

# Mehr Sicherheit für Fußgänger

## SIMULATIONEN DER FUSSGÄNGERDYNAMIK

### ERMÖGLICHEN SICHERE EVAKUIERUNGEN

Um Fußgängerverkehr und Evakuierungen durch gezielte bauliche und organisatorische Maßnahmen möglichst sicher gestalten zu können, werden die Phänomene der Fußgängerdynamik mit Hilfe eines speziellen Simulationsprogramms abgebildet. Wissenschaftler des Instituts für Bauinformatik erklären, wie diese Simulationen verwendet werden können, um Bewegungsmuster zu beurteilen und Evakuierungsabläufe zu bewerten.

#### Motivation

Täglich nehmen wir alle als Fußgänger am Verkehrsgeschehen teil und kennen die Situationen, bei denen wir entgegenkommenden Personen ausweichen oder vorausgehenden Personen für einen kurzen Zeitraum bewusst folgen. Jeder hat schon mal die Situation in einem Bahnhofsgebäude mit relativ geringer Personendichte erlebt, bei der alle ungehindert mit der jeweiligen Wunschgeschwindigkeit das jeweilige Ziel anstreben. Erhöht sich jedoch durch die gleichzeitige Ankunft von mehreren Personenzügen die Personendichte, so können sich die Personen nicht mehr ungehindert fortbewegen und es kommt gegebenenfalls zu Stockungen und Stauungen.

Im Falle von erhöhten Personendichten stellen sich die Fragen, ob die Personmengen sicher das jeweilige Ziel erreichen können, ob nennenswerte Verzögerungen beim Erreichen des jeweiligen Ziels auftreten und ob durch bauliche oder organisatorische Maßnahmen der Verkehrsfluss erhöht werden kann. Darüber hinaus ist in Notfallsituationen der Aspekt einer sicheren Evakuierung von besonderer Bedeutung. Diese Fragen sind nur sehr eingeschränkt durch Verkehrsbeobachtungen und Messungen vor Ort zu beantworten. Insbesondere rech-



nergestützte Simulationen der Fußgängerdynamik bieten sich als Problemlösung an.

Am Institut für Bauinformatik werden seit mehreren Jahren die theoretischen Grundlagen für rechnergestützte Simulationen der Fußgänger- und Evakuierungsdynamik untersucht und innerhalb des Simulationswerkzeugs JWalkerS softwaretechnisch umgesetzt. Die Fußgängersimulationen werden verwendet, um Bewegungsmuster und Evakuierungsabläufe in Gebäuden, Bahnen, Flugzeugen oder Schiffen vorherzusagen und daraufhin die Flucht- und Rettungswege zu beurteilen und zu bemessen.

#### Phänomenologie der Fußgänger- und Evakuierungsdynamik

Die Dynamik von Fußgängerbewegungen und Evakuierungen beinhaltet ein breites Spektrum von individuellen und kollektiven, qualitativen und quantitativen Eigenschaften, die bei einer rechnergestützten Modellierung zu berücksichtigen sind. Qualitative Eigenschaften sind kontextbezogene Bewegungsmuster und Phänomene, die üblicherweise durch Beobachtung ermittelt werden können. Quantitative Eigenschaften sind messbar und nicht kontextbezogen. Es handelt sich um zahlenmäßige Ausprägungen eines oder mehrerer Fußgängermerkmale, zum Beispiel die Geschwindigkeit eines Fußgängers oder

die Fußgängerdichte in einem Verkehrsbereich.

**Individuelle Eigenschaften**

Die wesentlichen individuellen Eigenschaften von Fußgängern können wie folgt zusammengefasst werden:

■ **Geschwindigkeit:** Ein Fußgänger hat das Bestreben, seine aktuelle Geschwindigkeit an seine gewünschte

■ **Abstandhalten:** Fußgänger halten gegenüber Wänden und Hindernissen sowie zu anderen Fußgängern einen Mindestabstand ein, um sich möglichst komfortabel und konfliktfrei zu bewegen. Die Größe des Abstands hängt von der Umgebung, der Fußgängergeschwindigkeit und der Art und Beschaffenheit der Hindernisse ab.

