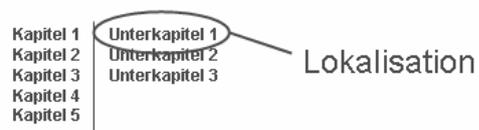


# Seminar Verkehrsinformatik

## Simulation von Panikverhalten von Gebäuden

Referent: Jörg Meister, [ms8295@fh-wedel.de](mailto:ms8295@fh-wedel.de)  
Fachhochschule Wedel



- 1 Einleitung
- 2 Selbstorganisationsphänomene in Fußgängermengen
- 3 Modellierungsansätze
- 4 Modellkonzeption auf Basis zellularer Automaten
- 5 Konklusion

## Kapitel 1: Einleitung

*Warum macht es überhaupt Sinn, sich mit Fußgängersimulationen auseinanderzusetzen?*

*Quellen: [3,8-10,19,24-26]*

Einleitung  
Selbstorganisationsphänomene  
Bisherige Modellansätze  
Modellkonzeption auf Basis ZA  
Konklusion

- Gebäude und Anlagen
  - Planung von Fluchtwegen (Anknüpfungspunkt an diese Arbeit),
  - Komfortsteigerung durch Optimierung der Ein-/Ausgänge.
- Nichtspielercharaktere in Computerspielen.

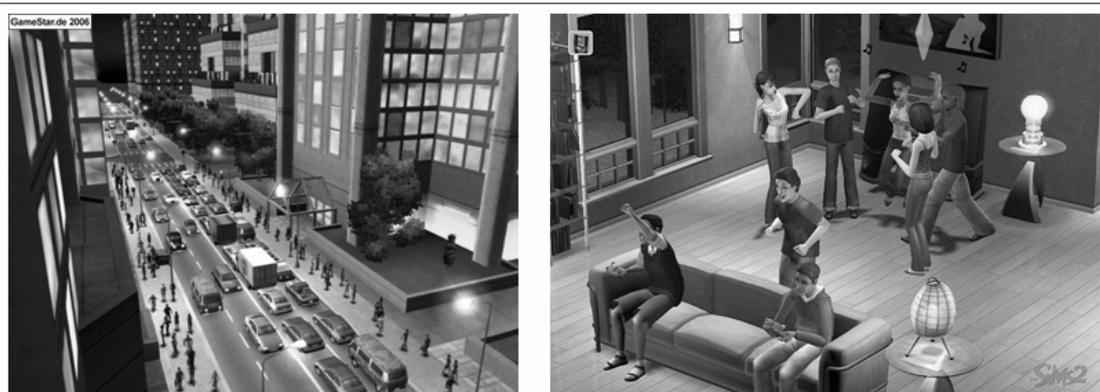


Abb. 1-1, Beispiele für Fußgängersimulationen in Computerspielen: City Life ([links](#)), Die Sims 2 ([rechts](#)) (aus [24] bzw. [25])

- Simulation großer Menschen-/Tiermengen in Filmen.



- In der Ausbildung bei Militär, Polizei u.v.m.

*Wie kommen wir eigentlich darauf, das Verhalten von Menschen nachempfinden zu können und was ist zu beachten?*

*Quellen: [5-11, 13, 15, 20, 22]*

## Kapitel 2: Selbstorganisationsphänomene

- Trotz der manchmal chaotisch anmutenden Erscheinungen gibt es gewisse Regelmäßigkeiten im Verhalten von Fußgängergruppen: Bewegungsmuster/Selbstorganisationsphänomene.
- Aber wie können diese entstehen, wo doch der Einzelne individuelle Präferenzen hat?
- Jeder tendiert zu gewissen Verhaltensweisen, diese werden automatisch ausgeführt.
- Unterscheidung in normales und Panikverhalten.
- Verhalten setzt sich aus psychologischen und physischen Prozessen zusammen

- Wdhlg.: Unterscheidung in normale vs. Paniksituationen und individuelle Verhaltenstendenzen vs. kollektive Bewegungsmuster.
  - Individuelle Verhaltenstendenzen in normalen Situationen
    - Routenwahl und Orientierung
    - Fortbewegungsgeschwindigkeit
    - Abstands- und Platzbedarf
  - Kollektive Bewegungsmuster in normalen Situationen
    - Segregation
    - Oszillation an Engstellen
  - Individuelle Verhaltenstendenzen in Paniksituationen
  - Kollektive Bewegungsmuster in Paniksituationen
    - Schneller-ist-langamer (Pfropfenbildung)

**Einleitung**  
Selbstorganisationsphänomene  
Bisherige Modellansätze  
Modellkonzeption auf Basis ZA  
Konklusion

**Einführung**  
Individuelle Verhaltenstendenzen in normalen Situationen  
Kollektive Bewegungsmuster in normalen Situationen  
Individuelle Verhaltenstendenzen in Paniksituationen  
Kollektive Bewegungsmuster in Paniksituationen



## Routenwahl und Orientierung

Seminar „Verkehrsinformatik“ • Jörg Meister • Thema „Simulation von Panikverhalten in Gebäuden“ • 03-07-2006

Slide 9

**Einleitung**  
Selbstorganisationsphänomene  
Bisherige Modellansätze  
Modellkonzeption auf Basis ZA  
Konklusion

**Einführung**  
Individuelle Verhaltenstendenzen in normalen Situationen  
Kollektive Bewegungsmuster in normalen Situationen  
Individuelle Verhaltenstendenzen in Paniksituationen  
Kollektive Bewegungsmuster in Paniksituationen

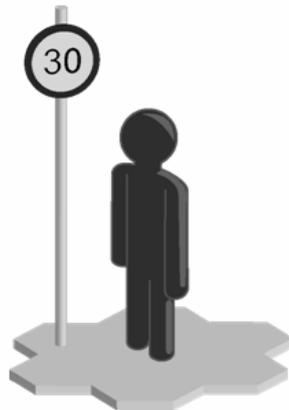
- Fußgänger suchen i.d.R. den kürzesten Weg.
- Stehen zwei gleichlange Wege zur Auswahl, wird derjenige gewählt, der länger geradeaus führt.
- Es spielen aber auch weitere Kriterien eine Rolle:
  - Beschaffenheit/Begehbarkeit des Bodens,
  - Tendenz, angelegten Wegen zu folgen. Aber:



Abb. 2-1, Ausbildung von Trampelpfaden (aus [13, p.9])

Seminar „Verkehrsinformatik“ • Jörg Meister • Thema „Simulation von Panikverhalten in Gebäuden“ • 03-07-2006

