

Bachelorarbeit 2024

Studiengang Systemtechnik

Simulation of multi-group pedestrian flow

Diplomand
Robin Jesse Schwarz

Dozenten
Dr. Matthias Schmid
David Bernhardsgrütter

Institut / Zentrum
Institute of
Computational Physics

Partner
HTWG Konstanz

Einleitung

Evakuierungsszenarien vorab zu simulieren, ist ein wichtiges Werkzeug, um Gefahrensituationen in Gebäuden und Grossveranstaltungen frühzeitig erkennen zu können. Zudem stieg während der Covid-19-Pandemie der Bedarf nach einem Werkzeug zur Simulation von Infektionsausbreitungen in Menschenmengen an. Dies führte zur Entwicklung einer Simulationssoftware namens eFlow, welche ein makroskopisches Fussgängermodell mit einem epidemiologischen Modell koppelt. Im Zuge dieser Arbeit erweitern wir das bestehende Modell, sodass mehrere Gruppen mit unterschiedlichen Parametern gleichzeitig simuliert werden können.

Methode

Wir nehmen die Fussgänger als kontinuierliche Dichte an. Da keine Fussgänger aus dem Nichts erscheinen oder verschwinden können, führt dies zu einer Massenerhaltung, welche durch die Kontinuitätsgleichung definiert ist (Gleichung 1). Um den Weg mit der kürzesten Zeit durch eine Menschenmasse zu finden, benutzen wir die regularisierte Eikonalgleichung, welche wir in eine Helmholtzgleichung transformieren (Gleichung 2). Um mehrere Gruppen gleichzeitig simulieren zu können, formulieren wir eine Kontinuitätsgleichung und Helmholtzgleichung für jede Gruppe einzeln

$$\frac{\partial \varrho_k}{\partial t} - \varepsilon \Delta \varrho_k + \nabla \cdot (\varrho_k \mathbf{u}_k) = 0 \quad (1)$$

$$-\delta^2 \Delta \Psi_k + \frac{1}{f_k^2(\varrho_\varepsilon)} \Psi_k = 0 \quad (2)$$

wobei wir das Geschwindigkeitsfeld durch Gleichung 3 definieren.

$$\mathbf{u}_k = f_k(\varrho_\varepsilon) \frac{\nabla \Psi_k}{\|\nabla \Psi_k\|} \quad (3)$$

Das Geschwindigkeitsfeld definiert die Richtung mit der geringsten Zeit zum Ausgang und durch das Fundamentaldiagramm $f_k(\varrho_\varepsilon)$ wird die Geschwindigkeit der Fussgängergruppe in Abhängigkeit zur vorherrschenden Menshendichte definiert (vgl. Figur 3). Durch verschiedene Fundamentaldiagramme können wir unterschiedliche Dynamiken für verschiedene Gruppen an Fussgängern definieren. Die Untergruppen werden durch die Gesamtdichte gekoppelt

$$\varrho_\varepsilon = \sum_{k=1}^n \varrho_k. \quad (4)$$

Für $k = 1, \dots, n$, wobei n für die Anzahl Untergruppen steht. Durch den im Handbuch beschriebenen Prozess [2] kann ein PDF in eine Domain für die Simulation konvertiert werden (vgl. Figur 1). In dieser kann anschliessend eine Evakuierung mit dem beschriebenen Modell gerechnet werden (vgl. Figur 2).

Schlussfolgerung

Im Vergleich zum ursprünglichen Modell erlauben die Erweiterungen neue und komplexere Situationen zu beschreiben. Man kann beispielsweise simulieren, wie eine Gruppe eine andere überholt oder wie sich zwei Gruppen kreuzen. Als Proof of Concept wurden ausgewählte Situationen analysiert und auf Plausibilität geprüft. Es bietet die Grundlage, um in Zukunft Fussgängerströme und Infektionsausbreitungen in Menschenmengen besser vorherzusagen und detaillierter zu verstehen. [1]