■ **Räumliche Orientierung:** Die räumliche Orientierung

tenwissen, Wegmarkenwissen und Routenwissen unterscheiden. Mit Kartenwissen kennt ein Fußgänger die Zusammenhänge und Entfernungen seiner räumlichen Umgebung und damit ungefähr die Richtung zu seinem Ziel. Mit Wegmarkenwissen erinnert sich ein Fußgänger an einzelne markante Objekte entlang eines Weges, allerdings nicht an deren sequentielle Ordnung. Sind markante Objekte und gleichzeitig deren sequentielle Ordnung bekannt, so spricht man von Routenwissen.



Falls ein Fußgänger mehrere Wege zu seinem Ziel kennt, betrachtet er deren Eigenschaften und entscheidet sich für eine Möglichkeit nach bestimmten statischen und dynamischen Kriterien. Generell möchte er möglichst schnell, komfortabel und gefahrlos zu seinem Ziel gelangen.

**Kollektive Bewegungsmuster**

Bei dichtem bidirektionalen Fußgängerverkehr kann das Phänomen der Bahnenbildung (Bild 1) beobachtet werden. Eine Bahn ist dadurch gekennzeichnet, dass sich Fußgänger hintereinander in eine Richtung bewegen, um so anderen entgegenkommenden Personen weniger ausweichen zu müssen. Hierfür passt der Fußgänger seine individuelle Geschwindigkeit an die

Geschwindigkeit anzupassen. Dabei wird er durch andere Fußgänger und Hindernisse beeinflusst: Falls er keinen ausreichenden Platz zur Fortbewegung hat, muss er abbremsen und damit von seiner gewünschten Geschwindigkeit abweichen.

umfasst die kognitive Fähigkeit, sich als Person real oder mental im Raum zurechtzufinden und sich somit einen persönlichen Weg nach bestimmten Kriterien zu suchen oder zu wählen. Grundlage dieses Vorgangs ist ein persönliches Raumwissen, welches

■ **Platzbedarf:** Ein Fußgänger benötigt Platz für seinen ruhenden Körper und die Bewegungen seiner Arme und Beine. Im Ruhezustand umfasst der Platzbedarf den Kopf, den Rumpf, die Füße, die Kleidung und die nicht ausfüllbaren Zwischenräume; im dynamischen Zustand kommen zusätzlich der Raum für die Schritte und die seitlichen Schwankungen hinzu.

vor allem durch Bewegung im Raum oder durch Kommunikation erlangt wird.

Bei der mentalen Orientierung im Raum wird zwischen Kar-

Geschwindigkeit der Personen in der gleichen Bahn an, wobei diese Geschwindigkeit deutlich von der persönlichen Wunschgeschwindigkeit abweichen kann.



Bild 1  
Bahnhofsgebäude: Realität (links) und Simulation (rechts) der Fußgängerdynamik

Bild 2  
Platzbedarf in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

### Soziale-Kräfte-Modell

Um die Fußgänger- und Evakuierungsdynamik simulieren zu können, sind sowohl die individuelle räumliche Orientierung als auch die dynamischen Interaktionen mit Fußgängern und Hindernissen rechnerisch zu modellieren. Hierfür wurde am Institut für Bauinformatik ein erweitertes Soziale-Kräfte-Modell entwickelt. Das klassische Soziale-Kräfte-Modell [1] basiert auf der Theorie, dass das individuelle Verhalten durch soziale Impulse in der Umgebung beeinflusst wird. Demnach wird

Bild 3 (links)  
Simulation der Evakuierung einer Veranstaltungshalle: Darstellung der aktuellen Personenpositionen

