

Anwendung von Simulationsrechnungen in der Brandschutzaufklärung

*Marcus Wandel, Lutz Thormann, Matthias Münch
Interessengruppe Numerische Risikoanalyse / INURI GmbH*

1. Einleitung

Im Zeitalter der Zentralheizung ist vielen Menschen das Bewußtsein für die Gefahren eines Brandes verloren gegangen. Noch viel fremder ist ihnen der Gedanke an einen Brand in der eigenen Wohnung geworden. Ein effektiver Vorbeugender Brandschutz im Zusammenspiel mit einer schlagkräftigen Feuerwehr reduziert die Anzahl der in der Öffentlichkeit wahrgenommenen Brandereignisse und vermittelt ein hohes Sicherheitsgefühl. Die Eigenschaften und die Gefahren des Feuers geraten in Vergessenheit.

In der Folge zeigen Betroffene eines Brandes häufig ein großes Erschrecken über die Rasanz des Feuers. Insbesondere die Menge des entstehenden Brandrauches und dessen rasche Ausbreitung trifft die meisten Menschen völlig unerwartet. Für Fachleute aus der Brandschutzaufklärung ist diese Erkenntnis nicht neu. Zahlreiche Initiativen auf verschiedenen Ebenen bemühen sich auf unterschiedlichen Wegen Brandschutzaufklärung für die Bevölkerung zu betreiben [1]. Hierzu stehen mittlerweile zahlreiche Methoden zur Verfügung. Hilfsmittel, wie Comics, Rauchhaus, Puppentheater oder Videofilme wurden in den letzten Jahren entwickelt und unterstützen die Brandschutzaufklärung. Die größte Herausforderung aber bleibt eine glaubwürdige Darstellung der häufig unterschätzten Branddynamik und der Ausbreitung des Brandrauches.

Die Wissenschaft entwickelt seit vielen Jahren Methoden zur computer-gestützten Simulation der Brand- und Rauchausbreitung, häufig verkürzt Brandsimulation genannt. Mit diesen Methoden sind zum Teil sehr realistische Darstellungen von Brandverläufen sowie der Brandrauchausbreitung in Gebäuden möglich. Der Einsatz dieser Technik eröffnet damit neue Möglichkeiten in der Brandschutzaufklärung und -erziehung. Im Rahmen der Brandschutzaufklärung auf Veranstaltungen der Interessengruppe Numerische Risikoanalyse (INURI) wurde die Methode bereits mehrfach erfolgreich erprobt. Dieser Beitrag gibt einen Einblick in die Möglichkeiten und Grenzen dieser Methode und zeigt beispielhaft eine sinnvolle Kombination mit den bereits etablierten Möglichkeiten.

2. Die Technik der Brandsimulation

Die detaillierte Beschäftigung mit Fragestellungen der computergestützten numerischen Simulation der Brand- und Rauchausbreitung erfordert Kenntnisse aus den unterschiedlichsten Wissensgebieten. Die Interessengruppe Numerische Risikoanalyse (INURI) besteht aus einem Netzwerk von Fachleuten aus Forschung und Praxis der verschiedensten Disziplinen, wie z. B. der Architektur, der Strömungsmechanik, der Numerik, dem Scientific Computing und dem Brandschutz. Ziel ist der Aufbau eines unabhängigen, qualitativ hochwertigen Informations- und Beratungsangebotes zu Fragestellungen der Numerischen Simulation in Brandschutz und Gefahrenabwehr. Als rechtlicher Träger fungiert die 2009 aus der Freien Universität Berlin ausgegründete INURI GmbH.

2.1 Einsatz von CFD-Programmen

Brandsimulationen werden bislang vorwiegend im Bereich des Vorbeugenden baulichen Brandschutzes zur Erstellung von Brandschutzkonzepten eingesetzt. Die gestiegenen Rechenleistungen von PC's und die freie Verfügbarkeit von Softwareprogrammen zur Berechnung der Brand- und Rauchausbreitung erleichtern es heute, diese Technologie auch für Zwecke der Brandschutzaufklärung zu verwenden. Von den verschiedenen methodischen Rechenansätzen eignen sich die sogenannten Feldmodelle oder CFD-Programme (Computational Fluid Dynamics Programme) für die Brandschutzaufklärung am besten. Mit dem Fire Dynamics Simulator (FDS) [5] steht ein derartiges CFD-Programm sogar kostenlos zur Verfügung.

Die Berechnung der Brand- und Rauchausbreitung erfolgt durch die numerische Lösung eines komplizierten physikalischen Gleichungssystems, welches die chemischen und physikalische Abläufe bei einem Brand mehr oder weniger genau abbilden kann. Für Brandsimulationen, die für die Brandschutzaufklärung erstellt werden, ist die Frage der Genauigkeit der Lösung jedoch nicht von entscheidender Bedeutung, da bestimmte Effekte lediglich bildlich dargestellt werden sollen. Weiterführende Informationen zu den Grundlagen der CFD-Technik finden sich in den entsprechenden CFD Fachbüchern und u.a. auch hier [5,6,8].

