## Chaos ist, wenn einer bremst

Erst haben wir das Verkehrs-Chaos angerichtet - jetzt bekämpfen es Forscher mit Hilfe der Chaos-Theorie: Autobahn-Zufahrten im Zeittakt oder raffinierte Ampelschaltungen sollen Staus so durcheinanderbringen, daß sie sich auflösen. Unberechenbar bleibt nur eins: die Psyche der Autofahrer.

Von JENS MEYER WELLMANN

"Alles fließt", sprach einst Heraklit. Müßte der griechische Philosoph am modernen Straßenverkehr teilnehmen, würde er seine Theorie sicher noch einmal überdenken. Ein Blick auf Innenstädte und Autobahnen scheint eher Heraklits Intimfeind Parmenides recht zu geben: Alles steht. Immer öfter jedenfalls. 65 Stunden pro Jahr sitzt der gemeine deutsche Auto-fahrer im Stau. Der Volkswirt-schaft geben durch diesen pro-

schaft gehen durch diesen periodischen Stillstand pro Jahr

202 Milliarden Mark verloren. Dennoch: Mit der Verstopfung der mobilen Gesellschaft fung der mobilen Gesellschaft läßt sich auch Geld verdienen – jede Menge sogar. Mit neuen Systemen zur Verkehrsregulierung sollen innerhalb der nächsten zehn Jahre 200 Milliarden Mark umgesetzt werden. Das jedenfalls erwartet Verkehrsminister Matthias Wissmann. Wenngleich Fachleute die Zahl für übertrieben leute die Zahl für übertrieben halten - der Markt ist groß und ebenso der Forscher-

Jetzt haben sich erstmals inländische Konkurrenten zum landische Konkurrenten zum gemeinsamen Forschen zu-sammengefunden: Im Projekt "SANDY" ("Straßenverkehrs-anwendungen der Nichtlinea-ren Dynamik") arbeiten unter der Koordination von Sie-mens, Daimler-Benz, die Uni-versitäten Stuttgart und Duisversitäten Stuttgart und Duisburg und zwei Ingenieurbüros gemeinsam an Modellen zur exakten Beschreibung des Straßenverkehrs. Das Bonner Forschungsministerium fördert das Projekt mit drei Millionen Mark, weitere drei Millionen kommen aus den Etats der beteiligten Firmen.
"Seit 40 Jahren wird in dieser Richtung geforscht", so Professor Boris Kerner von

Daimler-Benz, "aber bis heute hat man den Straßenverkehr in seiner ganzen Komplexität nicht wirklich begriffen."

Ursache für



Der Stuttgarter Verkehrsforscher Dr. Reinhart Kühne rechnet mit dem Chaos: "Mit Hilfe der Chaostheorie können wir dem Verkehrs-infarkt vorbeugen." Kleine, gezielte Eingriffe sollen größere Staus in Zukunft verhindern. Kühne ist Anhänger einer "Last-abwurf-Strategie": Ampeln sollen den Zugang zu Autobahnen und Ringstraßen genauer dosieren. Zwar müßte man dann schon mal fünf Minuten an einer Ampel warten. "Dafür gibt es auf den Hauptstraßen keine Staus mehr."

Schwierigkeiten der Forscher ist die ungleichförmige Bewe-gung des Verkehrs. Ein be-kanntes Phänomen ist etwa

Stop and go.

Kleine Ursachen im Verkehrsablauf können überdies große Wirkung entfalten. Sie strahlen oft auf den Verkehrsfluß ganzer Städte aus. Man unricht in diesem Zusammen spricht in diesem Zusammenhang von "nichtlinearer Dyna-mik": Ursache und Wirkung verhalten sich nicht propor-tional, minimale Ursachen können ein vollständiges Chaos herbeiführen. In der Chaosforschung wird eine derartige Überreaktion auch als Uberreaktion auch "Schmetterlingseffekt" zeichnet.

Eine einzige abrupte Bremsung kann auf der Autobahn einen Stau auslösen.

