

Unterschiedliche Szenarien wie beispielsweise die gleichzeitige Evakuierung aller Räume mit einer nichtverzögerten Warnungszeit oder einer verzögerten Evakuierung wurden durchgespielt, um die Auswirkungen auf die Evakuationszeit zu untersuchen.
(Bild: Hans-Peter Christ)



Personensicherheit im Brandfall – Evakuationssimulationen

Wieviel Zeit in Realität für die Flucht in verschiedenen Brandszenarien benötigt wird, kann mit Hilfe der in diesem Artikel vorgestellten Personensimulation überprüft werden.

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

Bedingungen der Evakuationszeit

Hauptfaktoren für die Gesamtdauer einer Evakuierung sind:

- Brandmeldezeit,
- Alarmierungszeit,

- Reaktionszeit,
- 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 2 bis 4 Minuten erkannt und lokalisiert werden. Für die Alarmierungszeit wird in der Regel ein Richtwert von 1 Minute angenommen, abhängig von einer internen oder externen Alarmierung, die entweder automatisch oder manuell erfolgen kann.

Wie lange es dauert, bis ein alarmierter Mensch reagiert und seine Fluchtzeit beginnt, ist unter

anderem abhängig von der Art der Alarmierung (beispielsweise leises und monotones Klingeln oder aber ein Feuerwehmann in voller Montur) und die Einsicht, dass die Person sich in unmittelbarer Gefahr befindet. Oft behindert Neugier die schnelle Umsetzung. Doch auch unter günstigen Bedingungen sollte mit mindestens 3 Minuten Reaktionszeit gerechnet werden.

Als so genannte Laufzeit wird die Zeit bezeichnet, die ein Mensch benötigt, die Strecke bis zum Heraustrreten ins Freie, in einen gesicherten Treppenraum oder in einen nicht betroffenen Brandabschnitt zu bewältigen. Der Richtwert für Evakuationen nach VDMA, Blatt 3, zeigt, dass eine Dauer von 10 Minuten für die Evakuationszeit, inklusive Sicherheitsmargen, eine vernünftige Zeit darstellt. Für den Feuerwehreinsatz und die Fremdrettung kann als weiterer Richtwert von

zusätzlichen 10 Minuten ausgegangen werden.

Simulations-Analyse der Evakuationszeit

In komplexen Gebäudegeometrien mit vielen Personen ist es jedoch schwierig, konkrete Evakuationszeiten abzuschätzen. Nicht-lineare 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 Normal Situationen und im Notfall seit längerer Zeit empirisch untersucht wird und in entsprechende Entleerungsrechnungen eingehen, 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 Software berechnet – als Makrobewegungen in Anlehnung an Gase und Flüssigkeiten.

Bei der Mikrosimulation werden die Personen einerseits aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften (Alter, Geschlecht, Gewicht, Agilität, Beweglichkeit oder Bewegungsgeschwindigkeit) und andererseits ihrer psychologischen Eigenschaften modelliert (Geduld, Durchsetzungsvermögen, Reaktionszeit usw.). Diese detaillierte Modellierung von Personen und Umgebung ermöglicht die realistische Simulation von Evakuationszeiten. In der Regel erfolgt die Simulation in 2 Dimensionen, zum Teil sind auch 3D-Module erhältlich, die jedoch für die eigentliche Evakuationsanalyse keine Rolle spielen, sondern nur für Präsentationen eingesetzt 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 usw.). 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 vorhersagen zu können. Interessant in Bezug auf die realistische Darstellung von Evakuations Szenarien 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 bei der 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.

