

Mathematik der Macht

Die junge Wissenschaftsdisziplin der Netzwerkanalyse boomt. Mit ihr können Wissenschaftler die Netzwerke der Einflussreichen ebenso aufzeigen wie Rückkoppelungsmechanismen im menschlichen Genom.

TEXT: GOTTFRIED DERKA • ILLUSTRATION: THOMAS HAMANN

AUF DEN GIPFELN, da sitzen die Mächtigen. Je höher der Berg, desto größer der Einfluss. Auf den Hängen tummeln sich die Möchtegarns und die Aufstreber, in den Tälern ducken sich die Ohnmächtigen. Die bunte Landkarte hängt im Konferenzraum des privaten Forschungsinstituts FAS.research im neunten Wiener Gemeindebezirk. Die Berge und ihre Besitzer sind kein Ausschnitt alpenländischer Topografie, sondern symbolische Darstellungen der Besitzverhältnisse und gegenseitigen Beteiligungen in Österreichs größten Unternehmungen. Je größer der Wert von Firmen und Firmenanteilen, je besser die Position im Beziehungsgeflecht, desto höher der Gipfel.

„Auch nach Jahren des Analysierens von Netzwerken kommt es immer noch vor, dass es mir den Atem verschlägt angesichts der komplexen und vielschichtigen Schönheit von Netzwerktopografien“, schwärmt FAS.research Leiter Harald Katzmair vor dem Panorama-Poster. Wer auf dem höchsten Gipfel sitzt, das will er allerdings nicht in der Zeitung lesen. Diese Information soll der zahlenden Kundschaft vorbehalten bleiben. „Die Informationen, die dieser Karte zu Grunde liegen, sind allesamt öffentlich zugänglich“, so Katzmaier. Doch die Zusammenschau ermöglicht ungeahnte Einblicke, die etwa für Marketing-Strategen besonders wertvoll sein können. „Die können mit einem Blick erkennen, wer die wichtigsten und einflussreichsten Kunden sind.“ Noch ist Katzmair in der ganzen EU der Einzige, der derartige Landschaftsbilder kommerziell anbietet. Doch es sei „lediglich eine Frage der Zeit, bis wir Konkurrenz bekommen“. Tatsächlich hat sich die Technik der so genannten Netzwerkanalyse in den ver-

gangenen zehn Jahren von einer Spielweise für Mathematiker und Soziologen zu einer universell einsetzbaren Methode mit scheinbar unbegrenzten Anwendungsmöglichkeiten. Wo immer es darum geht, Strukturen und Verbindungen sichtbar zu machen, die dem ersten Blick verborgen bleiben, wollen Netzwerkanalysierer hel-

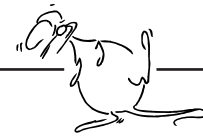
Auch die Kommunalpolitik erhofft sich Tipps: Ein Wiener Gemeinderatsmandatar lässt sich gerade ausrechnen, wer die zentralen Figuren der Wiener Gesellschaft sind.

fen. Ihr Argument: Die Darstellung von Beziehungen und Verbindungen sage mehr aus als bloße statistische Zahlenkolonnen, weil nur so die stärksten Machtzentren und die wichtigsten Schaltstellen erkennbar werden.

Nachfrage nach den bunten Schaubildern gibt es genug: Marketing-Leute wollen herausbekommen, wer die wahren Opinion-Leader sind, die sie als Erste von ihrem Produkt überzeugen müssen. Sicherheitsbehörden wiederum versuchen, Terrornetzwerke zu entwirren – seit den Anschlägen vom 11. September 2001 fließen in den USA Millionen von Dollar in

die Entwicklung einschlägiger Methoden, mit deren Hilfe die wichtigsten Terrorpaten identifiziert werden sollen. Genetiker versuchen unterdessen, die komplexen Wechselwirkungen zwischen Genen zu verstehen. Ökonomen simulieren die wirtschaftlichen Verflechtungen von Banken, um heraus zu bekommen, was passiert, wenn der Konkurs eines Instituts ein Loch in das fein gesponnene Netzwerk der Finanzwelt reißt. Die Ausbreitung von Viren – ob im Internet oder zwischen Menschen – lässt sich ebenso simulieren wie die sozialen Strukturen in Ameisenstaaten oder Delfinschwärmen. Selbst die Kommunalpolitik erhofft sich gute Tipps von der Netzwerkanalyse. Ein frisch gebackener Wiener Mandatar will sich errechnen lassen, wer denn nun die zentralsten Figuren der Wiener Gesellschaft sind. Denn die zu kennen würde bedeuten, dass im Bedarfsfall auch nützliche Kontakte zu deren Bekanntenkreis herstellbar wären. Und nicht zuletzt hat die Netzwerkanalyse auch noch ein paar unterhaltsame Seiten mit Gesellschaftsspiel-Charakter.