So entstehen etwa auf Autobahnen immer wieder kilometerlange Staus ohne erkenn-bare Ursache. In Wahrheit ha-ben diese sogenannten "Staus aus dem Nichts" durchaus eine Ursache – allerdings eine minimale: Schon ein einziger Autofahrer, der zu dicht auffährt und dann abrupt abbremst, kann für die Entstehung eines Staus verantwortlich sein.

Grund: Der nachfolgende

Fahrer bremst in der Regel etwas stärker ab als der Vordermann. Bei hoher Verkehrsdichte können sich solche banalen Reaktionen zu lawinenartigen Prozessen aufschau-keln: Der Nachfolger des Nachfolgers bremst noch stärker, und irgendwann steht der ker, und irgendwann steht der Verkehr. Der unwissende Ver-ursacher ist unterdessen längst über alle Berge. Die so entstandenen Staus bewegen sich mit einer Geschwindig-keit von 15 km/h entgegen der Fahrtrichtung. Erst wenn sie Gebiete geringer Verkehrs-dichte erreichen, lösen sie sich auf.

Die komplizierte Dynamik des Straßenverkehrs läßt sich am besten mit Hilfe von Modellen aus der Chaostheorie beschreiben. Auch im Projekt "SANDY" sollen nun gezielt chaostheoretische Ansätze genutzt werden. Innerhalb des Verbundprojektes befaßt sich vor allem Dr. Reinhart Kühne vom Stuttgarter Ingenieurbüro Steierwald-Schönharting mit diesen Modellen.
"Die Chaostheorie ist vor allem bei der Erstellung von Grundgleichungen und bei der Auslegung der Steudellen aus der Chaostheorie

Steuder Auslegung der erungsmechanismen tig", so Kühne. Denn die Theo-rie beschränkt sich nicht auf die Beschreibung von "chaoti-schen" nicht-linearen Dynamiken, sie gibt den Forschern auch Instrumente an die Hand, mit denen das Chaos kontrolliert werden kann. "Mit gezielten Rückkopp-lungseffekten können instabile Systeme wieder stabilisiert werden. Staus und Stockungen verschwinden."

gen verschwinden."
Der Stuttgarter Verkehrsforscher plädiert dabei für eine "Lastabwurf-Strategie". Indem der Zugang zu bestimmten Straßen genau dosiert wird, soll der Verkehr entzerrt werden. "Wenn man etwa den Zufluß auf den Mittleren Ring in München für ein leren Ring in München für einige Minuten dosieren wür-de", so Kühne, "könnte man in kritischen Phasen einen 50 bis 100 Prozent besseren kehrsdurchfluß erreichen." Zwar müßten dann manche Autofahrer schon mal fünf Minuten an der roten Ampel ei-ner Zugangsstraße warten, da-

dem Ring freie Fahrt. "Insgesamt", so Kühne, "sind alle schneller am Ziel." Ein ähnliches Projekt soll jetzt an der Autobahn 40 (dem früheren Ruhrschnellweg) früheren ruheren Ruhrschnellweg) zwischen Bochum und Essen erprobt werden. Dort regeln bald Ampeln die Autobahnzu-fahrt, deren Grünphasen so kurz sind, daß jeweils nur ein Auto passieren kann. Dafür springt die Ampel alle zehn Sekunden auf Grün, so daß sich vor dem Rotlicht kaum ein Stau bilden kann.

für hätten sie dann aber auf

Stauprognosen sollen so genau werden wie der Wetterbericht. FORTS.

HA PFINGSTEN 1997 WISSEN Ganz andere Ansätze hat der ebenfalls an "SANDY" beteiligte Duisburger Professor Michael Schreckenberg entwikkelt. In Computersimulationen unterteilt er ganze Straßenzüge in 7,5 Meter lange Zellen. Das ist der Mindestraum, den ein Fahrzeug einnimmt. Die Geschwindigkeit der Fahrzeuge ergibt sich dabei aus der Anzahl von Zellen, die sie pro Zeiteinheit durchqueren. Auf diese Weise kann bereits das gesamte Autobahnnetz Nordrhein-Westfalens in Echtzeit simuliert werden. Bald sollen mit diesem Zellular-Automaten" Verkehrsprognosen ähnlich dem Wetterbericht möglich sein.

