

## Eine kleine Lücke, ein großer Kollaps

*Viele reden von der Welt als immer dichterem Netzwerk. Nur wenige wissen, dass dieses Netz aus einer Hierarchie von Abhängigkeiten besteht. Fällt ein Punkt aus, kann das zur Katastrophe führen. Seit 9/11 wird intensiv geforscht, wie dieser Ausnahmezustand zu verhindern wäre.*

Elke Ziegler

Als am 14. August 2003 plötzlich die Lichter in mehreren US-amerikanischen und kanadischen Großstädten ausgingen, tappten nicht nur die Bewohner im Dunkeln. Auch Experten staunten über die Instabilität des Stromnetzes und das Ausmaß des Ausfalls.

Netzwerkforscher rund um die Physikerin Réka Albert von der Pennsylvania State University können diese Verwunderung nicht teilen, im Gegenteil: Dass der Strom gleich in größeren Regionen ausfiel, lasse sich durch den speziellen Charakter des Stromnetzes erklären, führen die Forscher in einer kürzlich publizierten Analyse aus. Beim Stromnetz handelt es sich nämlich um ein skalenfreies Netzwerk (siehe Wissen), das aus einer großen Anzahl von Verzweigungen zwischen den Kraftwerken, Verteilstationen und Abnehmern besteht. 14.099 Knotenpunkte konnten die Forscher im sogenannten „North American Power Grid“ identifizieren, die aber nicht alle gleich wichtig sind. 40 Prozent der Verteilstationen beliefern nur einige bis maximal hundert Stromleitungen. Aber etwa ein Prozent spielt für mehr als eine Million Leitungen eine Rolle.

Wie die Forscher zeigen konnten, ist das gesamte Netzwerk massiv davon betroffen, wenn solche zentralen Knotenpunkte gezielt ausgeschaltet werden: Gehen nur zwei Prozent der Mittelpunkte (Hubs) vom Netz, entfällt die Stromversorgung gleich zu 60 Prozent.

### Alarmglocken läuten

Seit dem Anschlag auf das New Yorker World Trade Center am 11. September 2001 läuten bei derartigen Berechnungen die Alarmglocken. Durch sie wird drastisch sichtbar, was bisher oft nur abstrakt formuliert wurde: Die Welt wird immer dichter Netzwerk. Und je enger die Netzwerke geknüpft sind, desto schlimmer sind die Auswirkungen von Angriffen. Der gern als Netzwerkpapst betitelte Physiker Albert-László Barabási konnte nachweisen, dass praktisch alle modernen Netzwerke als skalenfrei zu klassifizieren sind. Auch das

Internet fällt laut seiner Analyse in diese Kategorie: Solange nur unwichtige Elemente – beispielsweise Hunderte private Websites mit wenigen Links – ausfallen, bleibt das gesamte Gebilde unbeeinträchtigt. Wenn aber zentrale Knotenpunkte im Netz wie Google, Yahoo oder E-Bay offline gehen, würde es innerhalb kürzester Zeit in Fragmente zerfallen.

Die Struktur ergibt sich aus der Art des Wachstums: Neue Seiten im World Wide Web verweisen auf bereits bestehende, wodurch diese auf immer mehr Seiten als Link aufscheinen. Ein Dominoeffekt, der sich nicht nur positiv – mehr Orientierung durch zentrale Anlaufstellen –, sondern bei Ausfall oder Zerstörung auch negativ auswirken kann. Zu diesen Schlussfolgerungen kam Barabási durch ein Softwareprogramm, das Tausende Websites auf die Anzahl ihrer Links und ihre Ziele durchsuchte. Barabási selbst verglich die Struktur des Internets mit dem Flughafennetz in den USA: Der Großteil der Flughäfen ist klein, aber alle sind mit wirklich großen Hubs wie Chicago, Atlanta, New York oder Los Angeles verbunden.

Bei solchen Analysen ist es kein Wunder, dass Netzwerkforschung in Zeiten terroristischer Bedrohung in ist. „Sie ist ein Instrument, mit dem man die zunehmende Komplexität



Foto: Renée Cuhaj

verstehen lernen kann“, erklärt der Wissenschaftler Harald Katzmair, der sich mit seiner Forschungsgesellschaft FAS.research auf die Analyse sozialer Netzwerke spezialisiert hat. Die Anwendungsgebiete sind daher breit gestreut: Von der Verbreitung von Seuchen bis zur Analyse des E-Mail-Verkehrs in Unternehmen reichen die aktuellen Forschungen.

### Finanznetze checken

In Österreich haben sich Wissenschaftler bisher neben Untersuchungen sozialer Netze auf die Analyse des Banken- und Finanzsektors konzentriert. Seit dem 11. September besonders gut dotiert sei die Analyse, ob und wie sich der Kollaps einer Bank auf das gesamte Netz an gegenseitigen Krediten und Zahlungsverpflichtungen aus-

wirkt, schildert Stefan Thurner, Leiter der Complex Systems Research Group an der Medizinischen Universität Wien. Mit Daten der Oesterreichischen Nationalbank konnten sie für das heimische System feststellen, dass „die Wahrscheinlichkeit für einen Folgekonkurs bei nur zehn Prozent liegt“, so Helmut Elsinger, der von wirtschaftswissenschaftlicher Seite am Projekt mitarbeitet.

