

Keine Panik!

Mit Simulationen stellen Verkehrsphysiker die Evakuierung von Fußballstadien nach und gehen der Entstehung von Staus auf den Grund.

Fünf Monate vor der WM sorgte eine Studie der Stiftung Warentest für Wirbel: In einigen WM-Stadien seien die Fluchtwege zu lang und unüberwindliche Gräben versperrten die Flucht aufs Spielfeld. Durch diese Hindernisse, so die Studie, entstehe bei Gefahr ein zu hoher Staudruck und eine Massenhysterie drohe. Die WM-Organisatoren warfen der Stiftung daraufhin Panikmache vor: Die Stadien seien sicher.

Wie Evakuierungen simuliert und in der Praxis verbessert werden können, damit beschäftigen sich Verkehrsphysiker und Panikforscher seit vielen Jahren. Ein wichtiges Ziel dieser in Deutschland hauptsächlich von Dirk Helbing (TU Dresden) sowie Michael Schreckenberg (U Essen-Duisburg) durchgeführten Simulationen: das komplexe Verhalten von Menschenmassen in Paniksituationen so zu kontrollieren, dass der Personenfluss durch die Notausgänge maximal ist. Panikauslösende Staus sollen möglichst vermieden werden. Die Resultate solcher Rechnungen geben Hinweise, wie Fluchtwege auf Schiffen, in Hörsälen oder in Stadien konzipiert werden sollten.

Während bis vor einigen Jahren die Bewegungen von Menschenmassen mit dem Verhalten von Strömungen oder Gasen verglichen wurden, lassen sich heute auch die Wechselwirkungen einzelner Menschen untereinander berücksichtigen. Denn beim Ausbruch einer Panik brechen die kollektiven Be-



In dieser Simulation des Westfalenstadions, durchgeführt von dem Duisburger Unternehmen TraffGo, sind die roten Bereiche des Fluchtweges stark mit Menschenmassen verstopft.¹⁾



Feuerwerk im Stadion kann rasch einen Brand und Panik auslösen. Wie sich bei der Evakuierung eines Stadions eine Massenhysterie vermeiden lässt, versuchen Physiker in Simulationsrechnungen herauszufinden. (Foto: Photocase).



wegungsmuster in einer Menschenmenge zusammen: Die Menschen versuchen schneller zu den Notausgängen zu gelangen, dabei berühren und stoßen sie sich. Die physischen und psychischen Reaktionen der Individuen in der Masse sind bei Panikmodellen ein großer Unsicherheitsfaktor. Wie reagiert eine Person auf Feuer? Kann sie Andere warnen oder eine Evakuierung einleiten? Oder gerät sie selbst in Panik?

Vor diesem Hintergrund entwickelte ein deutsch-ungarisches Team um Dirk Helbing ein Panikmodell, bei dem die Menschenmenge einem selbst-organisierten Teilchensystem entspricht und ihr Gesamtverhalten eine Folge der lokalen physischen und sozialen Interaktionen der Individuen ist. Variablen sind dabei die angestrebte Fluchtgeschwindigkeit und die Abstände zwischen den Menschen sowie zu Wänden und Hindernissen. Feuerfronten etwa, werden durch starke, abstoßende Kräfte beschrieben. Hinzu kommt die „Reibung“ zwischen den Personen. Ob sich der Einzelne individuell oder nach dem Herdentrieb bewegt, wird mit Hilfe des so genannten Panikfaktors p_i gewichtet, der gewissermaßen die Nervosität der Person wiedergibt: Ist p_i groß, folgt sie der Menge; ist p_i dagegen klein, so überwiegt das individuelle Verhalten.

Das Modell lässt sich auf verschiedene Räumlichkeiten anwenden und zeigt, wann die Abstoßung dem Aufeinanderzustreben der einzelnen Personen nicht mehr standhält: Der Vorwärtsdrang der Fliehenden führt dann zu einem en-

ormen Druck und die Reibung zum Verkeilen vor den Ausgängen.

Die Simulationen zeigen: Allein durch eine höhere Geschwindigkeit können sich Staus vor Notausgängen bilden, welche die Menge unter normalen Bedingungen leicht passiert hätte. Ein weiteres Ergebnis: Wird eine Säule leicht versetzt vor einen Ausgang positioniert, so erlaubt sie ein schnelleres Verlassen, da sie ähnlich wie ein Wellenbrecher wirkt. Die flüchtenden Personen ballen sich dann nicht mehr so stark vor dem Ausgang. Fliehen Menschen über eine gewöhnliche Treppe, so baut sich bei einem Stau vor dem Ausgang ein hoher Druck auf, der sogar Mauern zum Einsturz bringen kann. Würden Treppen dagegen im Zick-Zack-Kurs konstruiert, so die Panikforscher, wäre durch die sich ändernde Stoßrichtung der Druck besser verteilt.