2.2 Technische Details

Dennoch erfordert auch der Einsatz der Brandsimulation zum Zwecke der Brandschutzaufklärung ein gewisses Grundverständnis der numerischen Simulationstechnik. CFD-Programme besitzen sehr komplexe Strukturen, sie müssen während der Simulation pro Zeitschritt mehrere

Millionen Gleichungen gleichzeitig lösen.

Die Simulation basiert auf einem diskreten Netz von Gitterzellen, die das Rechengebiet definieren. Die Größe dieser Gitterzellen beeinflusst maßgeblich die erforderliche Rechenleistung und ist auch ausschlaggebend für den Detaillierungsgrad der Darstellung. Ferner erfordert die Bestimmung der Eingangs- und Randparameter ein gewisses Wissen und Erfahrung über Brandsimulationen und vorallem der zu Grunde gelegten Theorie. Allerdings sind für Simulationsrechnungen zum Zwecke der Brandschutzaufklärung nicht die selben hohen Anforderungen an den Nutzer zu stellen, wie dies bspw. bei Simulationen für Brandschutzkonzepte der Fall ist.

Über die Angaben von Raumkoordinaten ist die Nachbildung von komplexen dreidimensionalen Gebäudestrukturen möglich. Es lassen sich Zimmer, Flure und auch Öffnungen wie Türen oder Fenster abbilden. Letztere können zusätzlich mit einer Schaltfunktion belegt werden, um bspw. Öffnungsvorgänge in der Simulation zu berücksichtigen. Im erwähnten Fire Dynamics Simulator lassen sich ferner Texturen (z.B. Ziegelsteinmuster) auf die Wandoberflächen legen, sodass eine realistischere Darstellung möglich wird.

Den eigentlichen Brand, also den Pyrolyse- und Verbrennungsprozess von Materialien, können die meisten CFD-Programme in der Regel noch nicht richtig berechnen. Die Wärme- und Rauchfreisetzung des Brandes kann aber z.B. über Zeitfunktionen vorgegeben werden. Die Lage und Größe der Brandquelle wird wieder über Koordinatenangaben bestimmt.

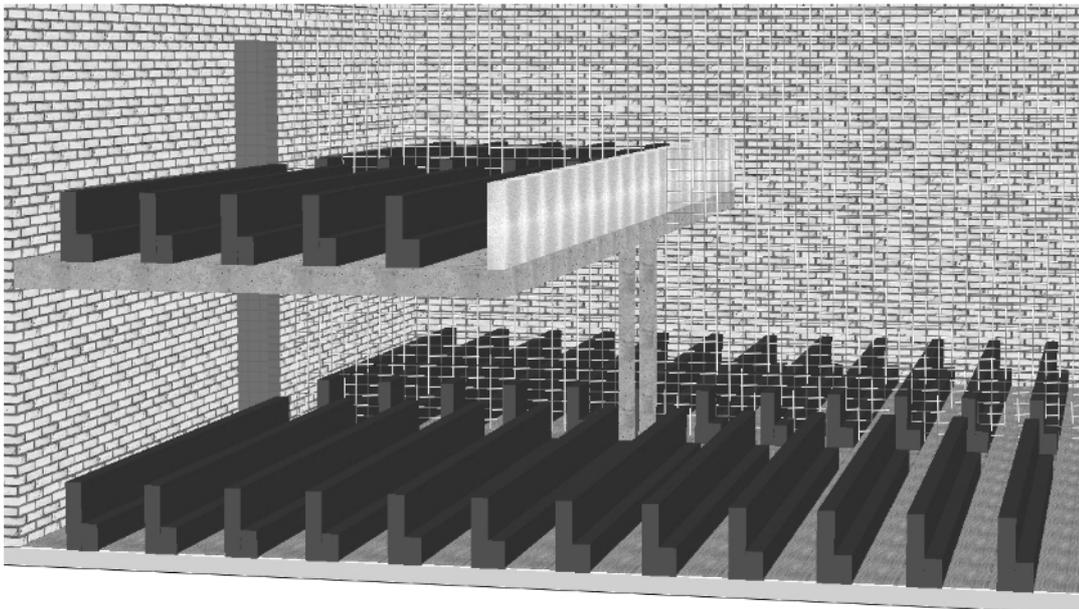


Abbildung 1: Veranstaltungssaal mit Texturen auf den Wandoberflächen und eingeblendeter Gitterfläche

2.3. Darstellungsmöglichkeiten der Brandsimulation

Brandsimulationsprogramme liefern Ergebnisse nur in Form von Zahlenreihen. Um die Ergebnisse entsprechend grafisch darzustellen, werden spezielle Visualisierungsprogramme benötigt. Diese Programme bieten eine große Bandbreite von Möglichkeiten, um die Ergebnisse entsprechend optisch ansprechend aufzubereiten. Zum Beispiel kann der Blickwinkel frei gewählt werden und auch Bildausschnitte bestimmt werden. Mit Hilfe von transparent dargestellten Wänden können sehr plastisch wirkende Schnitte und Isometrien von Gebäuden erzeugt werden.

Fast alle Programme haben die Möglichkeit diese grafische Darstellung in gängigen Bilddateiformaten, wie z.B. als JPG-Datei, zu einem beliebigen Zeitpunkt abzuspeichern.

