

# Mikroskopische Simulation von Evakuierungsprozessen

Tim Meyer-König, Duisburg

**Eine neu entwickelte Software gibt Betreibern und Entwerfern von Bauwerken, in denen große Personendichten auftreten, ein effizientes Hilfsmittel an die Hand. Es dient zur Simulation alltäglicher Abläufe und von Evakuierungen. Dabei können sowohl der Ist-Zustand als auch die Auswirkungen von Veränderungen untersucht werden, wodurch eine Optimierung möglich ist. In diesem Beitrag wird auf die geschichtliche Entwicklung der Grundlagen, auf das Modell und seine Anwendung im Vergleich zu praktischen Evakuierungstests eingegangen.**

**E**in typisches Charakteristikum moderner Gesellschaften ist das alltägliche Auftreten besonders großer Personenmassen auf kleinem Raum. Bürogebäude mit mehr als 3 500 Arbeitsplätzen gehören beispielsweise schon zum alltäglichen Leben.

Die mit steigender Personenzahl einhergehenden Anforderungen stellen die Entwerfer und Betreiber dieser Bauwerke vor immer größere Herausforderungen. Die bestehenden Aufgaben lassen sich dabei grob in zwei Bereiche einteilen:

- das Management der alltäglichen Prozesse, um Behinderungen und Wartezeiten für die teilnehmenden Fußgänger zu reduzieren und
- die Auslegung des Evakuierungskonzepts, um ein schnelles und gefahrloses Verlassen des Bauwerks im Ernstfall zu garantieren.

Die Optimierung der dargestellten Aufgaben ist ein logistisches Problem, dessen Komplexität durch das beschriebene Personenaufkommen ins Unermessliche zu wachsen scheint. Praxistests werden meist aus Kostengründen und zu hohem Verletzungsrisiko verworfen. Außerdem ist eine Analyse bereits im Entwurfsstadium gewünscht und nicht erst, wenn das Bauwerk fertiggestellt ist und Änderungen nur noch mit hohen Kosten realisiert werden können.

Auch die früher und teilweise noch heute herangezogenen Flussmodelle („hydraulische Modelle“), die auf der Abbildung von Personenströmen als Flüssigkei-

ten beruhen, versagen, da sie die zeitlich gestaffelten Abläufe, die durch die komplexen Geometrien der Bauwerke entstehen, nicht erfassen können. Außerdem ist ihre Anwendung sehr fehler- und zeitintensiv.

## Modell

Der Software PedGo liegt ein mikroskopisches Modell zugrunde, da die Bewegung jeder einzelnen Personen simuliert wird. Die Personen bezeichnet man dabei als

Agenten. Der Bewegungsalgorithmus, anhand dessen sich die Agenten orientieren und bewegen, ist einheitlich, also für alle gleich. Zu Beginn eines Zeitschritts bestimmt ein Agent seine Laufrichtung, um sein Ziel zu erreichen, läuft dann so weit wie möglich auf sein Ziel zu und weicht Hindernissen und anderen Personen aus. Jeder Agent hat jedoch seine eigenen Parameter (Fähigkeiten) und Ziele, wodurch sich die Bewegungen, wie in der Realität, teilweise sehr stark unterscheiden können.

Eine der maßgeblichen Fragen bei der Modellbildung ist es, die personenspezifischen Parameter festzulegen. Zurzeit macht es wenig Sinn, psychische Entscheidungsprozesse in das Modell einzubinden, da es diesbezüglich kaum geeignete quantitative Erkenntnisse gibt. Von „außen“ betrachtet, wird die Bewegung einer Person allerdings maßgeblich durch ihre Laufgeschwindigkeit und die Richtung charakterisiert. Daraus leiten sich die in PedGo