Obwohl sich mit solchen Simulationen einige reale Phänomene bei Paniken reproduzieren lassen, bleibt das Hauptproblem der Panikforscher bestehen: Es mangelt an präzisen Informationen über das Verhalten flüchtender Menschenmengen, meist ist man auf Videoaufnahmen angewiesen.

Stau muss nicht sein

Gegenstand der Verkehrsphysik ist aber natürlich auch das Hauptärgernis des Autofahrers: der Stau. Ursachen sind meist Unfälle oder Engstellen, aber ein Stau kann auch scheinbar aus dem Nichts entstehen: durch abruptes Bremsen, plötzliche Spurwechsel oder schlicht durch Trödeln. Zur Be-

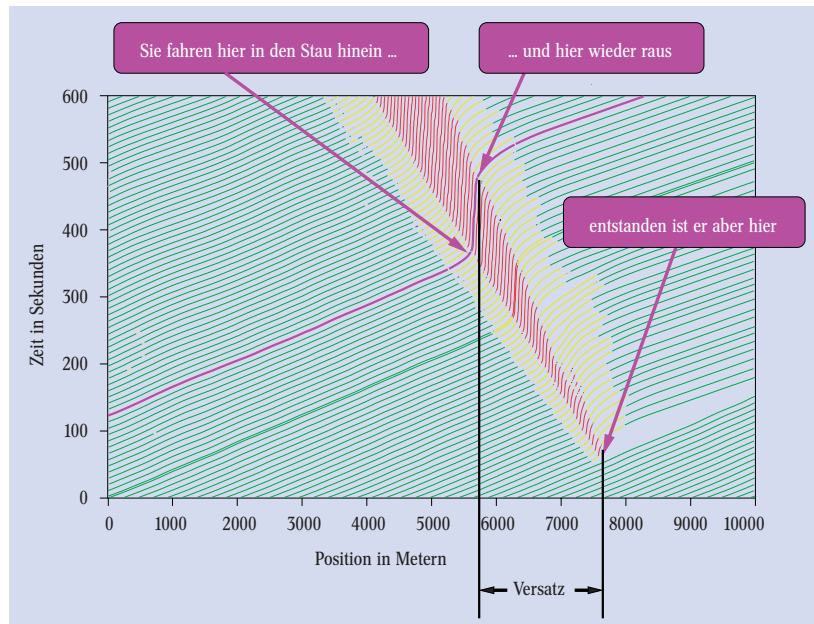
1) H. Klüpfel, T. Meyer-König, in S. Hoogendorn et al. (Hrsg.), Traffic and Granular Flow 03, S. 423, Springer, Berlin (2004)

schreibung des Verkehrsgeschehens bedienen sich Physiker häufig der Theorie der zellulären Automaten, denn diese kann räumlich diskrete dynamische Systeme erfassen. Selbstorganisationsprozesse und Musterbildung werden dabei auf lokale Wechselwirkungen reduziert. Zelluläre Automaten wurden erstmals 1940 von dem ungarischen Mathematiker Stanislaw Ulam vorgestellt und später von John von Neumann zu einem universellen Berechnungsmodell ausgebaut. Damit lassen sich so verschiedene Phänomene wie Diffusion oder Epidemien, aber auch Probleme der Populationsdynamik simulieren.

Zelluläre Automaten besitzen ein Gitter der Dimension d , das aus endlich vielen gleichartigen Zellen besteht. Jede ist von einer begrenzten Zahl Nachbarzellen umgeben und kann eine endliche Anzahl verschiedener Zustände einnehmen. Ihre Zeitentwicklung folgt Übergangsregeln, die vom aktuellen Zustand der Zelle selbst und demjenigen ihrer Nachbarzellen abhängt. Für alle Zellen gelten die gleichen Übergangsregeln, die deterministisch sind oder Zufallselemente enthalten können. Sie überführen diese in diskreten Zeitschritten gleichzeitig in den nächsten Zustand.