Slide 10

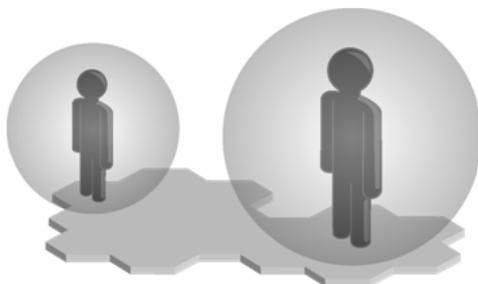


## Fortbewegungsgeschwindigkeit

- Fußgänger bewegen sich mit einer ihnen angenehmen Geschwindigkeit fort (Wunschgeschwindigkeit).
- angenehm = Energieverbrauch/km minimal.
- Geschwindigkeiten in Fußgängermengen sind normalverteilt um den Wert 1,34 m/s (4,83 km/h) mit einer Standardabweichung von 0,26 m/s.
- mittlere, optimale Geschwindigkeit wäre bei 1,39 m/s.
- Die Geschwindigkeiten von Männern (1,41 m/s) liegen um 10,9 % höher als die der Frauen (1,27 m/s).
- Auf Treppen kommt es zu einer Halbierung der Horizontalgeschwindigkeit.



- Individuelle Geschwindigkeit bestimmt durch intrinsische Merkmale: Alter, Geschlecht, Gesundheitszustand...
- Aufgrund extrinsischer Faktoren kann Wunschgeschwindigkeit häufig nicht erreicht werden:
  - zu hohe Verkehrsdichten,
  - ungünstige Beschaffenheit des Bodens,
  - Tageszeit, Witterung oder Länge des Weges.

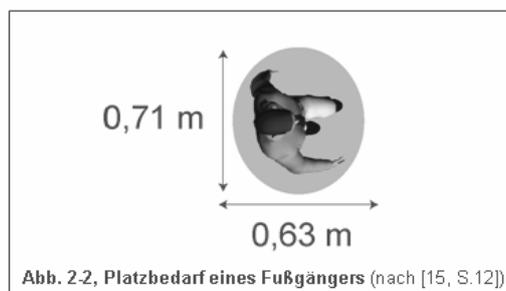


Abstands- und Platzbedarf

- Fußgänger halten, soweit möglich, Abstand zueinander und zu Wänden/Hindernissen (Territorialeffekt).
- Man unterscheidet in
  - statischen und
  - dynamischen Platzbedarf.
- Statischer Platzbedarf:
  - Bezieht sich auf den ruhenden Körper.
  - Projektion des Körperumrisses beträgt  $0,15 \text{ m}^2/\text{P}$ .
- Dynamischer Platzbedarf:
  - Beschreibt Platzbedarf in der Bewegung.
  - Ist größer als der statische, durch die Pendelbewegung der Beine und den benötigten Sicherheitsabstand.



- In Querrichtung Schwankungsbewegungen (Spur):  
 $0,71 \text{ m}$  in Ebene, auf Treppen  $0,6 \text{ m}$ .
- In Längsrichtung mit Geschwindigkeit wachsender Platzbedarf.
- Durchschnittliche Schrittlänge von  $0,63 \text{ m}$ .



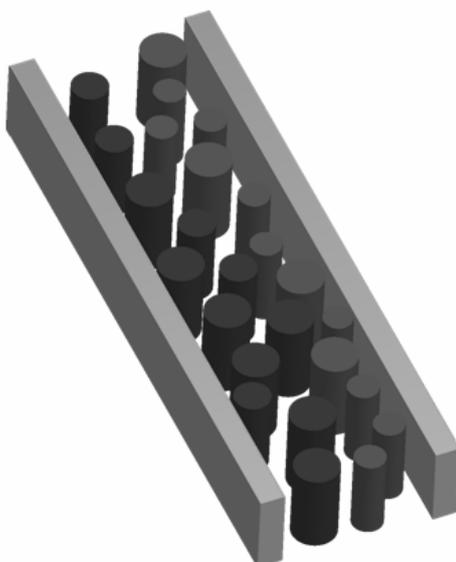
**Einleitung**  
Selbstorganisationsphänomene  
Bisherige Modellansätze  
Modellkonzeption auf Basis ZA  
Konklusion

**Einführung**  
Individuelle Verhaltenstendenzen in normalen Situationen  
Kollektive Bewegungsmuster in normalen Situationen  
Individuelle Verhaltenstendenzen in Paniksituationen  
Kollektive Bewegungsmuster in Paniksituationen

- ✓ Individuelle Verhaltenstendenzen in normalen Situationen
- Kollektive Bewegungsmuster in normalen Situationen
- Individuelle Verhaltenstendenzen in Paniksituationen
- Kollektive Bewegungsmuster in Paniksituationen

**Einleitung**  
Selbstorganisationsphänomene  
Bisherige Modellansätze  
Modellkonzeption auf Basis ZA  
Konklusion

**Einführung**  
Individuelle Verhaltenstendenzen in normalen Situationen  
Kollektive Bewegungsmuster in normalen Situationen  
Individuelle Verhaltenstendenzen in Paniksituationen  
Kollektive Bewegungsmuster in Paniksituationen



Segregation

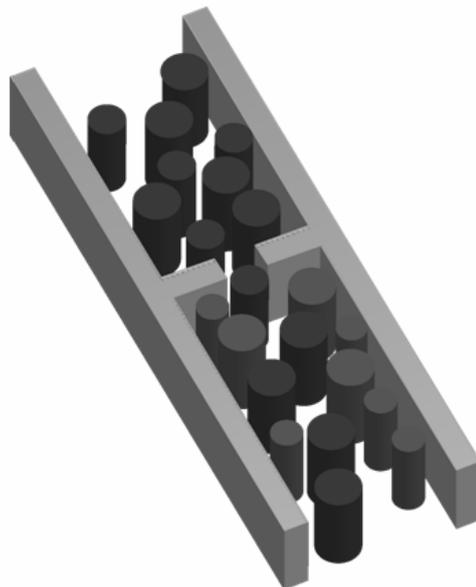
- Fußgänger mit entgegengesetzter Laufrichtung sind nicht gleichverteilt über den Gehweg/Korridor, sondern trennen sich in Bahnen gleicher Laufrichtung auf.
- Das Verhalten tritt automatisch auf, beruht nicht auf der Intention der Beteiligten/auf Absprache.
- Ziel: Minimierung der Interaktionen (Brems-/Ausweichmanöver), mittlere Geschwindigkeit steigt.
- Wie viele Bahnen es gibt, hängt von Breite und Länge des Wegs ab.
- Sog. fluktuationsinduzierte Ordnung: Mit steigender Fluktuation kommt es zu deutlicher Segregation (= geringere # Bahnen).