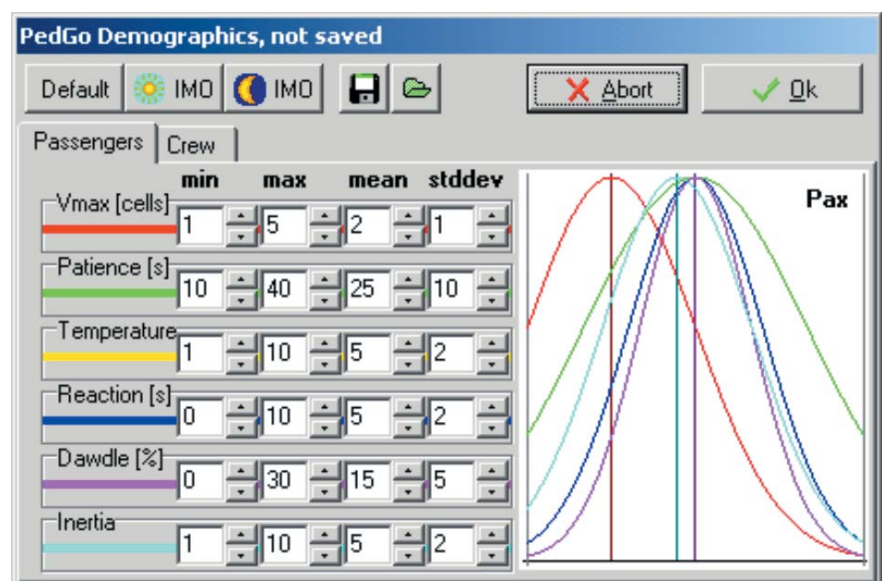


Bild 1 Eingabedialog für die Personenparameter.

verwendeten sechs Parameter pro Person ab (s. **Bild 1**).

Die wesentlichen Parameter für die Bewegung sind die Laufgeschwindigkeit, die angibt, wie weit eine Person pro Zeitschritt kommt, sowie die Trödelwahrscheinlichkeit. Sie beschreibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Person ihre Geschwindigkeit zufällig reduziert und erfasst damit alle statistischen Einflüsse, die nicht ausreichend quantifizierbar sind. Weiterhin entscheidend für den Ablauf einer Evakuierung ist die Reaktionszeit, welche die Personen brauchen, um auf das Signal zum Ver-

lassen des Gebäudes zu reagieren und die Geduld, welche die Zeit beschreibt, die eine Person im Stau still steht, bis sie ihre Geduld verliert und versucht, auf einer alternativen Route zu ihrem Ziel zu kommen. Die Parameter Temperatur und Trägheit beeinflussen die Bewegung im Detail und wirken sich darauf aus, wie gerichtet eine Person sich bewegt und wie sie auf ihr nahes Umfeld reagiert.

großer Bedeutung. Da die Rechengeschwindigkeit der Simulation ein entscheidendes Kriterium ist, wird der zu untersuchende Grundriss in PedGo diskretisiert und in ein Gitter aus quadratischen Zellen unterteilt (**Bild 2**). Hieraus ergeben sich Zellen die nicht begehbar sind und somit Wände und Einrichtungsgegenstände repräsentieren. Andere sind zugänglich und repräsentieren neben freien Zellen auch Treppen und Türen. Eine Zelle kann dabei von maximal einem Agenten betreten werden und hat eine Kantenlänge von 40 cm. Die daraus resultierende Standfläche ent-

dern sie sich gegenseitig und müssen ihre Geschwindigkeit dem verfügbaren Platz anpassen.