Die Physiker Kai Nagel und Michael Schreckenberg entwickelten ein theoretisches Verkehrsflussmodell, das so genannte NaSch-Modell, mit dem durch einen einfachen Algorithmus das Straßenge-schehen auch großer Verkehrsnetze simuliert werden kann.²⁾ In einer besonders einfachen Variante wird eine Ringstraße in einzelne, gleich große Zellen unterteilt, wobei jede von einem Fahrzeug belegt ist. Jeder Autofahrer reagiert im Straßenverkehr mit einer für ihn typischen Reaktionszeit und Intensität und beeinflusst damit das Verhalten der anderen Fahrer, also der anderen Zellen. Als Rundendauer wird die typische Reaktionszeit eines Autofahrers von einer Sekunde angenommen. Rückt ein Auto in einer Runde um eine Zelle vor, so entspricht dies bei einer Zellenlänge von 7,5 Metern einer Geschwindigkeit von 7,5 m/s. Als Höchstgeschwindigkeit wird die Autobahn-Richtgeschwindigkeit von 37,5 m/s angenommen.

In jeder Runde werden für alle Fahrzeuge folgende Schritte durchgeführt: 1) Beschleunigen: Hat ein Auto nicht die Höchstgeschwindigkeit erreicht, so wird seine Ge-



Im NaSch-Modell werden Verkehrsstaus mit Zellularautomaten simuliert. Jede schräge grüne Linie steht für ein Auto

schwindigkeit um eins erhöht; 2) Kollisionsfreiheit: Ist der Abstand zum nächsten Wagen zu klein, so wird die Geschwindigkeit reduziert; 3) Trödeln: Die Geschwindigkeit eines Autos wird, falls es nicht schon steht, mit der Wahrscheinlichkeit p um eins reduziert. Diese stochastische Komponente führt Fluktuationen in das Modell ein. Im letzten Schritt werden alle Autos mit ihrer Momentangeschwindigkeit vorwärts bewegt. In den Raum-Zeit-Diagrammen des NaSch-Modells (oben) steht jede schräg verlaufende Linie für ein Auto und seine momentane Position auf der Ringstraße. Ein grüner Punkt ist ein Auto, das zuletzt mit Höchstgeschwindigkeit fuhr, während ein roter Punkt ein stehendes Auto markiert.

Freie Fahrt gäbe es den Verkehrsforschern zufolge nur dann, wenn die Autofahrer im flüssigen Verkehr nicht individuell, sondern kollektiv reagieren würden. Ein Vorbild könnten Fischschwärme sein, die zu Tausenden mit gleicher Geschwindigkeit und minimalem Abstand durchs Wasser gleiten. Individuelle Richtungs- oder Geschwindigkeitsänderungen sind ihnen offenbar fremd.

Einige Autohersteller entwickeln deshalb Assistenzsysteme, um Fahrzeuge elektronisch zu koppeln: Diese orientieren sich dabei am Tempo des voran fahrenden Fahrzeuges, halten selbstständig den nötigen Abstand und bremsen oder beschleunigen frühzeitig.

mit Höchstgeschwindigkeit. Rot markiert dagegen das Tempo Null: den Stau. (Quelle: Peter Wagner, DLR Adlershof)

La Ola reißt mit

Ein Phänomen in Sportstadien, das ebenfalls die Neugier der Verkehrsphysiker weckte, ist die La-Ola-Welle, die Tausende von Menschen mitreißt und erstmals bei der 1986er-WM in Mexiko beobachtet wurde: Nacheinander springen die Zuschauer auf, reißen die Arme hoch und setzen sich wieder. Das Muster pflanzt sich fort und schwappt als Welle durch die Ränge.

Um die sich selbst organisierenden La-Ola-Wellen zu analysieren, nutzen Forscher um Dirk Helbing ebenfalls zelluläre Automaten, mit denen sonst Nerven oder Zellen beschrieben werden. Bei diesen Automaten wird durch einen kleinen lokalen Reiz der Ruhezustand gestört und Erregungswellen pflanzen sich fort. Bei dem „La-Ola-Automaten“ sind die Felder jeweils von einem Zuschauer besetzt, der drei Zustände einnehmen kann: er ist inaktiv und sitzt oder er springt auf und reißt die Arme hoch oder er setzt sich wieder hin.

Die Analyse von 14 La-Ola-Wellen zeigte, dass sich innerhalb von wenigen Sekunden eine stabile, lineare Welle aufbaut, die sich mit immerhin 12 m/s fortpflanzt. Um eine solche Welle auszulösen, müssen ca. 30 Zuschauer die Aufmerksamkeit einer größeren Menge auf sich ziehen. Doch die schönen La Olas haben einen Nachteil: Sie entstehen bevorzugt, wenn das Spielgeschehen selbst zu langweilig ist.

KATJA BAMMEL

²⁾ Dieses Modell findet Anwendung im Verkehrsinformationssystem www.autobahn.nrw.de.

Dr. Katja Bammel, science & more redaktionsbüro, E-Mail: kb@science-and-more.de