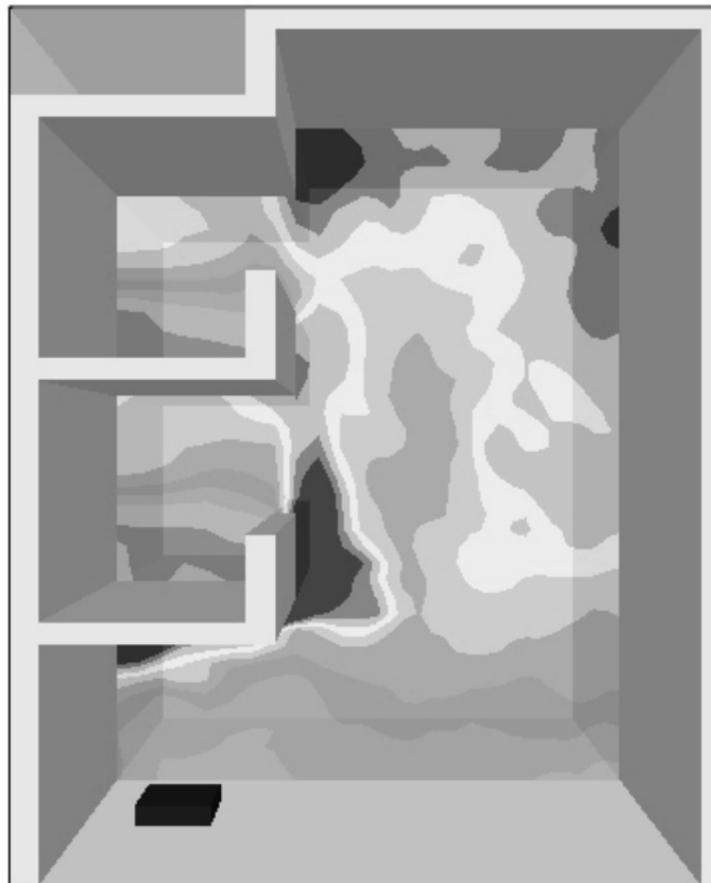


Abbildung 2: Darstellung der Temperaturentwicklung in einem Atrium

Um einen ansprechenden Kurzfilm zu produzieren, empfiehlt es sich derartige Bilder in kleinen Zeitintervallen zu erstellen. Mit einem Videobearbeitungsprogramm kann hieraus dann ein Film generiert werden. Diese Methode ist in den meisten Fällen für einen ansprechenden Kurzfilm ausreichend. Einige wenige Visualisierungsprogramme bieten auch die

Möglichkeit, Filmdateien direkt zu erzeugen. Für die Brandschutzaufklärung bieten Simulationsmethoden damit die Möglichkeit gezielt besondere Effekte, wie z.B. die Rauchausbreitung im Treppenhaus, realitätsnah darzustellen. Dabei können relativ einfach auch verschiedene Szenarien gegenübergestellt werden. Ein weiterer Vorteil besteht in der Anschaulichkeit der Effekte. Die plastische und leicht verständliche Darstellung ist ein wichtiger Punkt, dass diese Simulationen von den Betrachtern auch als glaubhafte Aussage akzeptiert werden.

3. Erprobung bei der Langen Nacht der Wissenschaften

Zur Erprobung der Möglichkeiten der Brandsimulation in der Brandschutzaufklärung wurde in Zusammenarbeit mit der Berliner Feuerwehr die Langen Nacht der Wissenschaften als Bühne genutzt, um Kindern wie auch Erwachsenen sehr anschaulich und plastisch die Gefahren des Brandrauches und das richtige Verhalten im Brandfall zu zeigen.

3.1 Die Lange Nacht der Wissenschaften in Berlin

Seit 2001 wird in Berlin und Potsdam die „Lange Nacht der Wissenschaften“ mit großem Erfolg durchgeführt. In der Zeit von 17 Uhr bis 1 Uhr werden an über 70 wissenschaftlichen Einrichtungen und Hochschulen vor allem Kinder und Jugendlichen die Vielfalt der Wissenschaft nahegebracht und Einblicke in die wissenschaftliche Arbeit ermöglicht. Alleine 14 spezielle Busrouten brachten die fast 240.000 Besuchern im Jahr 2010 zu den verschiedenen Standorten.



Abbildung 3: Titelbild zum Programm zur Langen Nacht der Wissenschaft

Die Interessengruppe Numerische Risikoanalyse (INURI) beteiligte sich in diesem Jahr bereits das vierte Mal an der Langen Nacht der Wissenschaften. In der Vergangenheit fanden jeweils rund tausend Besucher den Weg zu den verschiedenen Vorträgen und Aktionen, sodass eine ausreichende Besucheranzahl für die Einschätzung des Nutzeffektes der Brandsimulation zur Verfügung steht.

