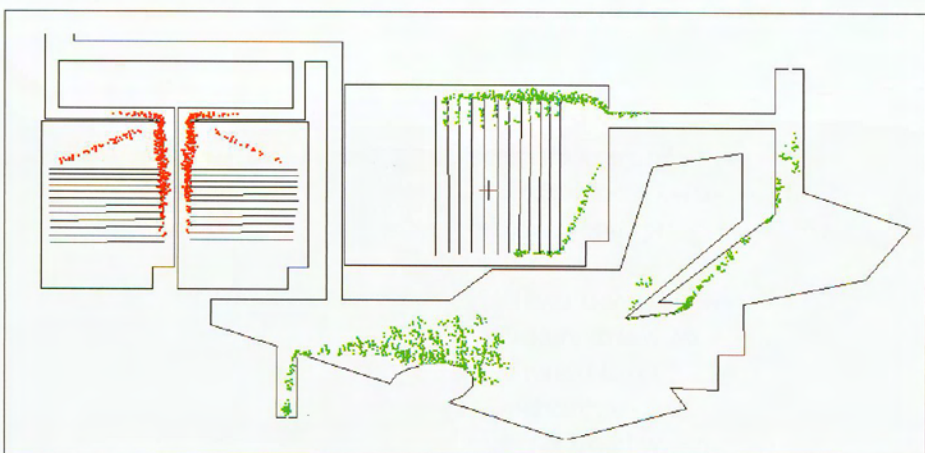
Für die Validierung greift man auf empirische Daten bereits vorhandener Untersuchungen zurück.

Unter der Validierung von computerbasierten Simulationen, einem zentralen Verfahren, um die Richtigkeit einer Simulation feststellen zu können, versteht man im Allgemeinen den Vergleich der Resultate der Simulation mit dem Verhalten des Realsystems. In der Regel können keine Vergleiche mit einer Realevakuations eines Gebäudes im Brandfall gemacht werden, da die Evakuationsimulation ja gerade deshalb eingesetzt wird, weil Realevakuations zeitaufwändig und teuer sind.

Für die Validierung greift man deshalb auf die empirischen Daten bereits vorhandener Untersuchungen und realer Brandfälle zurück, um beispielsweise die Realitätsnähe von Evakuationszeiten mit einer bestimmten Belegung festzuhalten. Zudem gibt es aber auch Bemühungen, die allgemeine Validität von Software für Evakuationsimulationen festzuhalten, um die verschiedenen Softwares auch vergleichbar zu machen. Eine Aktivität im deutschsprachigen Raum in diese Richtung ist die RIMEA (Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungs-Analyse, www.rimea.de), wo versucht wird, über verschiedene allgemeine Testfälle, die von den teilnehmenden Softwares simuliert werden müssen, die Validität zu ermitteln.



Die Geometrie des Objekts wird in Potenzialfelder eingeteilt, in denen sich die Personen orientieren. Verschiedene Farben kennzeichnen verschiedene Ausgänge.



Evakuationsimulation des Foyers eines Multiplex-Kinos mit Simwalk. Evakuierte Personen werden als Punkte dargestellt.



Simulation kombiniert mit Rauchsimulation in Exodus. Die grauen Schattierungen zeigen unterschiedliche Rauchkonzentrationen.