Abb. 2-3, Segregationseffekte (aus [7, p.2])



- In Fällen großer Dichte/nervöser Fußgänger, Gefahr des Auseinanderbrechens der Bahnen.
- Säulen/Bäume können stabilisierendes Element sein:
  - Sie haben eine psychologische Wirkung,
  - bieten dennoch die Möglichkeit der Nutzung der Gegenseite, wenn dort kein Verkehr ist.
- Bevorzugte Seite: Europa rechts, Asien links.



## Oszillation an Engstellen

- Je eine Durchlaufrichtung ist dominant, weil es einfacher ist, mit als gegen den Strom zu laufen.
- Bei Wartenden entsteht Ungeduld (Druck), der zum Kippen der Flussrichtung führen kann.
- Oszillationsdauer steigt mit Länge der Engstelle, wie auch die Gefahr unüberlegter Vorstöße, die zum Stillstand führen können.
- Besondere Gefahr: Entstehung hoher Drücke durch Kompression.

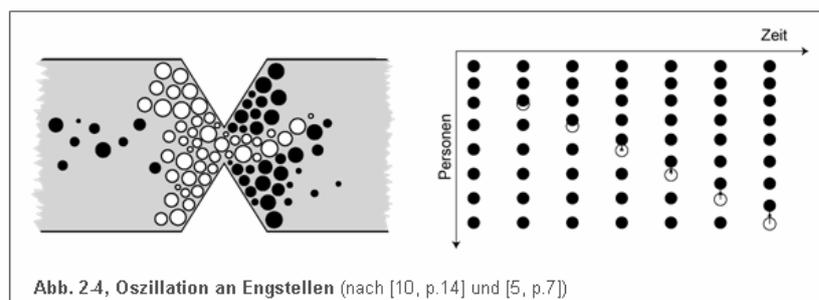
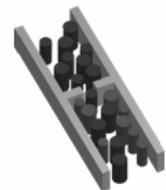
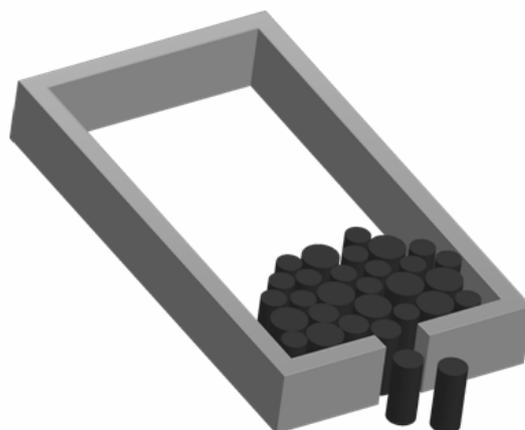


Abb. 2.4, Oszillation an Engstellen (nach [10, p.14] und [5, p.7])

- ✓ Individuelle Verhaltenstendenzen in normalen Situationen
- ✓ Kollektive Bewegungsmuster in normalen Situationen
- Individuelle Verhaltenstendenzen in Paniksituationen
- Kollektive Bewegungsmuster in Paniksituationen

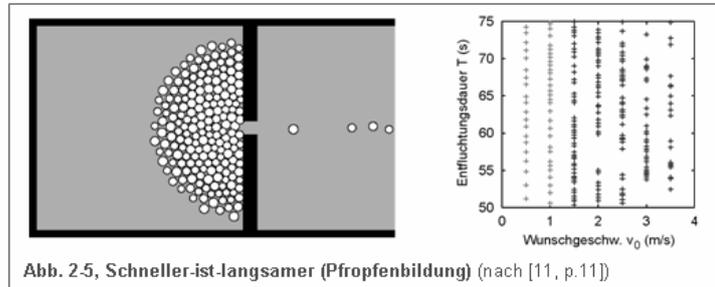
- Es lassen sich nur qualitative Aussagen treffen, da es an systematischen Untersuchungen zu Panikverhalten mangelt.
- Routenwahl/Orientierung:
  - Nervosität des Einzelnen ist unter Gefahrendruck erhöht, führt zu blindem Aktionismus.
  - Die Neigung zum Herdentrieb steigt, v.a. wenn Personen keine Ortskenntnis besitzen oder die Sicht eingeschränkt ist.
- Geschwindigkeit: Wunschgeschwindigkeiten steigen deutlich.
- Abstand: Bereitschaft zu physischen Interaktionen wächst.

- ✓ Individuelle Verhaltenstendenzen in normalen Situationen
- ✓ Kollektive Bewegungsmuster in normalen Situationen
- ✓ Individuelle Verhaltenstendenzen in Paniksituationen
- Kollektive Bewegungsmuster in Paniksituationen



Schneller-ist-langsamere  
(Pfropfenbildung)

- Aus Fertigungsindustrie bekanntes Problem bei Einfüllprozessen von granularen Medien.



- Um Engstellen herum kommt es zu Stauungen, weil sich die Teilchen gegenseitig behindern.
- Bei aus einem Raum flüchtenden Menschen ( $v_i > 1,5 \text{ m/s}$ ), kommt es zu bogenförmigen Blockaden am Ausgang.
- Brechen diese Bögen, kommt es zu schubweisen Entfluchtungen.

- Die Kräfte die hier auftreten, können  $4,5 \text{ N/m}$  überschreiten und sind damit ausreichend, um Stahlbarrieren wie Papier zu verbiegen.
- Niedergerungene, stürzende Personen werden zu Hindernissen für Nachfolgende.
- Hier können vor dem Ausgang platzierte Säulen Abhilfe schaffen.



*Welche Modellierungsansätze gab es bisher? Wie haben diese Modelle gearbeitet? Von welchen Voraussetzungen gingen sie aus?*

*Quellen: [2,4,10,12-17,23]*

## Kapitel 3: Modellierungsansätze

|                                      |                               |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Einleitung</b>                    | <b>Makroskopische Modelle</b> |
| <b>Selbstorganisationsphänomene</b>  | <b>Mikroskopische Modelle</b> |
| Bisherige Modellansätze              | <b>Fundamentaldiagramme</b>   |
| <b>Modellkonzeption auf Basis ZA</b> |                               |
| <b>Konklusion</b>                    |                               |

- Grobe Einteilung in:
  - makroskopische und
  - mikroskopische Modelle
- Makroskopische Modelle:
  - Ähnlichkeiten von Fußgängermengen zu granularen Medien haben wir gesehen.
  - Auch Assoziationen zu Flüssigkeiten herstellbar.