3.2 Das Programm bei der Langen Nacht der Wissenschaften

Zielstellung bei der Ausarbeitung des Programms war es die Besucher, insbesondere auch Kinder und Jugendliche, gleichermaßen für die Gefahren des Brandes zu sensibilisieren, als auch das Interesse für die Wissenschaft zu wecken. Bei den Planungen wurde immer Wert daraufgelegt, dass ein ausgewogenes Verhältnis zwischen dem Anspruch der Langen Nacht und dem Ziel der Brandschutzaufklärung geschaffen wird. Auf dieser Grundlage wurden verschiedene Vorträge und Vorführungen entwickelt. Hierbei kamen folgende Methoden kombiniert, als auch einzeln zum Einsatz:

- Puppenspiel mit der Klappmaulpuppe Jann der Bär
- Erläuterungen am Modell-Rauchhaus
- Feuerwehrmann als Erklärer
- Wissenschaftler als Erklärer
- Video von Alarmierung und Ausrücken der Feuerwehr
- Nachstellung eines Feuerwehreinsatzes mit Einsatz von Theaterrauch
- Filmausschnitte von Brandversuchen
- Filme von Brandsimulationen
- Grossformatige Poster von Einsatzstellen
- Brandschutzbrettspiel
- Flyer und Handmaterial der Aktion „Rauchmelder retten Leben“
- Stand mit Personal und Anschauungsmaterial für persönliche Gespräche

Die Vorträge und Vorführungen wiederholten sich im Laufe des Veranstaltungszeitraums und waren im berlinweiten Programmheft der Langen Nacht publiziert. Ferner wurde im Vorfeld durch Pressemitteilungen der INURI und der Pressestelle der Berliner Feuerwehr auf die Veranstaltung hingewiesen. Aufgrund der Vielfalt des interessanten Angebotes zur Langen Nacht der Wissenschaften konnte eine wesentliche Resonanz der Presse auf das Angebot jedoch nicht festgestellt werden. Durch Mundpropaganda entwickelte sich die Aktion jedoch mittlerweile zu einem kleinen Anziehungspunkt im vielfältigen Programmangebot.

3.3 Einbindung am Beispiel eines Vortrages

Für die Lange Nacht der Wissenschaften sollte im Vortrag „Wie Rauch sich ausbreitet“ das richtige Verhalten im Brandfall vermittelt werden. Neben einer Sensibilisierung für die Brandgefahren und dem Absetzen eines richtigen Notrufes ist die Vermittlung der Schutzfunktion einer geschlossenen Wohnungstür bei einem Brand eine zentrale Information in dem Vortrag. Aktuell kam es in Berlin im März 2011 gerade wieder zu einer dramatischen Häufung von Bränden in Treppenhäusern durch Brandstiftung an Kinderwagen, Altpapier und Gerümpel in den Hausfluren, bei denen geschlossen gehaltene Wohnungstüren eine wichtige Funktion haben.

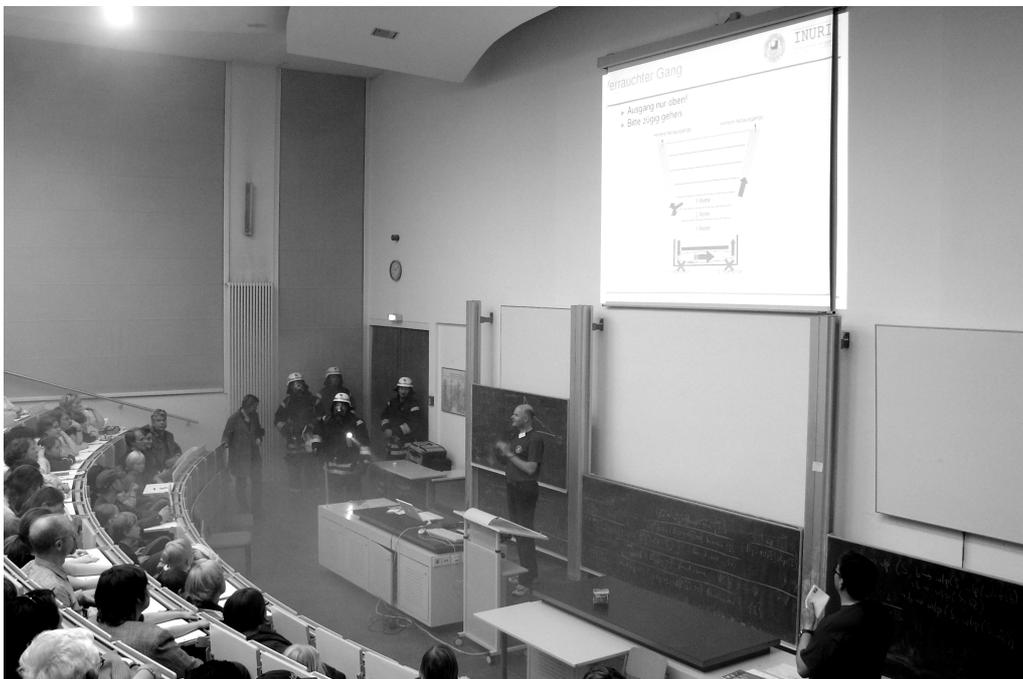


Abbildung 4: Vortrag im großen Hörsaal an der Freien Universität Berlin

Um die Auswirkungen der unkontrollierten Rauchausbreitung zu demonstrieren und die Aussagen zu untermauern, wurde hierbei auf die Möglichkeiten der Brandsimulation zurückgegriffen. Dabei wurden zwei Szenarien betrachtet: zum einen ein Brand im Treppenhaus und zum anderen ein Brand in der Wohnung. Beide Szenarien werden auch in einem Comic beschrieben, der von der Berliner Feuerwehr und der Senatsverwaltung für die Brandschutzaufklärung der nicht-deutschsprachigen Bevölkerung entwickelt wurde [2]. Konkrete Details zu den Simulation werden im Abschnitt 3.4 noch beschrieben.