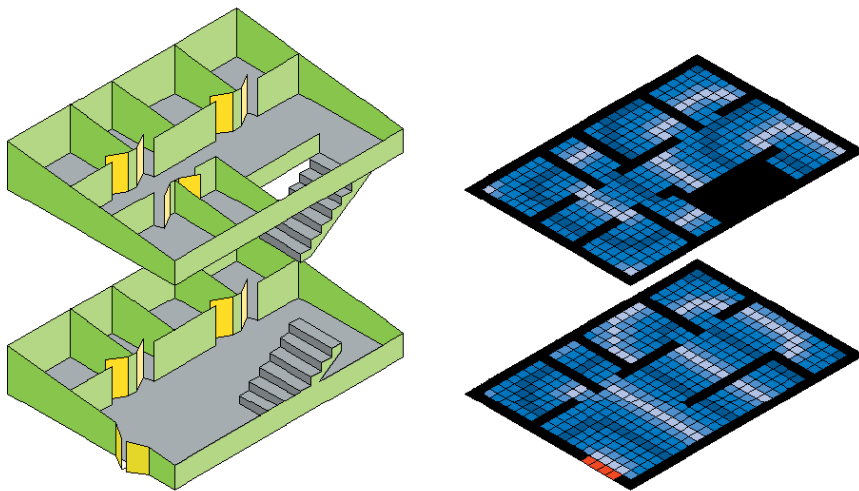
Zur Orientierung werden den Personen Routen anhand von Potenzialen zugewiesen. Das Potenzial ist dabei ein Wert jeder Zelle, der mit zunehmenden Abstand zum Ziel größer wird. Die Art, wie sich das Potenzial im Grundriss ausbreitet kann dabei vom Benutzer vorgegeben werden, so dass beliebige Routen zuweisbar sind.

### Software PedGo

Das beschriebene Modell wurde in der Software PedGo implementiert. Durch seinen einfachen Aufbau ist die Rechengeschwindigkeit des Programms extrem hoch. Die für eine statistische Analyse notwendigen Simulationsdurchläufe können daher in sehr kurzer Zeit berechnet werden (Beispiel: PC, 500 MHz Proz., 550 Personen, 425 mal schneller als die Realität).

Generell wird bei einer Evakuierungsanalyse zunächst eine große Anzahl von Durchläufen simuliert (Mittelwertrechnung, etwa 500 Durchläufe). Hieraus lassen sich statistische Daten wie die Verteilung der Evakuierungsdauer gewinnen (**Bild 3**) sowie Evakuierungskurven, welche die Anzahl der geretteten Personen gegenüber der Zeit auftragen und anhand derer sich der Evakuierungsprozess beurteilen lässt (**Bild 4**).

Anhand der Ergebnisse der Mittelwertrechnung können charakteristische Durchläufe (z. B. Mittelwert oder Maximalwert) gezielt wiederholt werden, um detaillierte Daten zu erhalten. Aus ihnen lassen sich einzelne Personen betreffende Aussagen ermitteln. So kann ermittelt werden, welche Person wo gestartet ist und wo sie gerettet wurde, wie lange sie gelaufen ist



**Bild 2** Der Grundriss (links) wird auf das Zellgitter diskretisiert (rechts) und die Route anhand des Potenzials markiert (Verlauf der blauen Farbe).

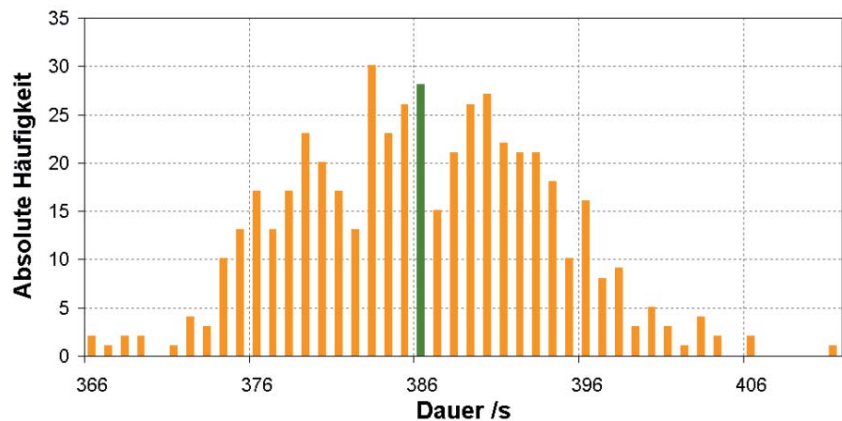
lassen des Gebäudes zu reagieren und die Geduld, welche die Zeit beschreibt, die eine Person im Stau still steht, bis sie ihre Geduld verliert und versucht, auf einer alternativen Route zu ihrem Ziel zu kommen. Die Parameter Temperatur und Trägheit beeinflussen die Bewegung im Detail und wirken sich darauf aus, wie gerichtet eine Person sich bewegt und wie sie auf ihr nahes Umfeld reagiert.