Abb. 3-1, Analogie von Bewegungen in Fußgängergruppen zu Flüssigkeiten (aus [12, p.363])

- Während bei makroskopischen Modellen der Fluss die kleinste Einheit darstellt, ist es in mikroskopischen Modellen das Individuum.
- Ihm werden Charakteristika wie Geschwindigkeit, Ziel usw. zugeordnet.
- Weitere Unterteilung möglich:
  - Kontinuierliche Modelle: In Raum und Zeit kontinuierlich.
  - Diskrete Modelle: In Raum und Zeit diskret.

- Als Vertreter der kontinuierlichen Modelle: Soziale Kräfte-Modell von Dirk Helbing und Peter Molnár.
- Vereinfachung des menschlichen Verhaltens auf einfache Reaktionen, hervorgerufen durch soziale Kräfte.
- Vektorielle Addition der sozialen Kräfte begründet Handlung.
- Soziale Kräfte  $\neq$  physikalische Kräfte, da u.a. 3. Newtonsches Axiom (*actio = reactio*) nicht gilt...
- Zum Modell: Ein Fußgänger  $i$  ändert über die Zeit  $t$  gesehen seine Position  $x$ , daraus folgt die Bewegungsgleichung:

$$\frac{d \bar{x}_i(t)}{d t} = \bar{v}_i(t)$$

- Die Änderung der Geschwindigkeit wird beschrieben über die Beschleunigungsgleichung:

$$m * \frac{d \bar{v}_i(t)}{d t} = \boxed{\bar{f}_i(t)} + \boxed{\bar{\xi}_i(t)} \quad (2. \text{ Newtonsches Axiom: } F = m * a)$$

soziale Kräfte
Fluktuationen (Stochastik)

gewünschtes Tempo und  
 gewünschte Richtung      aktuelle Geschwindigkeit

$$\vec{f}_i(t) = m * \frac{v_i^0(t)\vec{e}_i^0(t) - \vec{v}_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} [\vec{f}_{ij}^{soc-rep}(t) + \vec{f}_{ij}^{soc-attr}(t) + \vec{f}_{ij}^{phys}(t)]$$

Relaxationszeit

Antriebsterm

$$+ \sum_b \vec{f}_{ib}^{obj-rep}(t) + \sum_k \vec{f}_{ik}^{obj-attr}(t)$$

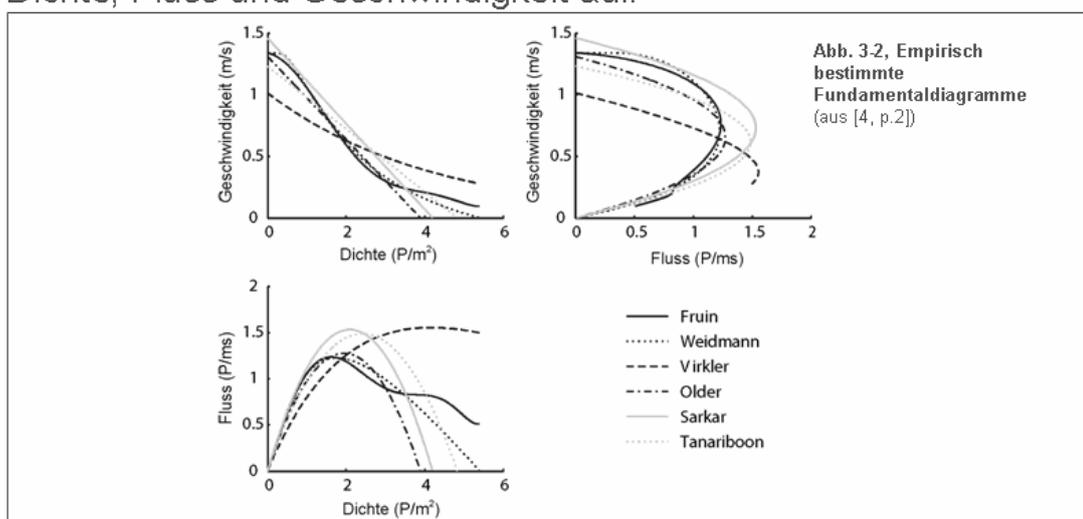
- Repulsive, soz. Kräfte, z.B. Territorialverhalten
- Attraktive, soz. Kräfte, z.B. Gruppen, Familien, Freunden
- Physikalische Kräfte, nur in Paniksituationen
- Repulsivkräfte von Objekten ausgehend, z.B. Abstand zu Wänden halten
- Attraktoren, z.B. Schaufenster

• Probleme:

- Bei  $n$  Fußgängern/Objekten ergeben sich  $O(n^2)$  Tests.
- Die zur numerischen Integration notwendige Diskretisierung steht der Natur des Modells entgegen.
- Es muss verhindert werden, dass Kräfte durch Hindernisse hindurch kalkuliert werden.

- Als Vertreter der diskreten Modelle: Zellulare Automaten.
- Lassen sich wie folgt charakterisieren:
  - Gitterstruktur: Bestehen aus regulärem, diskreten Gitter an Zellen.
  - Nachbarschaft: Ist lokal und einheitlich.
  - Zellzustand: Jede Zelle ist durch Zustand aus definierter, endlicher Zustandsmenge beschrieben. Der Automat entwickelt sich über die Zeit.
  - Übergangsregeln: Beschreiben Änderungen der Zellzustände. Neuer Zustand hängt nur vom alten und denen umliegender Zellen ab.
  - Randbedingungen: Bestimmen das Verhalten an den Rändern.
- Nur noch  $O(n)$  und damit Echtzeitfähigkeit!

- Zeigen grundlegende Beziehungen zwischen Modellparametern Dichte, Fluss und Geschwindigkeit auf.



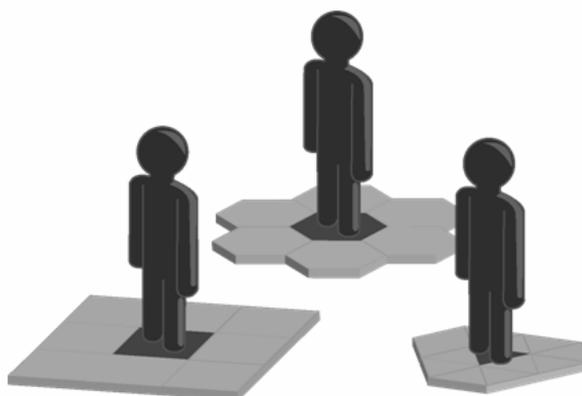
- Werden von makroskopischen Modellen als Eingabe verlangt, sind bei mikroskopischen Modell ein Ergebnis der Simulation.