Zum Ende des Vortrages verschwommen Simulation und Realität. Ein eigens produzierter Kurzfilm zeigt die Notrufannahme in der Leitstelle der

Berliner Feuerwehr mit exakt der Adresse des Vortragsraums in dem der Vortrag gehalten wurde. Im Film folgt die Alarmierung auf einer Feuerwache und der Film endet mit dem Ausrücken eines Löschfahrzeugs der Berliner Feuerwehr. Kurze Zeit später ertönte das Martinshorn und dasselbe Löschfahrzeug aus dem Film fuhr vor den Fenstern des Vortragsraumes vor. Die in den Vortragsraum eindringenden Feuerwehrleute erklärten den sichtlich verutzten Zuschauern im Anschluss die Rettungsmöglichkeiten der Feuerwehr.

Diese kleine Einlage sorgte nicht nur für Unterhaltung, sondern schlug einen Bogen zur Praxis und verdeutlichte, dass die wissenschaftlichen Arbeiten und die Brandschutzerziehung nicht nur graue Theorie sind.



Abbildung 5: Im Rahmen des Vortrags mit Simulation demonstrieren echte Feuerwehrleute den Einsatz ihrer Rettungsmittel

3.4 Simulation der Treppenhausszenarien

Im Vortrag „Wie Rauch sich ausbreitet“ soll die wichtige Schutzfunktion einer geschlossenen Wohnungstür bei einem Brand mit Hilfe einer Brandsimulation verdeutlicht werden. Die einfache architektonische Anordnung lässt dabei verschiedene Szenarien zu.

Grundlage bildete die Geometrie eines Treppenhauses in einem 5-stöckigen Wohnhaus. Die Treppe wurde als halbläufige Treppe mit Zwischenpodest abgebildet. Die Geschosshöhe beträgt 3 m und die Treppe

penbreite 1,20 m. Damit entspricht der Treppenraum den gängigen Bedingungen im Geschosswohnungsbau. Angrenzend an den Treppenraum existiert in jedem Geschoss exemplarisch ein Raum mit der Größe 5 m x 6,80 m. Der Zugang vom Treppenraum erfolgt durch eine Tür mit den üblichen Größen von 1 m x 2 m. Die dem Betrachter zugewandte Außenwand ist transparent dargestellt. Somit wird in der Simulation ein Schnitt des Treppenhauses und des angrenzenden Raumes gezeigt. Der Blickwinkel ist leicht seitlich versetzt. Durch diesen leicht versetzten Blickwinkel wird die dreidimensionale Darstellung besser hervorgehoben. Auf weitere Räume oder gar Möbel wurde bewusst verzichtet.

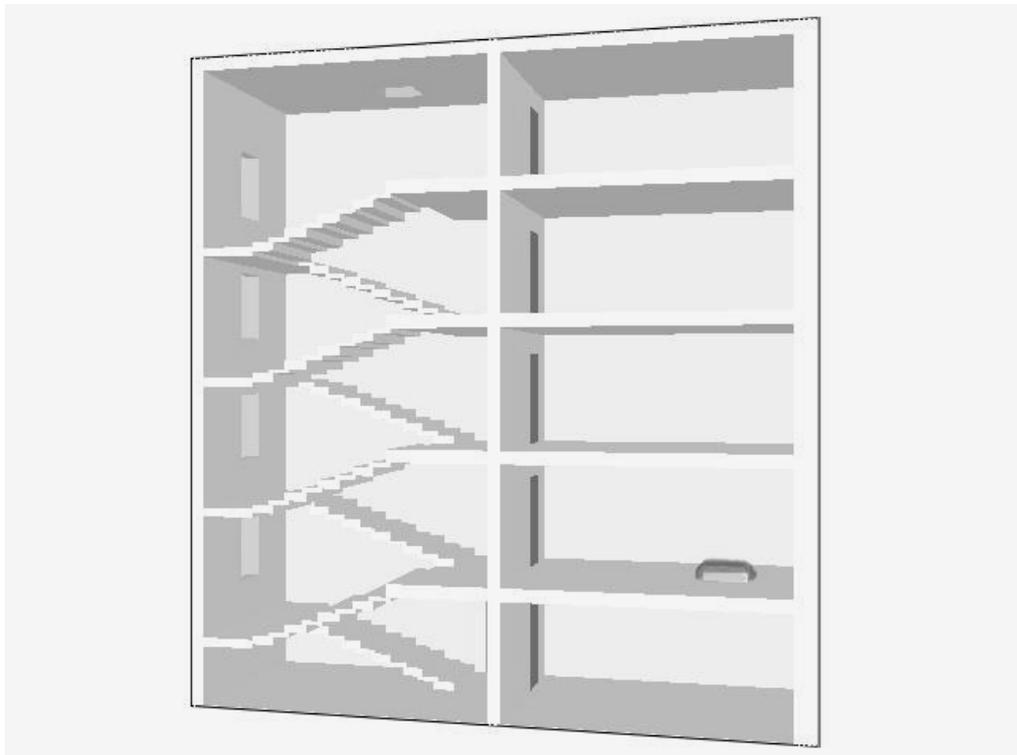


Abbildung 6: Vereinfachte Darstellung der Architektur mit transparenter Außenwand und leicht gedrehter Ansicht für eine bessere dreidimensionale Wahrnehmung der Simulation