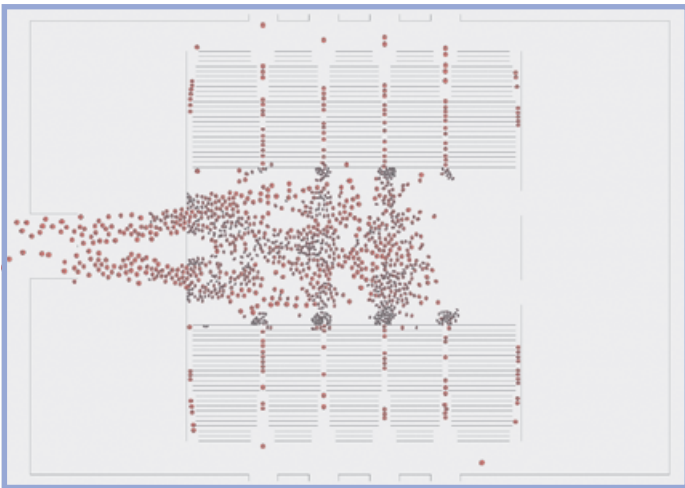


Bild 4 (rechts)  
Simulation der Evakuierung einer Veranstaltungshalle: Darstellung der durchschnittlichen Personendichte. Dunkelrot zeigt eine hohe, hellrote eine geringe Personendichte.

die temporäre Beschleunigung eines Fußgängers von seinem angestrebten räumlichen Ziel durch andere Fußgänger und Hindernisse beeinflusst.

Helbing und Molnár [1] haben das Soziale-Kräfte-Modell als ein mikroskopisches, raumkontinuierliches Bewegungsmodell entwickelt. Grundlage dieses Modells ist die Anpassung der Beschleunigungsgleichung der Kinematik durch Einflüsse aus der Umgebung auf ein Individuum [3]. Von Höcker [4] wurden modifizierte Ansätze für die einzelnen Einflüsse entwickelt, um die Dynamik der Fußgänger und der Evakuierung realistisch abbilden zu können. Weiterhin

wurde das Soziale-Kräfte-Modell mit einer graphenbasierten Wegealgebra verknüpft, um die zielgerichtete Navigation in Räumen mit komplexen Grundrissen zu ermöglichen.

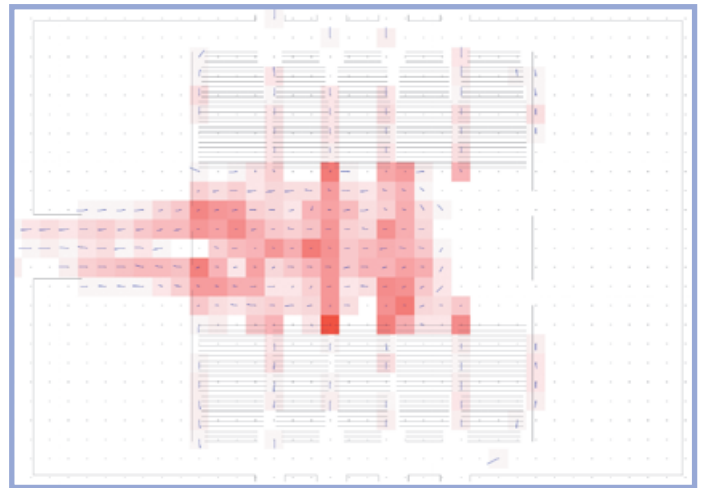
### Simulationsplattform JWalkerS

Die entwickelten Modelle und Algorithmen wurden innerhalb der JWalkerS Simulationsplattform für Fußgänger- und Evakuierungsdynamik softwaretechnisch umgesetzt. Die Java-basierte Plattform wurde am Institut für Bauin-

Aufenthaltsflächen dargestellt. Als Zwischenergebnis sind in diesem Bild die Positionen der zu evakuierenden Personen gezeigt. Die Größe der einzelnen Personendarstellungen hängt von dem jeweiligen Platzbedarf und somit von der jeweiligen Geschwindigkeit der Personen ab. In Bild 4 sind die durchschnittlichen Personendichten (Personen pro Einheitsfläche) dargestellt.

### Weitere Forschungsperspektive

Im Rahmen des NTH-Top-Down-Projektverbundes



formatik entwickelt und basiert ursprünglich auf Arbeiten von Rose [2]. Auf Grundlage dieser Simulationsplattform ist es möglich, für Alltags- und Gefahrensituationen die Verkehrswege für Fußgänger hinsichtlich Zeitbedarf, Sicherheit und Komfort zu optimieren.