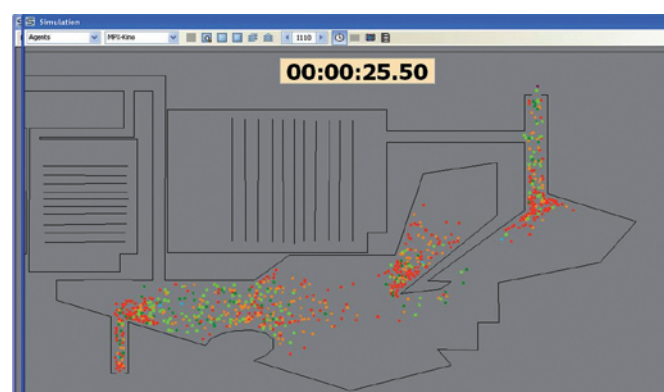
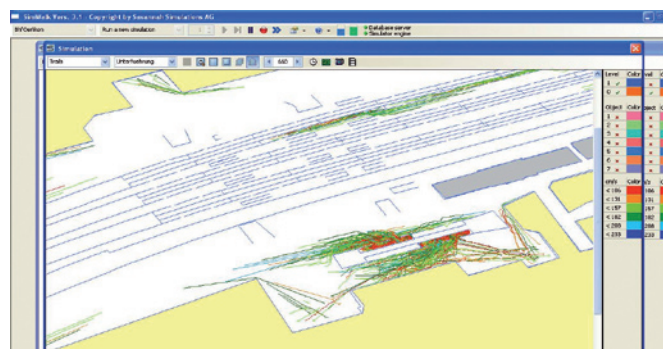
Während die physikalischen Eigenschaften wie Gehgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Alter aufgrund empirischer Untersuchungen gut belegt sind, sind psychologische Parameter wie Geduld oder Durchsetzungsfähigkeit naturgemäss mit einem gewissen Unsicherheitsfaktor behaftet, da hier empirische Daten zumeist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

Globale Verhaltensfaktoren

Weitere wichtige Faktoren, die in das Verhalten der Personen eingehen, sind globale Verhaltensfaktoren wie die Wahl des nächsten Ausganges oder die Bevorzugung von bekannteren Exits (zum Beispiel Hauptausgang) sowie lokales Verhalten (Reaktionszeit, Konfliktlösung in der Form von Kreuzen und Überholen, Richtungsänderung, Ausweichen usw.). 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 Software 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 kann. 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 Flüchtenden durch Hitze und Rauch beeinflusst.

Insgesamt war es durch die Simulation mit SimWalk möglich, die Evakuationszeiten verschiedener Szenarien und gefährliche Dichteverhältnisse zu evaluieren, was durch einfache Analysen oder Realexperimente nicht möglich gewesen wäre.



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 oder noch erhoben werden, zum Teil sind diese Daten aufgrund von früheren Untersuchungen in der Literatur bereits vorhanden. Daten über Fluchtverhalten im Brandfall, sowohl physikalischer Art (Gehgeschwindigkeit, Einfluss der Toxizität usw.) wie auch psychologische Faktoren (Beeinträchtigung der Orientierung, Nachahmeverhalten usw.) sind in der einschlägigen Literatur früherer Untersuchungen vorhanden und können in der konkreten Simu-

Zum Autor

Alex Schmid, lic. phil I, MBA, ist Gründer und Geschäftsführer der Savannah Simulations AG. Das Unternehmen ist ein Simulationsdienstleister und entwickelt und vertreibt die Simulationssoftware für Personenbewegung und Evakuationsimulation SimWalk, die ursprünglich am Institut für Computer Science der ETH entstanden ist. SimWalk wurde bisher sowohl für Evakuationsimulationen als auch in anderen Bereichen der Personenbewegung wie Verkehr und Stadtplanung eingesetzt. Neben SimWalk entwickelt und vertreibt Savannah Simulations auch Simulationssoftware in den Bereichen Polizeischulung, Shopping Center- und Handelsplanung, Grossstadtplanung und Finanzmärkte.

lation 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 Gebäudeevakuierung abgestimmt und auf ihre Plausibilität überprüft werden.

Das häufigste Verfahren, das heute für die Untersuchung von Personenverhalten sowohl im Evakuationsfall wie auch bei 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.

Validierung

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 Realevakuierung eines Gebäudes im Brandfall gemacht werden,

da die Evakuationsimulation ja gerade deshalb eingesetzt wird, weil Realevakuierungen 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 bei einer bestimmten Belegung festzuhalten. Zudem gibt es aber auch Bemühungen, die allgemeine Validität von Software für Evakuationsimulationen festzuhalten, um die verschiedenen Software 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 Software simuliert werden müssen, die Validität zu ermitteln. ■

Weitere Informationen:
Savannah Simulations AG
Alte Dorfstrasse 24, 8704 Herrliberg
Tel. 044 790 17 14, Fax 044 790 17 12
www.savannah-simulations.com
www.simwalk.ch
info@savanna-simulations.com