In der Simulation soll der Effekt der Rauchausbreitung dargestellt werden. Nicht gezeigt werden sollte, wie schnell sich der Rauch ausbreitet. Der Simulationsfilm darf im Vortrag max. 30 – 45 Sekunden Zeit in Anspruch nehmen. In der Folge wurden die Simulationsparameter der Brandquelle so gewählt, dass diese Ziele erreicht werden.

3.4.1 Szenario 1: Brand in der Wohnung

Die Brandquelle befindet sich in dem Raum im 1. Obergeschoss. Die Tür ist geöffnet. Der Rauch füllt allmählich den gesamten Treppenraum aus. Dabei wird deutlich, wie die Sichtweite durch den Rauch im Treppenhaus

eingeschränkt wird und somit den Treppenraum für eine Flucht unbrauchbar macht.

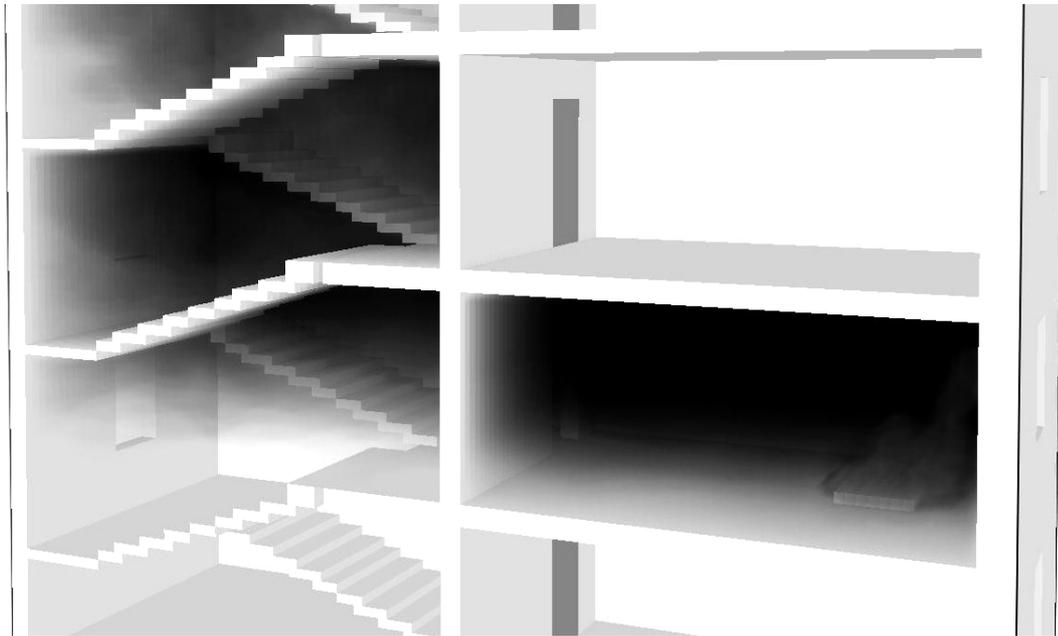


Abbildung 7: Szenario 1 Brand in einem Wohnraum mit Rauchausbreitung ins Treppenhaus

Für eine zweite Simulation wurde das gleiche Szenario gewählt nur mit geschlossener Tür. Die Verrauchung beschränkt sich auf die Wohnung und der Treppenraum bleibt rauchfrei. Es ist für jedermann eindeutig erkennbar, dass der Treppenraum noch benutzbar ist und eine Flucht aus den darüberliegenden Geschossen an der Brandwohnung vorbei möglich ist.

3.4.2 Szenario 2: Brand im Treppenhaus

Bei diesem Szenario befindet sich die Brandquelle im Treppenraum. Dieses Szenario wurde gewählt, weil es des öfteren Brandstiftungen gibt, bei denen Kinderwagen oder andere Gegenstände im Treppenhaus angezündet werden. Die Wohnungstüren sind zunächst alle verschlossen. Nach 50 Sekunden öffnet sich die Wohnungstür im 2. Obergeschoss und der Rauch zieht in die „Wohnung“. Die Sichtweite in dem Raum geht gegen null. Es wird deutlich, dass eine Flucht in den Treppenraum und ein Aufenthalt in dem Raum nicht mehr möglich ist.