### Anwendungsszenario

Als exemplarisches Anwendungsszenario wird eine Veranstaltungshalle ausgewählt, bei der Personen aus dem Innenraum zu evakuieren sind. In Bild 3 sind das innere Hallengebäude mit Innenraum (Spielfeld) und Tribünen sowie das äußere Hallengebäude mit

„Strategien und Methoden des Life-Cycle-Engineerings für Ingenieurbauwerke und Gebäude“ wird das Evakuierungsverhalten von Personen im Brandfall simuliert, um die Brandschutzmaßnahmen auf Personensicherheit zu validieren. Die Simulationen werden für repräsentative Brandszenarien unter Berücksichtigung der Degradation der Materialien und der Tragstrukturen durchgeführt. Weiterhin werden Konzepte für nutzungsspezifische Evakuierungsmaßnahmen unter Berücksichtigung innovativer Sensorentechnik im Gebäude sowie individuell identifizierter Parameter der Personen entwickelt.



Gruppenbild  
 Vorne: Wassim Abu Abed, Volker Berkhahn (von links nach rechts)  
 Hinten: Mario Höcker, Peter Milbradt, Nils Rinke (von links nach rechts)

## Literatur

- [1] Helbing D., Molnár P. [1995]: Social Force Model for Pedestrian Dynamics, *Physical Review E* 51, 4282–4286.
- [2] Rose M. [2000]: Bemessungsgrundlagen für Fußgängerverkehrsanlagen, *BAST-Bericht FE 77.452/2000*.
- [3] Höcker M., Milbradt P., Seyfried A. [2009]: Simulation of Pedestrian Dynamics and Model Adjustments: A Reality-Based Approach. In: *Proceedings of the Conference on Traffic and Granular Flow (TGF)*, Shanghai University, Shanghai.
- [4] Höcker M. [2010]: Modellierung und Simulation von Fußgängerverkehr, Entwicklung mathematischer Ansätze für Soziale-Kräfte und Navigationsgraphen, Dissertation, Shaker Verlag, Aachen.

## Bildnachweis:

Alle Abbildungen stammen aus dem Institut für Bauinformatik der Leibniz Universität Hannover.

### PD Dr.-Ing. habil.

#### Volker Berkhahn

Jahrgang 1958, ist seit 2004 kommissarischer Leiter des Instituts für Bauinformatik an der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der numerischen Simulation, der Geometrischen Modellierung und der Prozessmodellierung. Kontakt: [berkhahn@bauinf.uni-hannover.de](mailto:berkhahn@bauinf.uni-hannover.de)

### PD Dr.-Ing. habil. Peter Milbradt

Jahrgang 1963, Alumnus der Leibniz Universität Hannover, ist Geschäftsführer der smile consult GmbH (Hannover) und seit 2001 Lehrbeauftragter am Institut für Bauinformatik an der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte liegen in der numerischen Simulation und der Modellbildung mit besonderem Fokus auf hydrodynamische Systeme. Kontakt: [milbradt@smileconsult.de](mailto:milbradt@smileconsult.de)

### Dr.-Ing. Mario Höcker

Jahrgang 1977, hat am Institut für Bauinformatik an der Leibniz Universität Hannover promoviert und ist seit Juni 2010 Mitarbeiter der HaCon Ingenieurgesellschaft mbH (Hannover). Er erforscht und entwickelt seit mehreren Jahren neue Methoden zur Modellierung und Simulation von Fußgängerverkehr. Bei HaCon ar-

beitet er als Berater für Fahrplankonstruktions- und managementsysteme. Kontakt: [mario.hoecker@hacon.de](mailto:mario.hoecker@hacon.de)

### Dr.-Ing. M. Sc.

#### Wassim Abu Abed

Jahrgang 1978, ist seit 2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bauinformatik an der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Modellierung von Systemen unter Berücksichtigung von Unschärfe und Unsicherheit. Kontakt: [abuabed@bauinf.uni-hannover.de](mailto:abuabed@bauinf.uni-hannover.de)

### Dipl.-Ing. Nils Rinke

Jahrgang 1984, ist seit 2009 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bauinformatik an der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Verkehrs- und Prozessmodellierung und der dynamischen Routenplanung. Kontakt: [rinke@bauinf.uni-hannover.de](mailto:rinke@bauinf.uni-hannover.de)