Resultate

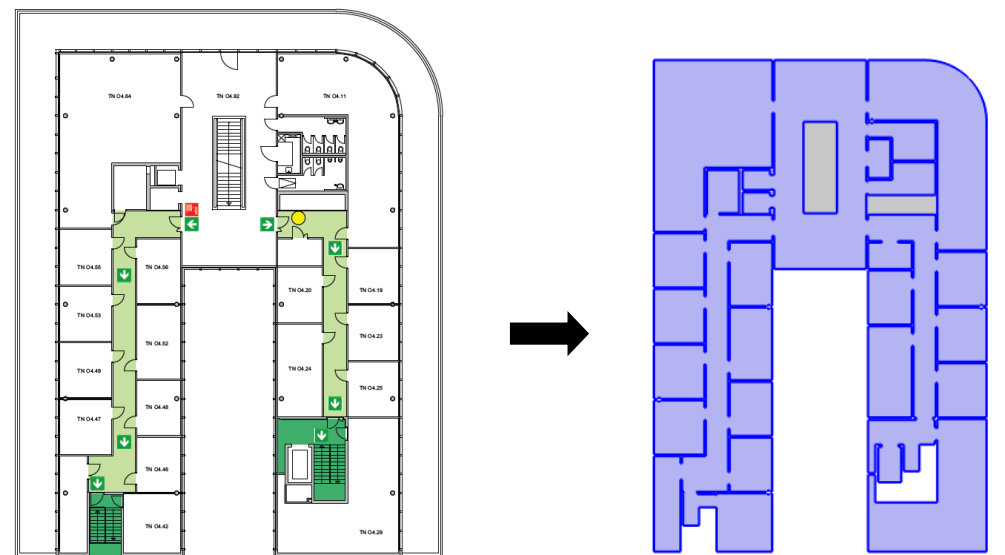


Figure 1: Konvertierung von PDF zu Geometrie [2]

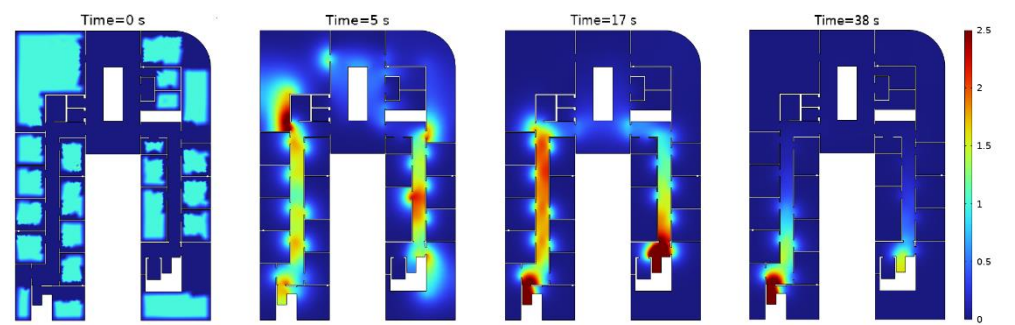


Figure 2: Personendichten einer heterogenen Gruppe zu verschiedenen Zeitpunkten während einer Evakuierung im ZHAW Gebäude TN im 4.OG [1]

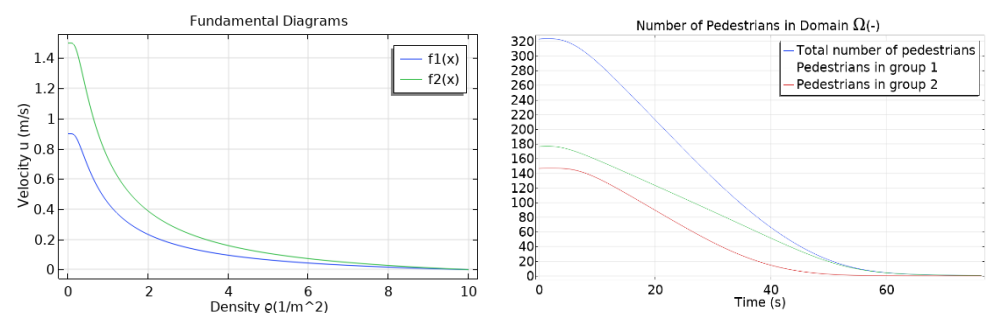


Figure 3: Fundamentaldiagramme für beide Untergruppen (links) und Anzahl Fussgänger Total und in jeder Untergruppe (rechts). Das Stockwerk ist nach 75 s vollständig evakuiert.

Quellen

- [1] R. J. Schwarz, 'Simulation of multi-group pedestrian flow', B.S. thesis, ICP, Zurich University of Applied Sciences, Winterthur, 2024.
- [2] R. J. Schwarz, 'Simulation of multi-group pedestrian flow: Manual for building a simulation from a PDF using AutoCAD and COMSOL', B.S. thesis, ICP, Zurich University of Applied Sciences, Winterthur, 2024.