Einer der Päpste der neuen Zunft ist der an der University of Notre Dame im US-Bundesstaat Indiana lehrende ungarische Physiker Albert-Laszlo Barabasi. Er veröffentlichte jüngst ein Werk mit dem bezeichnenden Titel „Netzwerke sind überall“, in dem er die Erfindung dieser Art von Fragestellungen dem Petersburger Mathematiker Leonhard Euler zuschreibt. Der hat bereits im 18. Jahrhundert komplexe Systeme als Netzwerke von Knoten und dazwischen liegenden Verbindungen betrachtet. Diese Technik ist bis heute die Grundlage der Netzwerkanalyse geblieben. Die Frage lautete damals wie heute: Welcher Knoten hat wie viele Verbindun-



gen zu anderen Knoten und wie stark sind diese Verbindungen und wie zahlreich und wie stark sind die Verbindungen der Nachbarknoten? Oder einfacher formuliert: Wer tut was mit wem? Zum Beispiel in der Geschäftswelt.

Der kalifornische Webdesigner und Polit-Aktivist Josh On hat das Netzwerk zwischen den Aufsichtsräten der größten Amerikanischen Firmen erstellt und macht so die Verflechtungen der Konzerne untereinander und mit staatlichen Beratungsgremien deutlich. „Diese Leute leiten die mächtigsten Firmen und Institutionen der Welt“, sagt On, „und wir haben keine Ahnung, wer sie sind.“ Seine Daten beruhen nicht etwa auf geheimen Spitzelberichten, sondern sind aus den Firmenbüchern der Aktiengesellschaften ablesbar. Für sich isoliert betrachtet, ist jede Aufsichtsrats-Besetzungsliste nicht viel wert. Erst in einer Karte, die verzeichnet, in welchen anderen Firmen ein Aufsichtsrat noch sitzt, werden Firmenverflechtungen sichtbar. On hat dieses Netzwerk unter www.theyrule.net ins Internet gestellt. Dort kann jeder durch das Gewebe von Bekanntschaften und Geschäftsbeziehungen etwa zwischen großen Finanzinstituten und der Pharmaindustrie browsen. Der Klick auf einen Namen lässt Freunde und Geschäftspartner in anderen Firmen auftauchen, so lange, bis der ganze Bildschirm mit einem Netz von grauem Balken-Filz überzogen ist, in dem Warren Buffet mit IBM und IBM mit Coca-Cola und Coca-Cola mit Pepsi-Cola verbunden ist. Das Phänomen des „Old Boys Network“ ist freilich keine neue Erkenntnis der Netzwerkanalysten. Deren Stunde schlägt erst dann, wenn die zu analysierenden Datenmengen groß werden. Dann braucht es komplizierte Algorithmen, damit die grafische Darstellung des Netzwerkes auch tatsächlich die wahren Machtverhältnisse widerspiegeln.

Das ist mit ein Grund dafür, dass die neue Disziplin erst in den vergangenen zehn Jahren so richtig in Schwung gekommen ist. Davor gab es die notwendigen Rechnerkapazitäten für die Darstellung großer Netzwerke einfach noch nicht. Das ist mittlerweile kein Problem mehr. Und der Slowene Vladimir Batagelj hat mit seinem Programm „Pajek“ auch noch die

wichtigste Software für die Visualisierung großer Netzwerke als Freeware ins Internet gestellt. Fehlendes Handwerkszeug war freilich nicht das einzige Hindernis auf dem Weg von Gauss' Knoten zu Katzmairs Berglandschaft. Das Internet war eine Triebfeder der Entwicklung. Katzmair: „Das Web hat das Bewusstsein dafür geschärft, dass die Welt eine Welt der Netzwerke ist.“ Unter diesem Eindruck kam es auch zur Symbiose zweier Wissenschaftsdisziplinen, die lange Zeit weitgehend berührungsfrei nebeneinander entwickelt wurden. Einerseits betrieben die Soziologen ihre sozialen Netzwerkanalysen. Auf der anderen Seite gab es die meist unter Naturwissenschaftlern rekrutierten Komplexitätsforscher. Die so entstandene transdisziplinäre Wissenschaft erschöpft sich aber nicht im bloßen Abbilden von Strukturen. Denn wenn ein Netzwerk erst einmal durchschaut ist, dann lassen sich auch Prognosen darüber erstellen, was Veränderungen in einzelnen Schaltstellen bewirken können. Genau das ist auch der Grund, warum Stefan Thurner Methoden der Netzwerkanalyse nutzt, um das Zusammenspiel menschlicher Gene zu untersuchen. „Würde ich das gesamte Netzwerk, mit dem die rund 40.000 menschlichen Gene miteinander interagieren, kennen, dann wüsste ich, was das Leben ausmacht“, so Thurner.