Zu Beginn einer jeden Simulation werden die Parameter gemäß der vorgegebenen Normalverteilung den Personen neu zugewiesen. Durch die Veränderung der Parameter lassen sich somit verschiedenste Populationen zusammensetzen und simulieren. Außerdem liefert jeder Simulationsdurchlauf ein anderes Ergebnis, da es sich jeweils um unterschiedliche Populationszusammensetzungen handelt. Das Ergebnis ist hierdurch und durch die stochastischen Entscheidungen der Agenten während der Simulation, statistisch verteilt.

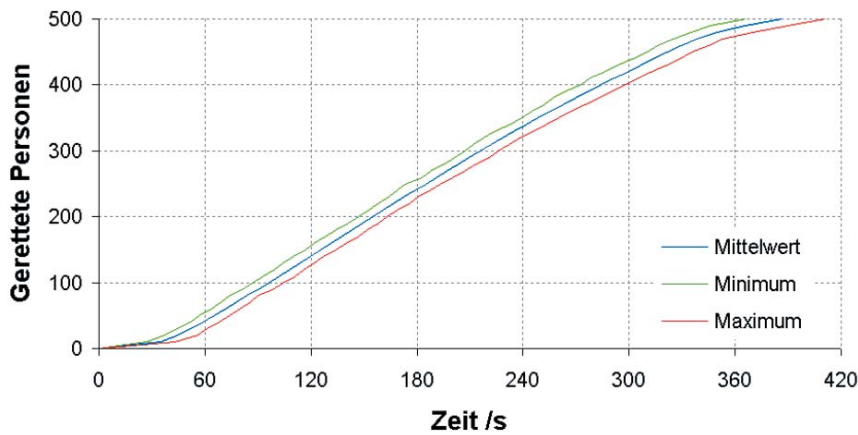
Neben den Bewegungsalgorithmen ist die Repräsentation des Grundrisses von

spricht der Fläche pro Person in einem Stau, bei dem die Bewegung zum Stillstand kommt.

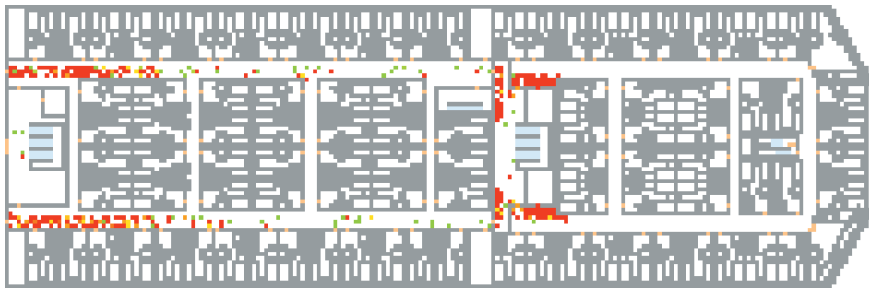
Im Laufe der Simulation springen die Agenten wie bei einem Schachspiel von Zelle zu Zelle auf ihr Ziel zu. Dabei behin-



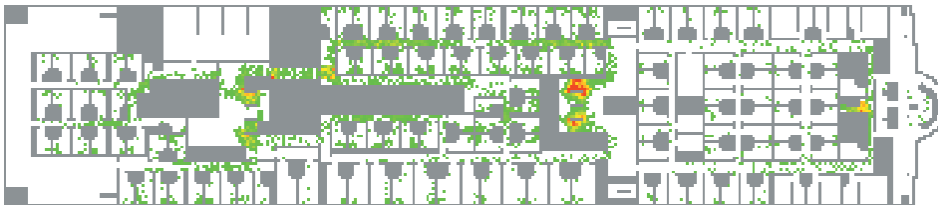
**Bild 3** Die Verteilung der Evakuierungsdauer nach 10 000 Simulationen.