*Was ist bei der Modellierung  
der Fußgängerbewegung durch  
ZA zu beachten?*

*Quellen: [1,15-18,21,23]*

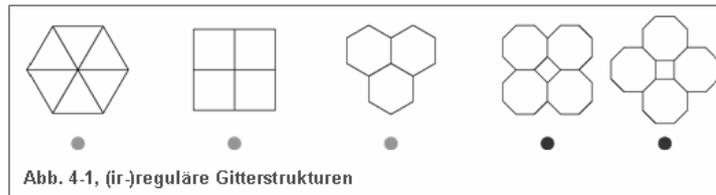
## Kapitel 4: Modellkonzeption auf Basis ZA

|                                      |                         |
|--------------------------------------|-------------------------|
| <b>Einleitung</b>                    | <b>Gitterstrukturen</b> |
| <b>Selbstorganisationsphänomene</b>  | <b>Nachbarschaften</b>  |
| <b>Bisherige Modellansätze</b>       | <b>Zustände</b>         |
| <b>Modellkonzeption auf Basis ZA</b> | <b>Regeln</b>           |
| <b>Konklusion</b>                    |                         |

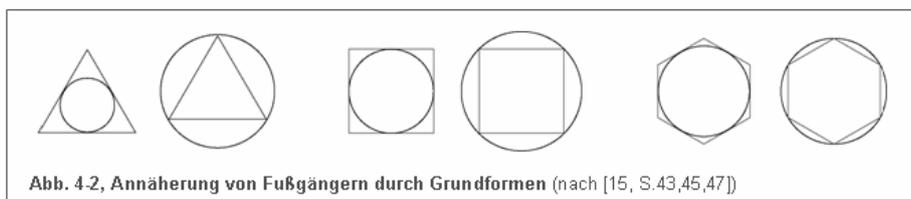


Gitterstrukturen

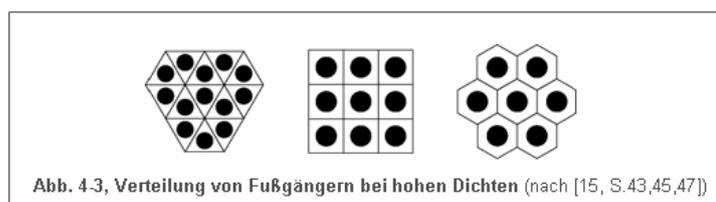
- Generell keine Beschränkungen in der Definition n-dimensionaler zellulärer Automaten, solange die Gitterstruktur regulär ist.
- In 2D nur Dreieck, Viereck, Sechseck möglich.



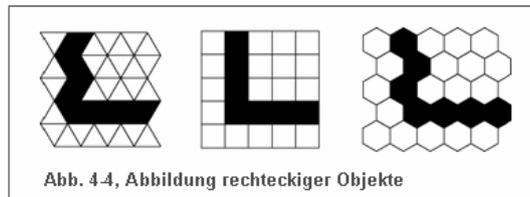
- In den meisten Modellen Annäherung von Fußgängern durch Kreise.
- Gitterformen bilden das unterschiedlich gut ab.



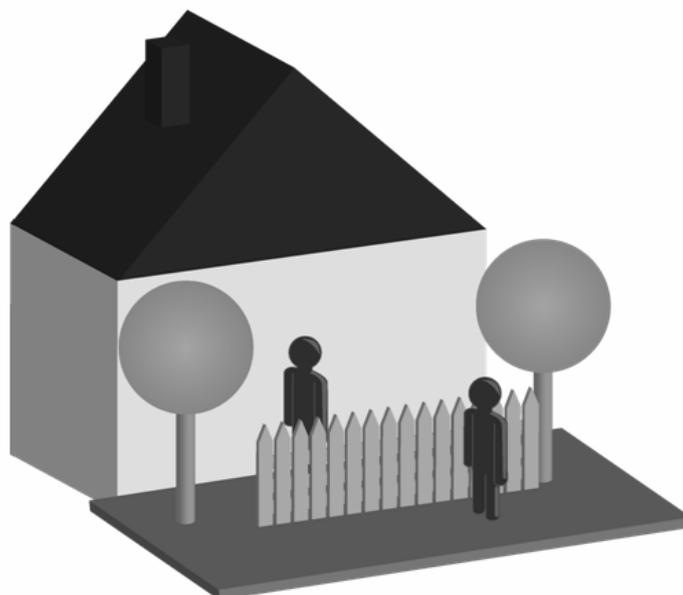
- Bei hohen Dichten erinnert das in viereckigen Automaten entstehende Muster an eine Militärparade.



- Repräsentation von Wänden und rechteckigen Hindernissen in viereckigen Strukturen besonders gut.
- Hängt mit den Winkelbeschränkungen der Bewegungen zusammen.



- Fazit: Triangulare Strukturen scheinen ungeeignet.
- Siehe Ausarbeitung: Mapping von sechseckiger auf viereckige Gitterstruktur.



Nachbarschaften

- Es gibt zwei häufig verwendete Nachbarschaften:
  - von Neumann
  - Moore
- von Neumann
  - Dreiecke: drei umliegende Felder
  - Vierecke: vier umliegende Felder
  - Sechsecke: sechs umliegende Felder

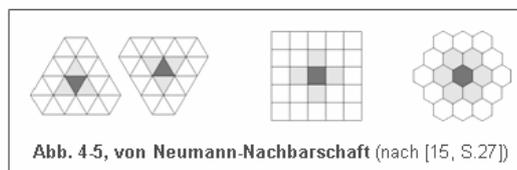


Abb. 4.5, von Neumann-Nachbarschaft (nach [15, S.27])

- Bietet für Fußgängerbewegungen nicht genügend Freiheitsgrade.

- Dreiecke: Mittelpunkte paarweise benachbarter Zellen nicht direkt verbindbar.
- Vierecke: Keine Diagonalschritte möglich.

