

Evakuierungssimulation eines Gebäudes: Kopplung zwischen Strömungs- und Personenstromsimulation

Einleitung

Zur Bewertung der Sicherheit von Gebäuden muss unter anderem das Evakuierungsverhalten im Brandfall untersucht werden. Hierfür spielt auf der einen Seite die Ausbreitung des Feuers und damit die Verteilung von Hitze, Rauch und Schadstoffen eine Rolle, auf der anderen Seite das Fluchtverhalten der im Gebäude befindlichen Personen und damit die Verfügbarkeit, Kapazität und Entfernung von Fluchtwegen und Notausgängen. Aufgrund dieser zahlreichen Einflussfaktoren ist eine Vorhersage des Verhaltens im Brandfall sehr anspruchsvoll. Im Folgenden wird ein gekoppelter Simulationsansatz aus Strömungs- und Personenstromsimulation vorgestellt.

Vorgehensweise

Zur Demonstration wird ein Brand in einer mit 460 Besuchern gefüllten Disco verwendet, vgl. Abb. 1. Nach Ausbruch eines Brandes im Bühnenbereich flüchten die Personen durch die drei eingezeichneten Türen aus dem Gebäude.

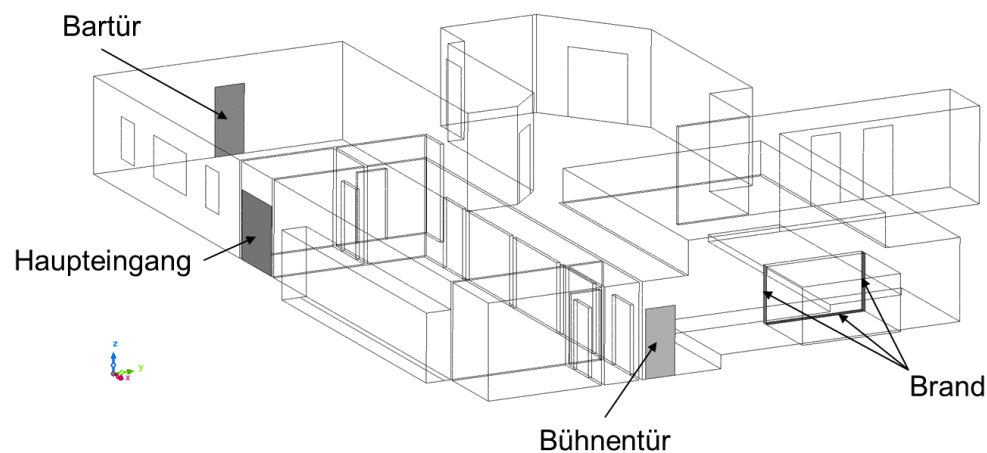


Abb. 1: Isometrische Ansicht der Disco mit Brandherd und Notausgängen

Die Ausbreitung des Feuers wird mit Hilfe einer transienten Strömungssimulation berechnet. Die damit ermittelte räumliche Verteilung von Temperatur und CO₂-Konzentration wird anschließend an eine Personenstromsimulation übergeben. Der insgesamt simulierte Zeitraum umfasst sowohl den Befüllungs- als auch den Evakuierungsvorgang der Disco. Im vorgestellten Ansatz wird der Einfluss der Personen im Raum auf die Ausbreitung des Brandes nicht berücksichtigt, was eine serielle Durchführung der Simulationen ermöglicht.

Strömungssimulation

Zur Simulation der Ausbreitung von Hitze und CO₂ wird der Strömungslöser MSC scFLOW verwendet. Das Feuer wird über die in Abb. 1 als „Brand“ eingezeichnete Randbedingung als Wärmequelle abgebildet, über welche zusätzlich 1200°C heißes CO₂ in den Raum strömt. Die drei Türen des Gebäudes werden als Öffnungen mit konstantem Totaldruck modelliert, durch welche Luft entweichen kann, aber auch eine Rezirkulation zulässt. Die transiente Strömungssimulation bildet einen Zeitraum von fünf Minuten ab. Jede volle Sekunde wird das Temperatur- und CO₂-Feld des Gebäudes herausgeschrieben. Ein solches Feld ist beispielhaft in Abb. 2 gezeigt.