In einer zweiten Simulation wird das gleiche Szenario simuliert, nun bleiben alle Türen geschlossen. Die Verrauchung beschränkt sich auf den Treppenraum. Es ist sofort ersichtlich, dass ein Aufenthalt in der Wohnung noch möglich ist. In der Kombination mit Bildern von Wohnungstü-

ren von echten Brandstellen wird schnell deutlich, dass der Verbleib in der eigenen Wohnung im Gegensatz zu einer Flucht durch ein verrauchtes Treppenhaus die bessere Alternative ist.

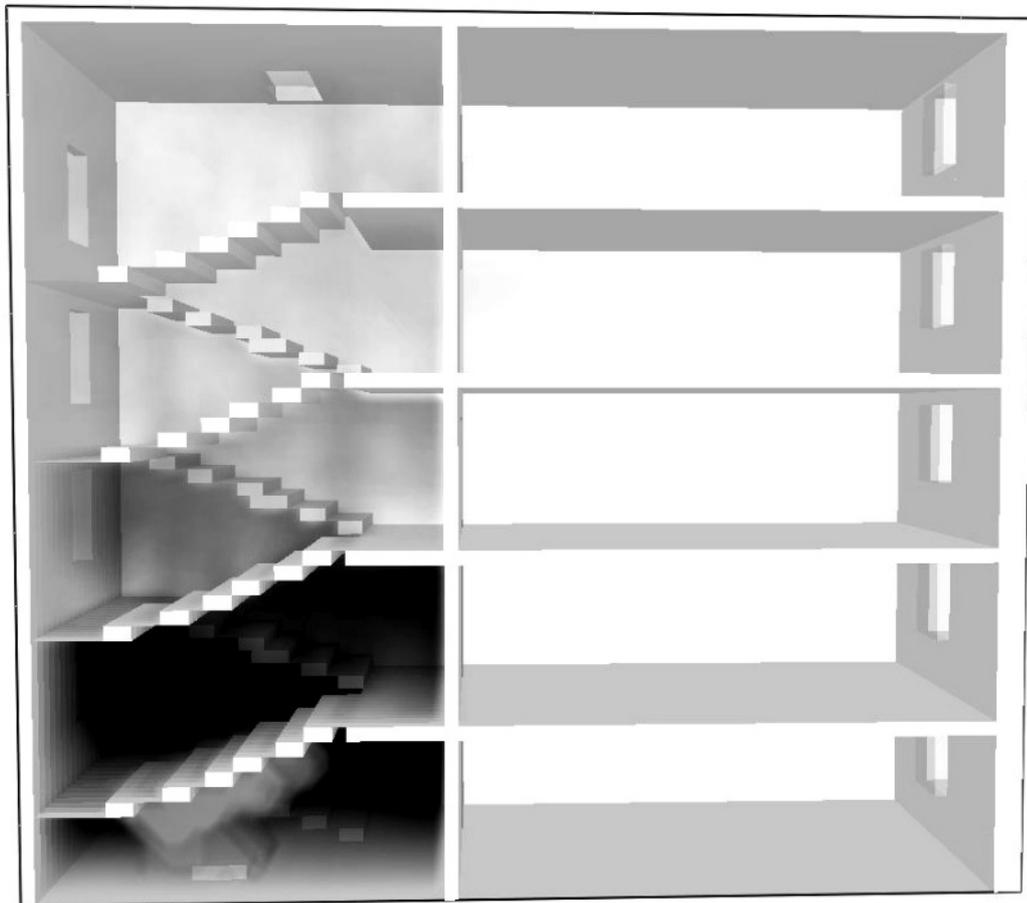


Abbildung 8: Szenario 2 Brand im Treppenhaus ohne Rauchausbreitung in den Wohnraum

4. Anwendungen in der Brandschutzfrüherziehung und in der Feuerwehrausbildung

Der Nutzen derartiger Brandsimulationsfilme beschränkt sich nicht nur auf die Brandschutzaufklärung der Bevölkerung. Derartige Darstellungen helfen auch in der Brandschutzfrüherziehung oder sogar in der Feuerwehrausbildung.

4.1 Beispiel Brandschutzfrüherziehung

Der Flori-Club der Feuerwehr Reutlingen Abt. FF Rommelsbach ist eine Art Bambini-Feuerwehr. Ausgebildete Betreuer bringen Kindern im Alter

von 3 bis 10 Jahren die Gefahren des Feuers spielerisch näher. Bei einem Termin wurden die Gefahren des Rauchs und der Ausbreitung mittels der beschriebenen Brandsimulationen erklärt. Hierbei wurden die beschriebenen zwei Szenarien den Kindern gezeigt und kindgerecht erläutert. Die Resonanz und die Reaktionen der Kindern waren überaus positiv. Die Kinder konnten die Gefahr der Rauchausbreitung sehen und begreifen. Erfreulich war auch, dass die Kinder bei darauf folgenden Treffen sehr lebhaft vom Ausbreiten des Rauches berichten konnten. Die Kombination aus eigenem „Erleben“ und der Erklärung der Betreuer blieb den Kindern in Erinnerung.

4.2 Beispiel Feuerwehrausbildung

Auch in der Ausbildung aktiver Feuerwehrleute kann die Brandsimulation effektiv eingesetzt werden. Durch Gespräche mit Teilnehmern aus Grundausbildungslehrgängen wurden deutlich, dass diese mit Hilfe der Simulationsfilme eine wesentliche bessere Vorstellung von der Problematik bekamen, welche Folgen die Öffnung der Tür zur Brandwohnung für die Verrauchung des Treppenhauses hat.