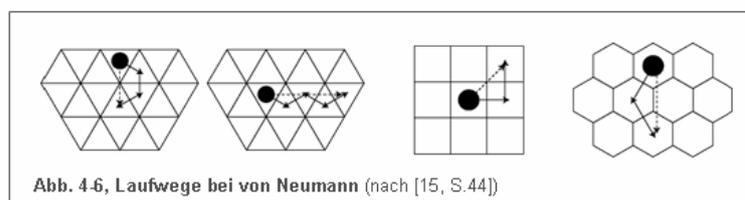


Abb. 4.6, Laufwege bei von Neumann (nach [15, S.44])

- Moore
  - Erweiterter Kreis der Nachbarschaft.

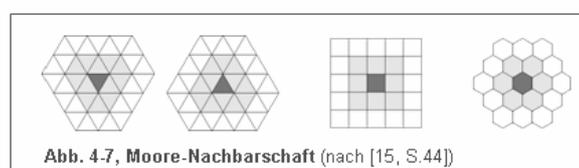


Abb. 4.7, Moore-Nachbarschaft (nach [15, S.44])

- Dafür neues Problem: Unterschiedliche Distanzen.  
 In viereckigen sind Diagonalschritte  $\sqrt{2}$  schwer.

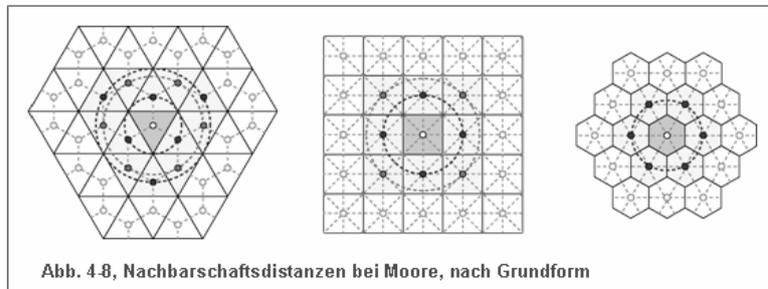


Abb. 4.8, Nachbarschaftsdistanzen bei Moore, nach Grundform

- Weiteres Problem erwächst aus unerlaubten Zügen bei drei- und viereckiger Gitterstruktur.

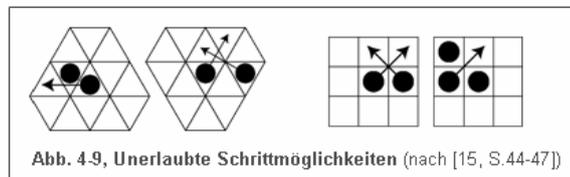


Abb. 4.9, Unerlaubte Schrittöglichkeiten (nach [15, S.44-47])



Zustände

- Eine Zelle kann im Zustand
  - frei,
  - belegt durch einen Fußgänger
    - der ruht oder
    - eine Geschwindigkeit innehat, oder
  - belegt durch ein Hindernis sein.



Regeln

- Alle denkbaren Regeln zu behandeln, ist nicht möglich, deshalb exemplarisch am Beispiel Routenwahl/Orientierung.
- Ergebnis eines Experiments in einem japanischen Supermarkt:
  - Evakuierung nach falschem Feuealarm und Rauch,
  - 300 Kunden,
  - Interview nach Entfluchtung: Was war Triebfeder bei der Wegwahl?



- Ergebnisse:
  - **46,7%** folgten Schildern/Anweisungen der Verkäuferinnen.
  - **26,3%** liefen in entgegengesetzte Rtg. des Rauches.
  - **16,7%** benutzten nächstgelegenen Ausgang.
  - **3,0%** folgten anderen Personen.
  - **3,0%** mieden die Richtung, in welche die meisten liefen.
  - **2,3%** wählten die Tür in deren Nähe große Fenster waren, so dass sie nach draußen sehen konnten.
  - **1,7%** suchten den Ausgang auf, durch den sie das Gebäude betreten hatten.
- Ohne Schilder und realistischem Gefahrenmodell ist Punkt 3 am interessantesten für die Simulation.



- Anders als bspw. beim Einkaufen, werden Fußgänger in Evakuierungssituationen nahezu gleiche Ziele verfolgen: Möglichst schnell aus der Gefahrenzone zu entkommen.
- Deshalb kein individuelles Routing, sondern kollektive Orientierung.
- Somit müssen wir den Vorteil der Lokalität, den zellulare Automaten bieten, nicht aufgeben.
- Es gibt mehrere Ansätze, die Idee der Orientierung umzusetzen, hier soll das Ganze am Beispiel der Potentialfelder einmal demonstriert werden.
- Man unterscheidet in
  - statisches und
  - dynamisches Grundfeld.



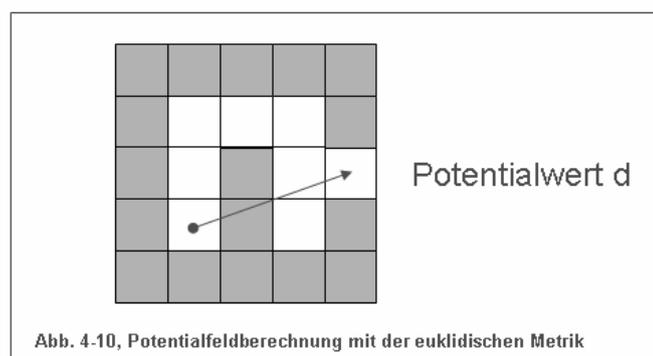
- Statisches Grundfeld:
  - Beschreibt repulsiv (Wände, Hindernisse) oder attraktiv wirkende Raumbereiche (Vorzugsrichtungen wie Ausgänge).
  - Ist zeitunabhängig und kann von den Fußgängern nicht beeinflusst werden.
- Dynamisches Grundfeld:
  - Modelliert die Wechselwirkungen zwischen den Fußgängern.
  - Bedient sich der Idee der Chemotaxis: Es bilden sich virtuelle Spuren aus, die evaporieren und diffundieren.
- Über Faktoren lässt sich der Einfluss der Felder auf die Wegwahl regulieren (verrauchter Raum, Herdenverhalten, ...).



- Wir wollen uns das statische Grundfeld genauer ansehen.
- Das Gitter wird mit Werten gefüllt, in Abhängigkeit einer Metrik.
- I.d.R. handelt es sich um die Angabe des Abstands der Zelle zum Ausgang.
- In den meisten regelbasierten Modellen erhalten weiter entfernte Zellen dabei höhere Zahlen als solche nahe zum Ausgang.
- Die Fußgänger folgen in diesem Fall den kleinsten Potentialwerten zum Ausgang.
- Frage: Welche Metrik nutzen?