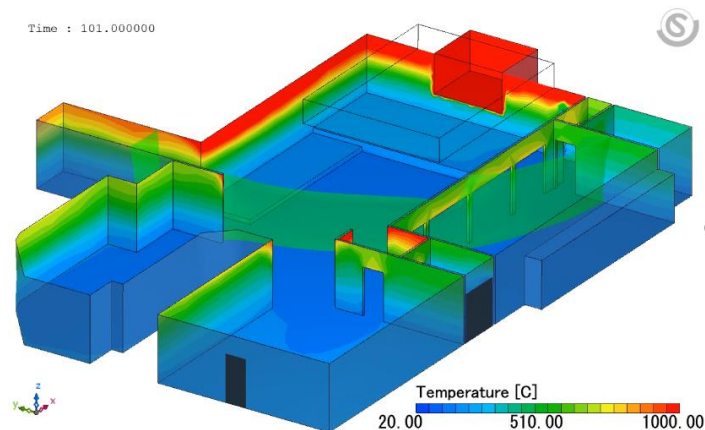


Abb. 2: Strömungssimulation: Wandtemperaturen sowie der Bereich mit einer giftigen CO2 Konzentration (grüne Wolke)

Personenstromsimulation

In der von der Firma SimPlan AG im Rahmen des iSiGG-Forschungsprojektes [1] entwickelten Personenstromsimulation werden Menschen als Punkte betrachtet, welche sich in einem zweidimensionalen (optional auch dreidimensionalen) Raum bewegen können. Gelenkt werden diese Bewegungen durch anziehende und abstoßende Kräfte. Eine sehr hohe Temperatur stößt beispielsweise ab, ein Notausgang zieht an. Das giftige, aber geruchlose CO2 ist für die Personen nicht zu erkennen. Wände und andere Menschen stellen Hindernisse dar, welche die Bewegung einschränken. Entsprechende Gewichtungsfaktoren können individuell eingestellt werden. In den gezeigten Daten wurde zur Demonstrationszwecken lediglich eine Basiseinstellung verwendet.

Kopplung

Das Volumen der Disco wird in der Personenstromsimulation durch Würfel mit 1 m Kantenlänge diskretisiert, welche „Voxel“ genannt werden. Dieses Voxelnetz ist deutlich gröber als das Netz der Strömungssimulation. Zur Übertragung werden die Temperatur- und CO2-Werte aus der Strömungssimulation daher innerhalb der einzelnen Voxelvolumen gemittelt, entsprechend formatiert und an die Personenstromsimulation übergeben. Diese ermittelt aus den Voxel-daten für ihr 2D Feld einen „Brustwert“ auf 1,2 m Höhe.

Ergebnisse

Phase 1: Besucher befüllen die Disco

Beim Start der Personenstromsimulation strömen die Besucher über den Haupteingang in die Disco und verteilen sich im Raum. Ein Teil der Menschen sammelt sich vor der sie anziehenden Bühne, vgl. Abb. 3. Nach dem Befüllen befinden sich 460 Personen im Gebäude.

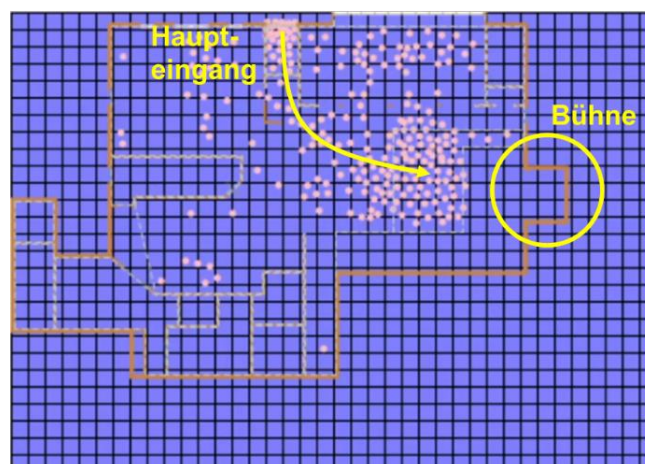


Abb. 3: Befüllung der Disco: Besucher strömen vom Haupteingang zur Bühne

Phase 2: Ausbruch des Brandes und Evakuierung

Nun bricht der Brand im Bühnenbereich aus, wodurch dort die Temperatur und die CO₂-Konzentration steigen, vgl. Abb. 4. Die Bühne bildet nun keinen anziehenden, sondern einen aufgrund der hohen Temperaturen abstoßenden Bereich. Umgekehrt ziehen die drei geöffneten Fluchttüren an.