Die gleichen Filme aus dem in diesem Bericht vorgestellten Vortrag wurden daher der Ausbildungseinrichtung der Berliner Feuerwehr zur Verfügung gestellt.

In einer Weiterentwicklung konnte bei der aktiven Abteilung der FF Rommelsbach der Nutzen aber auch die Probleme bei einem Einsatzes des mobilen Rauchschtzvorhangs leicht verständlich dargestellt werden. Die Form der Darstellung war für die Kameraden glaubhaft und hat die Akzeptanz für dieses Einsatzmittel deutlich steigern können.

5. Fazit

Die ersten Erfahrungen, die Brandsimulation als Hilfsmittel in der Brand-schutzaufklärung einzusetzen, sind aus Sicht der Verfasser sehr vielversprechend. Die Reaktionen und die Rückmeldungen der unterschiedlichen Zielgruppen sind durchweg positiv. Die realitätsnahe dreidimensionale Darstellung eignet sich gut um besondere Effekte der Rauchausbreitung in Gebäuden anschaulich zu präsentieren. Auf Grund der gestiegenen Rechnerleistungen können die Brandsimulationsprogramme für derartige Zwecke heutzutage mit überschaubarem Aufwand genutzt werden.

Ein wichtiger Punkt bei der Erstellung ist die Wahl einer geeigneten Geometrie bzw. Architektur, die den gewünschten Effekte am besten verdeut-

licht. Für die Darstellung bieten die verschiedenen Visualisierungsprogramme eine große Bandbreite an Möglichkeiten. Diese gilt es zu nutzen, um komplexe Sachverhalte einfach und anschaulich für die Betrachter aufzubereiten.

Wichtig ist jedoch, dass diese Simulationen in einen fundierten und zielgruppenorientierten Vortrag eingebettet sind. Die Reaktion der Besucher der „Langen Nacht der Wissenschaften“ hat dies wunderbar gezeigt. Bei diesen Vorträgen hat besonders der Dreiklang der Aussagen, Aussage als Wissenschaftler (Theorie), Aussage als Feuerwehrmann (Praxis) untermauert mit einer realistisch wirkenden Simulation schlussendlich auch die größten Skeptiker überzeugt.

Danksagung

An dieser Stelle bedanken wir uns bei denjenigen, die mit ihrem Engagement die Durchführung der Aktionen und damit letztlich auch erst den testweisen Einsatz der Technik der Brandsimulation ermöglicht haben. Unser Dank geht insbesondere an die Freiwillige Feuerwehr Berlin-Schöneberg, die Pressestelle der Berliner Feuerwehr, das Team von Filmkrug.de und die Mitarbeiter der FU-Berlin für die tatkräftige Unterstützung. Namentlich bei Herrn Stefan Wehner bedanken wir uns für seinen tatkräftigen Einsatz bei der 1000-fachen Erklärung bei all den Fragen, mit denen er vor allem von Kinder kontinuierlich in Beschlag genommen wurde.

Interessengruppe Numerische Risikoanalyse / INURI GmbH

Haderslebener Str. 9, 12163 Berlin

Web : www.inuri.de

E-Mail : brandschutzaufklaerung@inuri.de

Literatur

- [1] Gemeinsamer Ausschuss „Brandschutzerziehung“ des Deutschen Feuerwehrverbandes (DFV) und der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (vfdb), <http://www.bandschutzaufklaerung.de>
- [2] Initiative „Richtiges Verhalten im Brandfall“
Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/aktuell/brandschutz/>
- [3] Berichte zur Aktion „Brand-Wissenschaft-Feuerwehr“ anlässlich der Langen Nacht der Wissenschaften unter www.inuri.de / Aktuelles / Berichte

- [4] Transferprojekt CFD in der Brandschutzaufklärung
Interessengruppe Numerische Risikoanalyse (INURI)
<http://www.inuri.de/index.php/de/fachinformationen/projekte/transfer-projekte.html>
- [5] Fire Dynamics Simulator (FDS)
Website des National Institute of Standards and Technology (NIST)
<http://www.fire.nist.gov/fds>
- [6] Münch, M.:
Brandsimulationsprogramme - Chancen und Risiken, S. 14-18, Heft 2, 2009,
schadenprisma, Zeitschrift für Schadenverhütung und Schadenforschung der
öffentlichen Versicherer, Hrsg. Verband öffentlicher Versicherer, Düsseldorf
- [7] Münch, M.:
*Wie Mathematik hilft, Ihr Leben zu retten. Über den Einsatz mathematischer
Simulationsprogramme zur Brandschutzaufklärung*, S. 16-19, Heft 4, 2010,
schadenprisma, Zeitschrift für Schadenverhütung und Schadenforschung der
öffentlichen Versicherer, Hrsg. Verband öffentlicher Versicherer, Düsseldorf
- [8] INURI Website zur Technik der Brandsimulation
<http://www.inuri.de/index.php/de/fachinformationen/brandsimulation.html>