Sehr wohl stellten die Forscher aber Folgen für regional starke Banken fest, von denen wiederum viele kleine Institute abhängen. Lässt man eine solche Bank in einer Simulation kollabieren, hätte das dramatische Folgewirkungen. Die Arbeit der Wiener trifft auch international auf großes Interesse. Erste Gespräche werden bereits mit der Bank of England und der Europäischen

Zentralbank geführt, erzählt Stefan Thurner. Hinter all diesen Arbeiten steckt die Hoffnung, vernetzte Systeme besser vor Angriffen schützen zu können.

Auch wenn die Resultate nicht immer so konkret sind wie jene von Réka Albert und ihren Kollegen, die vorschlugen, durch zusätzliche Leitungen und kleine regionale Kraftwerke Ausweichrouten für den Strom zu schaffen – durch Netzwerkforschung entsteht ein deutliches Bild der Verletzlichkeit moderner Gesellschaften.

**DER STANDARD Webtipp:**  
[www.igaia.sandia.gov/igaia/NAPG/napg.html](http://www.igaia.sandia.gov/igaia/NAPG/napg.html)  
[www.fas.at](http://www.fas.at)  
[www.complex-systems.meduniwien.ac.at](http://www.complex-systems.meduniwien.ac.at)  
[www.phys.psu.edu/~ralbert](http://www.phys.psu.edu/~ralbert)  
[www.nd.edu/~alb](http://www.nd.edu/~alb)

## Die Uni als Informationsvermittler

Netzwerkanalyse zeigt: Ohne Institute geht in der angewandten Forschung gar nichts

Ohne Kooperation sind Forschung und Innovation heute nicht mehr denkbar, heißt es. Wie aber kann man abseits langweiliger Aufzählungen von Kooperationsprojekten erfassen, ob Forschungseinrichtungen tatsächlich miteinander in Kontakt stehen oder nur isoliert vor sich hinwerken? „Soziale Netzwerkanalyse“ heißt laut Harald Katzmair, Geschäftsführer der sozialwissenschaftlichen Forschungsgesellschaft FAS.research, die Antwort.

Mit seiner Methode können er Netzwerkbeziehungen

nicht nur durch Querverbindungen visualisieren, sondern auch die Bedeutung der Mitglieder messen, erklärt er. Durchgeführt hat er eine solche Analyse vor kurzem für den Verband der Technologiezentren Österreichs (VTÖ) und – in einem weiteren Schritt – für die wirtschaftsnahe kooperative Forschungslandschaft Österreichs.

Für den VTÖ recherchierten Katzmair und seine Mitarbeiter, welche Firmen in welchen Zentren engagiert seien. Doppel- oder Mehrfachengagements von Unternehmen wei-

sen auf Querverbindungen hin, die sich durch eine von den Wissenschaftlern programmierte Spezialsoftware in Form einer netzförmigen Grafik veranschaulichen lassen. „Der VTÖ bekommt damit einen ersten Überblick, welche Potenziale für neue Kontakte oder Kooperationen im Netzwerk stecken, bisher aber vielleicht noch nicht stark genug angesprochen wurden“, erklärt Katzmair.

Mehr Aufschluss über die zentralen Player der wirtschaftsnahen Forschung Österreichs gibt die zweite FAS-

Analyse zur kooperativen Forschung. 590 Unternehmen und Forschungseinrichtungen sowie 67 Kompetenzzentren wurden dabei auf ihre Kooperationsprojekte durchleuchtet.

„Die kooperative Forschung Österreichs wird durch einzelne Universitätsinstitute zusammengehalten“, lautet die Schlussfolgerung Katzmairs. „Die Unis funktionieren als Informationsvermittler zwischen Unternehmen.“ Ohne sie würde die Infrastruktur der angewandten Forschung zerfallen. (ez)

### WISSEN

#### Knoten & Robustheit

■ **Skalenfreie Netzwerke:** Wurde als Begriff vom Physiker Albert-László Barabási für Netzwerke geprägt, deren Punkte nicht überall gleich stark geknüpft sind. Zwar gibt es keine von außen sichtbare Abstufung der Verknüpfungen, also keine Skala oder Größenordnung, sehr wohl aber zentrale Punkte. Hubs sind die Knotenpunkte von scheinbar hierarchielosen Netzwerken. ■ **Robustheit:** Bezeichnet die Fehleranfälligkeit von Netzwerken bzw. ihre Fähigkeit, den Ausfall einzelner Knoten auszugleichen. Nicht skalierte Netzwerke sind robust, solange nicht gezielt ihre Hubs ausfindig gemacht und außer Betrieb gesetzt werden. In exponentiellen oder zufälligen Netzwerken sind alle Punkte gleich stark verknüpft, sie sind das Gegenteil von skalenfreien Netzwerken. Während in exponentiellen Netzwerken die fünf Punkte mit den meisten Links nur mit 27 Prozent aller Knoten verbunden sind, stehen sie in skalenfreien Netzwerken mit 60 Prozent aller Knoten in direkter Verbindung. (ez)



– die Nummer 1 bei Online-Promotions

- langjährige Promotion-Erfahrung
- mehr als 400 abgewickelte Online-Promotions
- powerwinning Content Network für maximalen Promotion-Response

info: [info@twyn.com](mailto:info@twyn.com), [www.twyn.com](http://www.twyn.com), Tel. 07242/224080-389