**Bild 4** Die Evakuierungskurven geben Aufschluss darüber, wie viele Personen zu welcher Zeit gerettet sind. Aufgetragen sind in diesem Fall der Verlauf des Mittelwerts aus 10 000 Simulationen sowie der maximale und minimale Verlauf.



**Bild 5** Die Visualisierung färbt die Personen betreffend ihrer Laufgeschwindigkeit ein. Staus springen somit durch rote Flächen direkt ins Auge.



**Bild 6** Dichteplots geben eine nachträgliche Übersicht über die größten aufgetretenen Staus. Am Beispiel eines Fährschiffsdecks wird deutlich, dass auf dem mittleren Treppenhaus die größten Staus auftraten.

und welche Strecke sie dabei zurückgelegt hat. Daneben lassen sich Screenshots (**Bild 5**) und Animationen der einzelnen Durchläufe ausgeben sowie Dichteplots (**Bild 6**), die im Nachhinein Aufschluss darüber geben, an welchen Stellen die größten Staus auftraten.

Neben der Simulationssoftware wurde zum schnellen Aufbereiten von CAD-Zeichnungen der PedGo-Editor entwickelt. Er dient dazu, Grundrisse im dxf-Format zu importieren und auf das diskrete Gitter zu runden. Durch die Kopplung von Elementfarben an Eigenschaften können Türen und Treppen automatisch erkannt

und die betreffende Information den Zellen zugewiesen werden. Zahlen werden als Personenzahlen interpretiert, wodurch der Editor automatisch die betreffende Anzahl von Personen im entsprechenden Raum verteilt. Somit geschieht das Preprocessing stark automatisiert und es kann schnell mit der eigentlichen Analyse begonnen werden.

### Praxisvergleiche

Selbstverständlich machen Evakuierungssimulationen nur dann Sinn, wenn man sich auf die Realitätsnähe ihrer Ergebnisse verlassen kann. Das Problem bei der

Messung von Daten ist allerdings, dass reale Evakuierungen als Folge eines Unglücks meist nur schlecht und nicht objektiv dokumentiert sind, da sie auf den mündlichen Aussagen der Beteiligten beruhen.

Eine Alternative, die jedoch sehr geordnet verläuft, sind praktische Evakuierungstests. Die günstigeren Bedingungen können dabei problemlos durch ein Anpassen der Parameter berücksichtigt werden. Bei einer ausreichend großen Anzahl von Beteiligten sind Praxistests jedoch mit einem hohen Kostenaufwand verbunden und bergen das Risiko von Verletzungen.

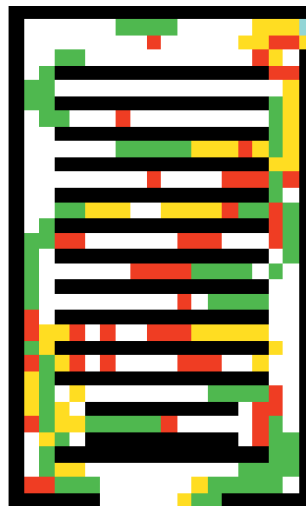
Trotzdem wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens *BYPASS* mehrere Tests durchgeführt, um die Simulation bewerten zu können. Einer davon fand mit 100 Teilnehmern in einem Multiplex-Kino in Duisburg statt. Dabei wurde der gesamte Ablauf mit fünf Kameras aufgezeichnet (**Bild 7**). Da jeder Teilnehmer individuell gekennzeichnet war, konnte exakt bestimmt werden, wer, von welcher Start-