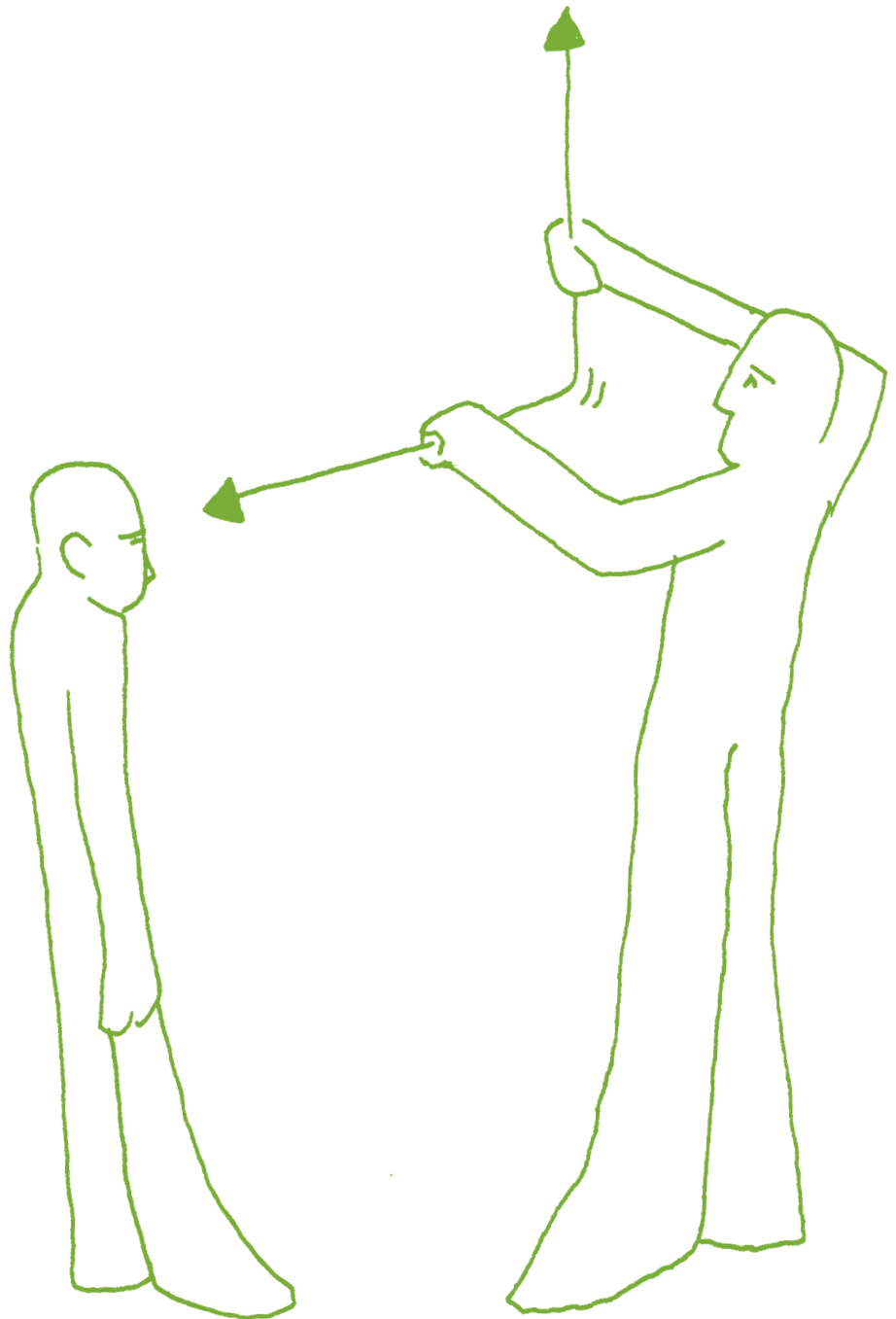
Weil bei solchen Fragestellungen aber selbst die stärksten Simulationscomputer versagen, beschränkt sich der Forscher von der Medizinuniversität Wien zunächst auf die Untersuchung von 400 Genen. Die stehen allesamt im Verdacht, auf verschlungenen Pfaden bei der Entstehung von Mikroangiopathie zusammenzuspielen. Mikroangiopathien nennen Experten Verdickungen, die bei Diabetikern in den feinsten Äderchen und Venen entstehen und so die notwendige Durchblutung vor allem von Nerven, Augen und Nieren bremsen. Fest steht, dass nicht ein Gen allein für diese Krankheit verantwortlich ist. „Das ist nur bei ganz wenigen Erkrankungen der Fall“, so Thurner. Fast immer ist ein ganzes Netzwerk von Genen für die Entstehung von Krankheiten verantwortlich. Und dieses Netzwerk muss erst einmal analysiert werden: Wird ein Gen aktiviert, dann zieht das eine ganze Kette von

Wer erfand die „kleine Welt“?