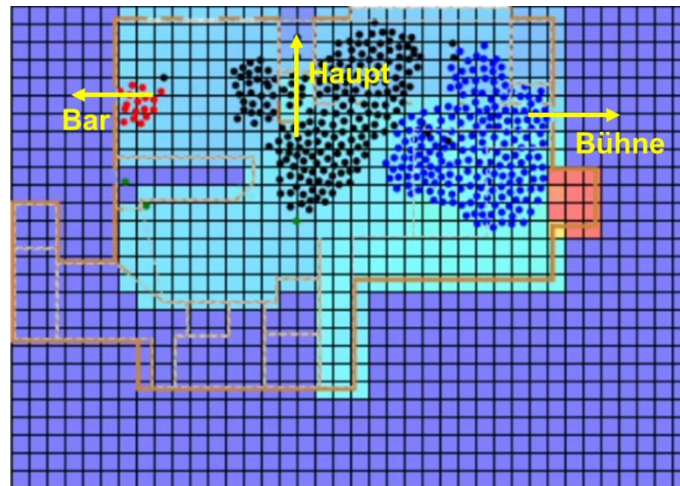


Abb. 4: Brand im Bühnenbereich (rechts). Besucher flüchten durch drei Ausgänge

Hierauf reagieren die Personen. Die Farbe der Personenpunkte in Abb. 4 zeigt an, welcher Ausgang von der Person angestrebt wird: Die Bartür (rot), der Haupteingang (schwarz) oder die Bühnentür in blau.

Aufgrund der hohen Anzahl an Flüchtenden blockieren diese Bereiche, wie es in Abb. 5 zu erkennen ist. Mit den im Personenstrommodell implementierten Gewichtungsfaktoren ist die Anziehungskraft des Notausgangs sogar so stark, dass die Besucher auch bei sehr hohen Temperaturen nicht zu einem anderen Ausgang flüchten. Sie sterben in diesen Ergebnissen also wie eingezeichnet vor der Bühnentür.

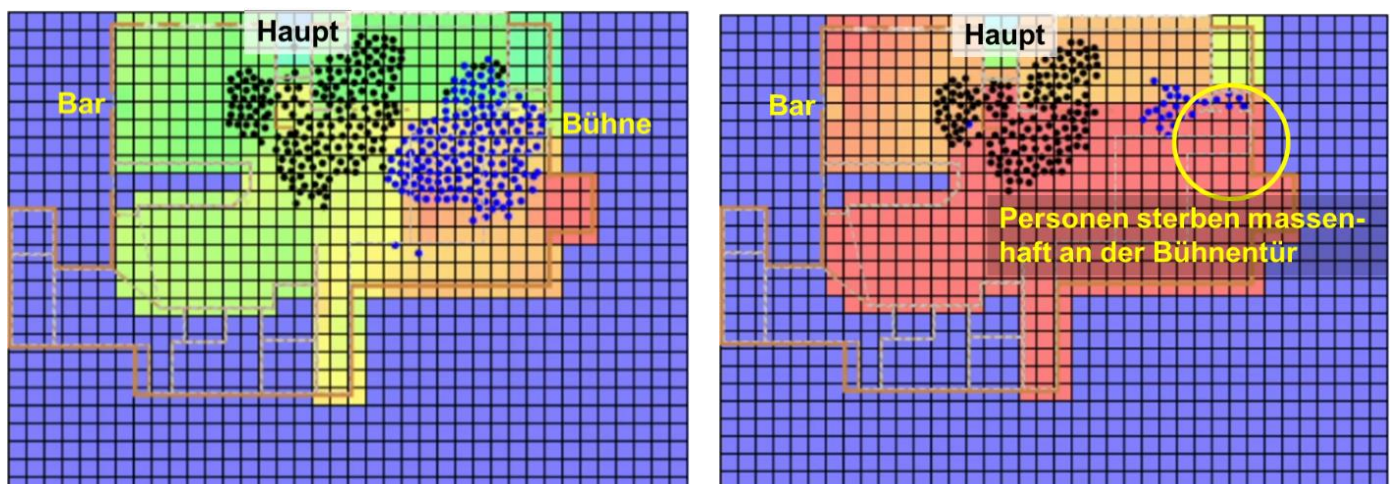


Abb. 5: Entstehen einer "Todesfalle" an der rechten Bühnentür (blaue Personen)

Im weiteren Verlauf der Simulation, vgl. Abb. 6, breitet sich die Hitze immer weiter in der Disco aus. Nun kommt es auch im Bereich des Haupteingangs zu einer hohen Opferzahl.