Bereits heute kann mit Hilfe der Daten aus Zählschleifen und Ampelanlagen die jeweils aktuelle Verkehrssituation in der Duisburger Innenstadt auf einer Karte dargestellt werden. Die Karte ist im Internet abrufbar unter http://www.comphys.uni-duisburg.de/OLSIM.

Das Besondere an dem Projekt "SANDY" ist die Zusammenarbeit von Forschern mit ganz unterschiedlichen Ansätzen. "Wir haben uns in einer einmaligen Konstellation zusammengefunden", so Reinhart Kühne, "das gibt große Synergie-Effekte." Angesichts der erhofften Ergebnisse erscheint die Förderung vom Bund gering. "Drei Millionen sind Peanuts", meint Kühne, "der Forschungsminister kommt sehr billig weg."

Offensichtlich ist auch Jürgen Rüttgers ein Anhänger der Chaostheorie – und erhofft sich von kleinen Summen riesige Forschungseffekte.

## Wie die Chaos-Forschung entstand

## Kleine Ursache, große Wirkung

Unseren Urvätern war die Natur eine unbegreifliche Angelegenheit. Nur die Idee von allmächtigen Göttern brachte Ordnung ins scheinbare Chaos von Stürmen und Erdbeben: Wenn es blitzte und donnerte, hatte man durch Unartigkeiten den Zorn des Zeus erregt.

Erst vor 300 Jahren wurden die Götter entwaffnet:
Newton beschrieb die Bahn der Planeten; Franklin entdeckte die Elektrizität der Gewitter. Die Götter waren gestürzt – dafür aber setzte ein neuer, ebenso intensiver Glaube ein: der Glaube an die Erklär- und Berechenbarkeit sämtlicher natürlicher Phänomene.

Aber mitten in der schönsten Technik-Euphorie tauchten plötzlich die ersten Zweifel auf. Zu Beginn unseres Jahrhunderts entdeckte der französische Mathematiker Henri Poincaré, daß es Systeme gibt, in

denen winzige Störungen dramatische Wirkungen erzeugen können. Poincaré hatte das Chaos wiederentdeckt. Er empfand seine Ergebnisse allerdings als so "seltsam", daß er "es nicht aushielt, weiter darüber nachzudenken".

In den sechziger Jahren fand der amerikanische Meteorologe Edward Lorenz in seinen Gleichungen eben das, was Poincaré so beunruhigt hatte: den Effekt der kleinen Ursachen mit riesigen Wirkungen.

Nachdem ein Wetter-Computer anhand von verschiedenen Anfangswerten eine Vorhersage berechnet hatte, ließ Lorenz ihn die gleiche Rechnung noch einmal ausführen – mit einer minimalen Änderung: Die vierte Nachkommastelle eines einzigen Wertes wurde verändert. Das sensationelle Ergebnis: Jetzt prognostizierte der Computer plötz-

lich Regen, wo er zuvor Sonnenschein vorhergesagt hatte. Bei einer Änderung der sechsten Nachkommastelle spuckte der digitale Wetterfrosch wieder eine andere Prognose aus.

Der sprichwörtliche "Schmetterlingseffekt" war entdeckt: Theoretisch reicht eine minimale Ursache wie der Flügelschlag eines Schmetterlings über Brasilien aus, um einen Wirbelsturm über Texas auszulösen. Das war der Beginn der Chaosforschung.

Der Vorteil der Chaostheorie: Komplexe Muster lassen sich auf einfache Gleichungen zurückführen. Durch gezielte Eingriffe können chaotische Systeme stabilisiert werden. Angewendet wird die Theorie derzeit etwa bei der Übertragung komplexer Bilder oder bei der Beschreibung und Regulierung von Strömungsverhältnissen. jmw