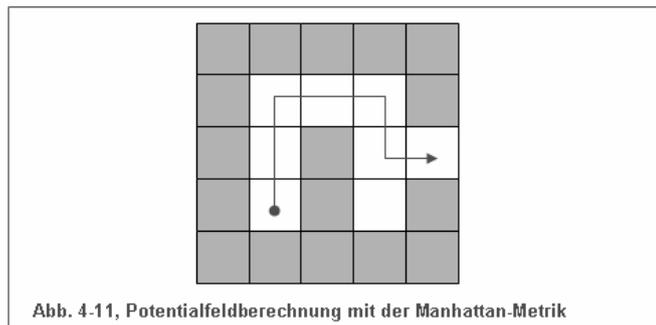
- Erster Ansatz: Euklidische Metrik



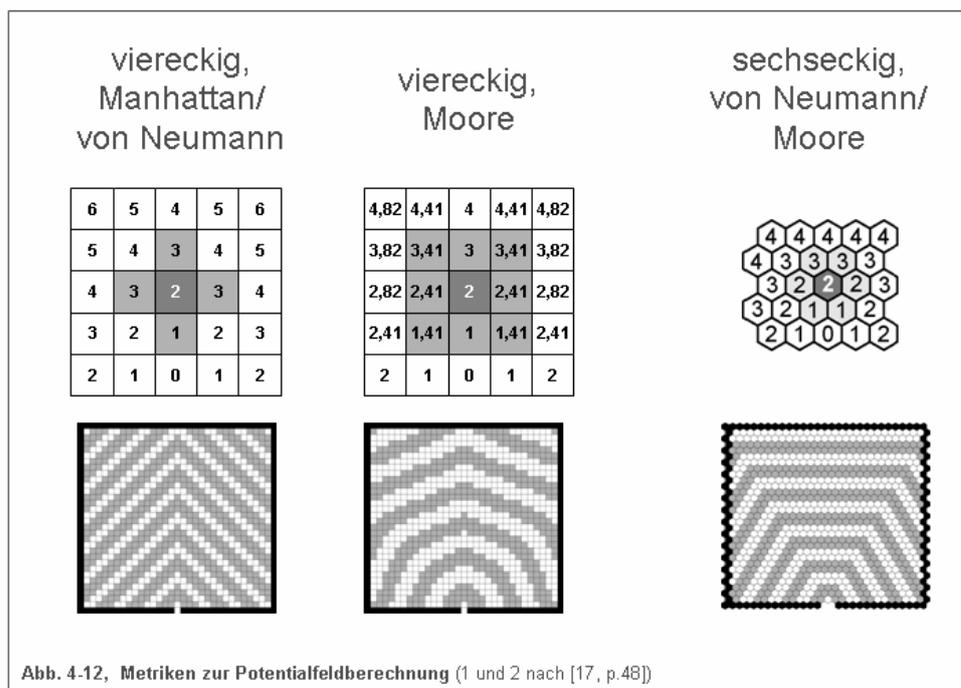
$$d(r, r_{exit}) = \sqrt{(r_{exit}^x - r^x)^2 + (r_{exit}^y - r^y)^2}$$

- Problem: In Räumen mit Hindernissen nicht brauchbar...

- Zweiter Ansatz: Manhattan Metrik
- Schritte in die vier Hauptrichtungen (N,S,O,W) erlaubt, entspricht also faktisch einer von Neumann-Nachbarschaft.
- Es entstehen „Straßenzüge“ wie in Manhattan.
- Vorteil: Hier können auch komplexe Geometrien bedient werden.



- Aber: Es entstehen ungünstige Potentialfeldmuster.



## Kapitel 5: Konklusion

*Was haben wir gelernt???*

Einleitung  
Selbstorganisationsphänomene  
Bisherige Modellansätze  
Modellkonzeption auf Basis ZA  
Konklusion

- Was haben wir uns angeschaut?

### 1 Einleitung

Warum sollten wir uns mit der Simulation von Fußgängern beschäftigen?

Fluchtwege- und Anlagendesign, Spiele, Filme...

### 2 Selbstorganisationsphänomene in Fußgängermengen

Wieso ist es überhaupt möglich, das Verhalten von Fußgängermengen nachzubilden?

Es gibt gewisse Verhaltenstendenzen des Einzelnen, die zu Bewegungsmustern im Kollektiv führen (Segregation, Oszillation an Engstellen, Pfropfenbildung)

- Was haben wir uns angeschaut?

### 3 Modellierungsansätze

Welche Modellierungsansätze gibt es und wie arbeiten diese?

makroskopische vs. mikroskopische,  
kontinuierliche vs. diskrete

### 4 Modellkonzeption auf Basis zellularer Automaten

Wie müsste ein Modellansatz auf Basis zellularer Automaten aussehen, was müsste beachtet werden?

Auswahl einer Gitterstruktur, einer Nachbarschaft, von Zuständen, Regeln und (Randbedingungen).

### 5 Konklusion

- Was bleibt zu tun? – Eine ganze Menge!
- Worüber wir gar nicht gesprochen haben:
  - Randbedingungen von ZA,
  - Single- vs. Multispeed-Modelle,
  - Distance Keeping,
  - Verschiedene Updatearten,
  - Implementationsdetails,
  - u. v. m.

Literaturverzeichnis:

- [1] Abe, K. (1986): *The Science of Human Panic* (auf Japanisch). Brain Publ. Co., Tokyo.
- [2] Alvarez, J. (2004): *The impossible tilings*. In: *Function*, no. 28, pp. 93-102. Letzter Zugriff am 25-06-2006 unter <http://www.math.nmsu.edu/~jalvarez/pdf/impossibletilings.pdf>
- [3] Clarke, L. (2002): *Panic: myth or reality?* In: *Contexts*, vol. 1, no. 3, pp. 21-26. Letzter Zugriff am 25-06-2006 unter [http://www.contextsmagazine.org/content\\_sample\\_v1-3.php](http://www.contextsmagazine.org/content_sample_v1-3.php)
- [4] Daamen, W./Hoogendoorn, S./Bovy, P. (2005): *First-order Pedestrian Traffic Flow Theory*. In: *Transportation Research Board Annual Meeting 2005*, pp. 1-14. Letzter Zugriff am 28-06-2006 unter <http://www.pedestrians.tudelft.nl/publications/TRB05d%20ft.pdf>
- [5] Helbing, D. (1992): *Models for Pedestrian Behavior*. In: *Natural Structures: Principles, Strategies, and Models in Architecture and Nature, Part II*, pp. 93-98. Stuttgart. Letzter Zugriff am 18-05-2006 unter [http://arxiv.org/PS\\_cache/cond-mat/pdf/9805/9805089.pdf](http://arxiv.org/PS_cache/cond-mat/pdf/9805/9805089.pdf)
- [6] Helbing, D. (1997): *Verkehrsdynamik*. Springer, Berlin.
- [7] Helbing, D. (2003): *Agent-Based Simulation of Traffic Jams, Crowds, and Supply Networks – Reality, Simulation, and Design of Intelligent Infrastructures*. IMA „Hot Topics“ Workshop: Agent Based Modeling and Simulation. Letzter Zugriff am 20-05-2006 unter <http://www.ima.umn.edu/talks/workshops/11-3-6.2003/helbing/ima.pdf>
- [8] Helbing, D. (2004): *Sicherheit in Fußgängergruppen bei Massenveranstaltungen*. In: Freyer, W. and Groß, S. (Hrsg.): *Sicherheit in Tourismus und Verkehr*. Dresden. Letzter Zugriff am 18-05-2006 unter <http://www.age-info.de/PDF/SicherheitHelbing.pdf>
- [9] Helbing, D./Buzna, L./Johansson, A./Werner, T. (2005): *Self-Organized Pedestrian Crowd Dynamics: Experiments, Simulations and Design Solutions*. In: *Transportation Science*, vol. 39, no. 1, pp.1-24. [Erhalt nach persönlicher Korrespondenz mit Prof. Dr. Helbing]
- [10] Helbing, D./Farkas, I./Molnár, P./Vicsek, T. (2002): *Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations*. In: Schreckenberg, M. and Sharma, S. (Eds.): *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, pp. 21-58. Springer, Berlin. Letzter Zugriff am 18-05-2006 unter <http://www.tu-dresden.de/vkiw/vwista/publications/evacuation.pdf>
- [11] Helbing, D./Farkas, I./Vicsek, T. (2000): *Simulating Dynamical Features of Escape Panic*. In: *Nature*, vol. 407, pp. 487-490. Letzter Zugriff am 18-05-2006 unter [http://arxiv.org/PS\\_cache/cond-mat/pdf/0009/0009448.pdf](http://arxiv.org/PS_cache/cond-mat/pdf/0009/0009448.pdf)
- [12] Helbing, D./Molnár, P./Farkas, I./Bolay, K. (2001): *Self-organizing pedestrian movement*. In: *Environment and Planning B*, vol. 28, pp. 361-383. Letzter Zugriff am 18-05-2006 unter <http://pedsim.elte.hu/pdf/envplanb.pdf>
- [13] Helbing, D./Molnár, P./Schweitzer, F. (1994): *Computer Simulations of Pedestrian Dynamics and Trail Formation*. In: *Evolution of Natural Structures*, pp. 229-234. Stuttgart. Letzter Zugriff am 18-05-2006 unter [http://arxiv.org/PS\\_cache/cond-mat/pdf/9805/9805074.pdf](http://arxiv.org/PS_cache/cond-mat/pdf/9805/9805074.pdf)

- [14] Johansson, A. (2004): Master Thesis *Pedestrian Simulations with the Social Force Model*. Dresden University of Technology, Institute for Transport & Economics. Letzter Zugriff am 25-06-2006 unter <http://www.itme011.vkw.tu-dresden.de/~johansson/thesis.pdf>
- [15] Kinkeldey, C. (2003): Studienarbeit *Fußgängersimulation auf der Basis zellularer Automaten*. Universität Hannover, Institut für Bauinformatik. [Erhalt nach persönlicher Korrespondenz mit Prof. Dr. Milbradt]
- [16] Kirchner, A. (2002): Dissertation *Modellierung und statistische Physik biologischer und sozialer Systeme*. Universität zu Köln, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät. Letzter Zugriff am 25-06-2006 unter [http://www.thp.uni-koeln.de/~eb/phys/data/diss\\_aki.pdf](http://www.thp.uni-koeln.de/~eb/phys/data/diss_aki.pdf)
- [17] Klüpfel, H. (2003): Dissertation *A Cellular Automaton Model for Crowd Movement and Egress Simulation*. Universität Duisburg-Essen, Fakultät 4 – Naturwissenschaften. Letzter Zugriff am 25-06-2006 unter [http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=96883180x&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=96883180x.pdf](http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=96883180x&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=96883180x.pdf)
- [18] Nishinari, K./Kirchner, A./Namazi, A./Schadschneider, A. (2004): *Extended floor field CA model for evacuation dynamics*. In: IEICE Transactions on Information and Systems, vol. E87-D, no. 3, pp. 726-732. Letzter Zugriff am 25-06-2006 unter [http://arxiv.org/PS\\_cache/cond-mat/pdf/0306/0306262.pdf](http://arxiv.org/PS_cache/cond-mat/pdf/0306/0306262.pdf)
- [19] Schütz, T. (2004): *Crowd Simulation*. Letzter Zugriff am 29-06-2006 unter <http://www.deinmeister.de/crowdsim.pdf>

- [20] Sennewald, I. (2006): *Panikforschung*. In: ARD nachtmagazin. Letzter Zugriff am 21-05-2006 unter [http://sport.ard.de/wm2006/wm/news200601/11/video\\_panik\\_060111.jhtml](http://sport.ard.de/wm2006/wm/news200601/11/video_panik_060111.jhtml)
- [21] Stucki, P. (2003): Diplomarbeit *Obstacles in Pedestrian Simulations*. ETH Zürich, Dept. of Computer Science. Letzter Zugriff am 25-06-2006 unter <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=dipl&nr=129&part=text>
- [22] Weidmann, U. (1992): *Transporttechnik der Fußgänger*. In: Schriftenreihe des IVT Nr. 90, Zürich.
- [23] Weimar, J. (1997): *Simulation with cellular automata*. Logos-Verlag, Berlin.

Bildnachweis:

- [24] o.V. (o.J.): *City Life*. Deep Silver, a division of Koch Media GmbH. Letzter Zugriff am 28-06-2006 unter <http://www.gamestar.de/news/pc-spiele/strategie/31158/>
- [25] o.V. (o.J.): *Die Sims 2*. EA Interactive & Maxis. Letzter Zugriff am 28-06-2006 unter <http://www.diesims.de/products.view.asp?id=1>
- [26] o.V. (o.J.): *Der Herr der Ringe – Die Rückkehr des Königs*. Warner Bros. Entertainment Inc. Letzter Zugriff am 30-06-2006 unter <http://www.warnerbros.de/movies/herrderringe/>