Nach Ablauf der Simulation konnten sich nur 283 der ursprünglichen 460 Besucher retten. Hauptverantwortlich hierfür ist die „Todesfalle“ vor der Bühnentür. Eine Repositionierung dieser Tür könnte dieses Problem entschärfen.

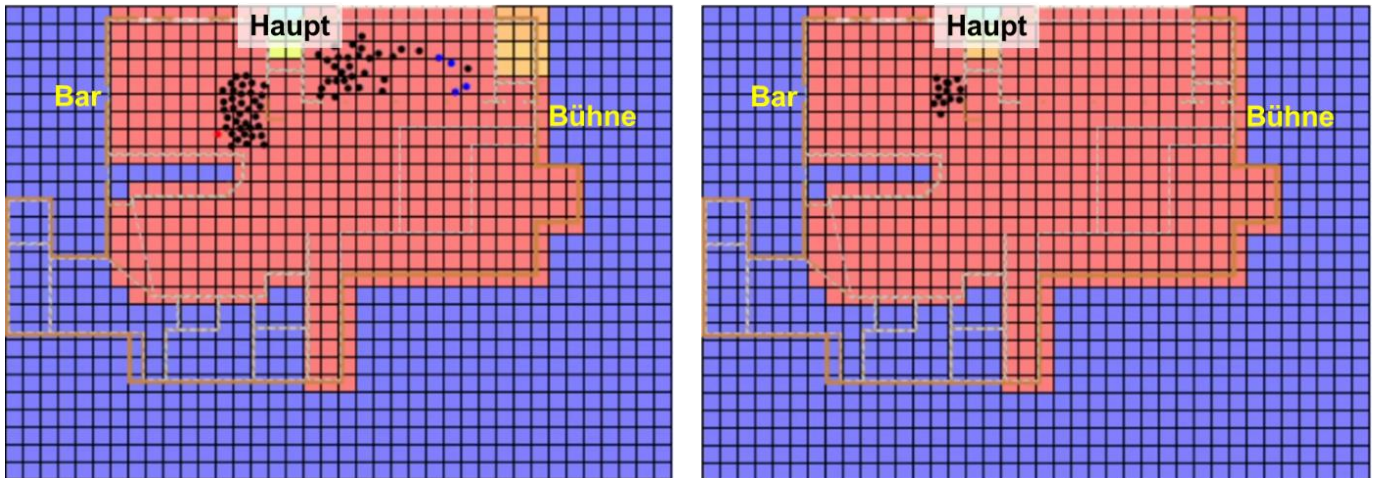


Abb. 6: Die starke Hitze hat die gesamte Disco erfasst, auch im Bereich des Haupteingangs kommt es zu hohen Todeszahlen

Zusammenfassung

Obwohl im Rahmen dieser Demonstration für die Personenstromsimulation lediglich eine Basiseinstellung verwendet wurde, konnte die Lauffähigkeit des gekoppelten Simulationsansatzes aus Strömungs- und Personenstromsimulation gezeigt werden. Mit diesem Ansatz lässt sich das Evakuierungsverhalten eines Gebäudes unter einer realistischen Ausbreitung von Hitze und Rauchgasen beurteilen. Mögliche Verbesserungsmaßnahmen, wie die Repositionierung von Notausgängen oder eine Veränderung der Gebäudegeometrie können hierdurch bezüglich ihrer Wirksamkeit bewertet werden.

Zum Autor



Thomas Kächele (Jahrgang 1986) studierte an der Universität Stuttgart Luft- und Raumfahrttechnik. Anschließend promovierte er an der Universität der Bundeswehr München zum Thema numerische Strömungssimulation an Flugzeugtriebwerken. Seit 2019 ist er Teil des induSim Teams und führt neben Simulationsdienstleistungen im Bereich FEM und CFD auch Weiterbildungen zu diversen Simulationsthemen durch.

Referenzen

- [1] iSiGG – ein dynamisches, interaktives Simulationssystem für Feuer-, Rauch- und Schadstoffausbreitung in Gebäuden bei Interaktion mit Personen. <http://isigg.eu/home.html> abgerufen am 02.11.20
- [2] Mehr Informationen zu scFLOW unter <https://www.cradle-cfd.com/technology/>

induSim GmbH

Benzstraße 15
89129 Langenau

Tel: +49 7345 / 929287-0
Fax: +49 7345 / 929287-50
Mail: info@indusim.de



Ein Unternehmen der SimPlan Gruppe
www.SimPlan.de