### Geschichtliches

Als Folge des Untergangs der Fähre *Estonia* hatte die International Maritime Organization (IMO) eine neue Analysemethode vorgeschrieben, um Evakuierungskonzepte von Fähren mittels eines sog. hydraulischen Modells zu untersuchen. Wegen des hohen Zeitaufwands, den eine solche Analyse erfordert, und den generellen Unzulänglichkeiten des Ansatzes, wurde von den deutschen Werften, dem Germanischen Lloyd und dem Ministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen das vom bmb+f geförderte Forschungsvorhaben *BYPASS* an der Universität Duisburg ins Leben gerufen. Es hatte die Entwicklung eines Simulationsmodells sowie die Etablierung neuer IMO-Richtlinien zum Ziel. Inzwischen nähert sich *BYPASS* seinem erfolgreichen Ende. Seit Juni diesen Jahres können die für Fähren international vorgeschriebenen Evakuierungsanalysen mit Hilfe einer Evakuierungssimulation schnell und realitätsnah durchgeführt werden. Das innerhalb des Vorhabens entwickelte Modell wurde von der vor einem Jahr gegründeten TraffGo GmbH in die Software PedGo implementiert.



**Bild 7** Kinevakuierung als Praxistest (links) und ein Screenshot der äquivalenten Simulation (rechts).



tiert. Vor allem die Anwendung auf alltäglicher Abläufe verspricht dabei ein hohes Optimierungspotenzial. TÜ 339



Dipl.-Ing. **Tim Meyer-König** ist Geschäftsführer der TraffGo GmbH, Duisburg.

position, wie lange zum Ausgang brauchte. Die Korrelation mit der Simulation war dabei beeindruckend hoch: Die Mittelwertrechnung sagte eine mittlere Evakuierungsdauer von 68 s voraus; der Praxistest bestätigte dies mit 66 s.

### Schlussbemerkungen

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass ein Simulationswerkzeug wie PedGo ein sehr effizientes Hilfsmittel darstellt, wenn es um die Analyse der Evakuierungsdauer

und das Aufzeigen von Engpässen geht. Aber auch zur Optimierung alltäglicher Abläufe wurde die Simulation bereits eingesetzt. So konnte Entwerfern mit Hilfe der Simulation die Gewissheit gegeben werden, dass die von ihnen ausgelegten Räume und Gänge ausreichend dimensioniert waren, um den späteren Ablauf des Tagesgeschäfts problemlos zu bewältigen.

Um den aktuellen Stand der Simulation zu garantieren, werden auch weiterhin die Erfahrungen und Forschungsergebnisse der Universität in die Software implementiert.

### Quellen im Internet

- Homepage der TraffGo GmbH: [www.traffgo.com](http://www.traffgo.com)
- Homepage der International Maritime Organization: [www.imo.org](http://www.imo.org)
- Homepage von BYPASS: [www.traffic.uni-duisburg.de/bypass](http://www.traffic.uni-duisburg.de/bypass)
- Homepage des Germanischen Lloyds: [www.germanlloyd.org](http://www.germanlloyd.org)



# Sicherheit

# nach Maß



Individuell und kurzfristig lieferbar:  
 Brandschutzklappen  
 Jalousieklappen  
 Lüftungsgitter  
 Stahltüren  
 Wetterschutzgitter

**Metallwarenfabrik Adolf Stadler GmbH**  
 Walder Straße 1-5 | 88605 Rast  
 Tel. [075 78] 92 14 - 0 | Fax [075 78] 92 14 - 32

## Deutscher Wasserstoff-Energietag

„Technik – Infrastruktur – Märkte“  
 12. - 14. November 2002, Zeche Zollverein, Essen









3-tägige Konferenz mit Exkursionen, Round Table und Tutorials

**Wasserstoffherstellung**  
 Speicherung und Transport  
 VES – Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie  
 Stationäre und mobile Brennstoffzellen  
 Verteilung, Sensorik, Sicherheit  
 Markteinführung, Finanzierung, Förderung

Veranstalter: Forum für Zukunftsenergien e.V.  
 in Zusammenarbeit mit: Landesinitiative Zukunftsenergien NRW  
 Info und Anmeldeunterlagen unter:  
 Freesen & Partner GmbH, Tel.: 02 11 - 68 78 58 - 0,  
 info@dh2e.de, www.dh2e.de