Bekannt geworden mit der Idee ist der US-Forscher Stanley Milgram. Er hat in den späten Sechzigern das „Small World“-Phänomen untersucht und gilt als einer der Pioniere der Netzwerktheorie. Mitte Juni staunte die Leserschaft des Wissenschaftsmagazins *Science* jedoch nicht schlecht, als der Budapester Chemiker Tibor Braun per Leserbrief auf die Arbeit seines Landsmannes Frigyes Karinthy aufmerksam machte. Der Literat hatte schon 1929 eine Sammlung von Kurzgeschichten herausgebracht, darunter eine mit dem Titel „Kettenglieder“. In der Geschichte wetten die beiden Protagonisten, ob es möglich wäre, zwei beliebige Personen durch eine Kette persönlicher Bekanntschaften miteinander zu verbinden. Als Zielperson wird die Literaturnobelpreisträgerin von 1909, Selma Lagerlöf, ausgewählt. „Nichts leichter als das“, lässt Karinthy den Herausgeforderten sagen. Der entwirft – „nachdem er nur zwei Sekunden nachgedacht hat“ – folgende Kette: „Als Nobelpreisträgerin hat Selma Lagerlöf sicher den schwedischen König Gustav kennen gelernt, der hat ihr ja den Preis überreicht. Gustav wiederum ist ein leidenschaftlicher Tennisspieler, der an internationalen Wettbewerben teilgenommen hat. Dabei hat er nachweislich mit Bela Kehrling, dem ungarischen Gewinner des olympischen Tennisturniers in Göteborg 1924 gespielt. Ich selbst spiele auch Tennis und habe Kehrling kennen gelernt. Hier ist also die lückenlose Kette der Bekanntschaften. Und ich habe nur zwei Bindeglieder gebraucht und nicht fünf!“ Das „Small World Phenomenon“ war also schon im Detail beschrieben, 40 Jahre bevor Stanley Milgram damit bekannt wurde. Der Leserbriefschreiber Tibor Braun bleibt dennoch diplomatisch: Karinthy's Werk sei nie ins Englische übersetzt worden, Milgram „konnte es also gar nicht gekannt haben“.

Reaktionen bei anderen Genen nach sich. Sie werden ihrerseits entweder stärker aktiviert als bisher, oder sie werden gedämpft. Das wiederum hat Auswirkungen auf weitere Gene. Um das Beziehungsgeflecht der Mikroangiopathie-relevanten Gene zu verstehen, wird Thurner gemeinsam mit dem Team von Nikolaus Wick zunächst in Laborversuchen die Zellen der Gefäßwände untersuchen, um herauszubekommen, welche der 400 verdächtigen Gene in welcher Phase des Krankheitsverlaufes wie stark aktiv sind. „Wenige hunderte Experimente“ sollen reichen, um die Wechselwirkungen zu rekonstruieren. Der nächste Schritt erfolgt dann am Computer. Der bekommt die Topografie des Netzwerkes samt allen Rückkoppelungsmechanismen und Beziehungen zwischen den Genen eingespeichert. Von nun an können Thurner und seine Mitarbeiter mit dem virtuellen Experimentieren beginnen. Per Mausklick werden sie im digitalisierten Netzwerk einzelne Gene an- oder ausschalten. Der Computer ermittelt dann, welche Kettenreaktionen und Wechselwirkungen dadurch ausgelöst werden. Ziel ist es, die wichtigsten Schalter unter den beteiligten Genen zu finden. „Wenn einmal klar ist, welche Gene eine zentrale Rolle einnehmen, dann kennen wir auch den besten Punkt, um mit Hilfe von maßgeschneiderten Medikamenten einzugreifen, um den Verlauf der Krankheit zu bremsen“, sagt Thurner.

Doch nicht immer geht es bei den Netzwerken um Macht, Leben und Tod. Der US-Amerikaner Stanley Milgram etwa formulierte in den späten Sechzigerjahren sein Gesetz von den „Six Degrees of Separation“. Die Regel besagt, dass jeder Mensch auf dieser Erde einen beliebigen anderen durch eine Kette von persönlichen Bekanntschaften erreichen kann. Milgrams Experimente brachten ihn zu dem Postulat, dass es höchstens sechs solcher Bindeglieder brauche, um den gesamten Globus mit einem lückenlosen Beziehungsnetzwerk zu überziehen. Mittlerweile hat sich herausgestellt, dass Milgram längst nicht der Erste war, der dieses „Small World Phänomen“ beschrieben hat (siehe „Frage an die Maus“ weiter oben). Der Soziologe Duncan Watts von der Co-



NETZWERKE, WOHIN MAN SCHAUT

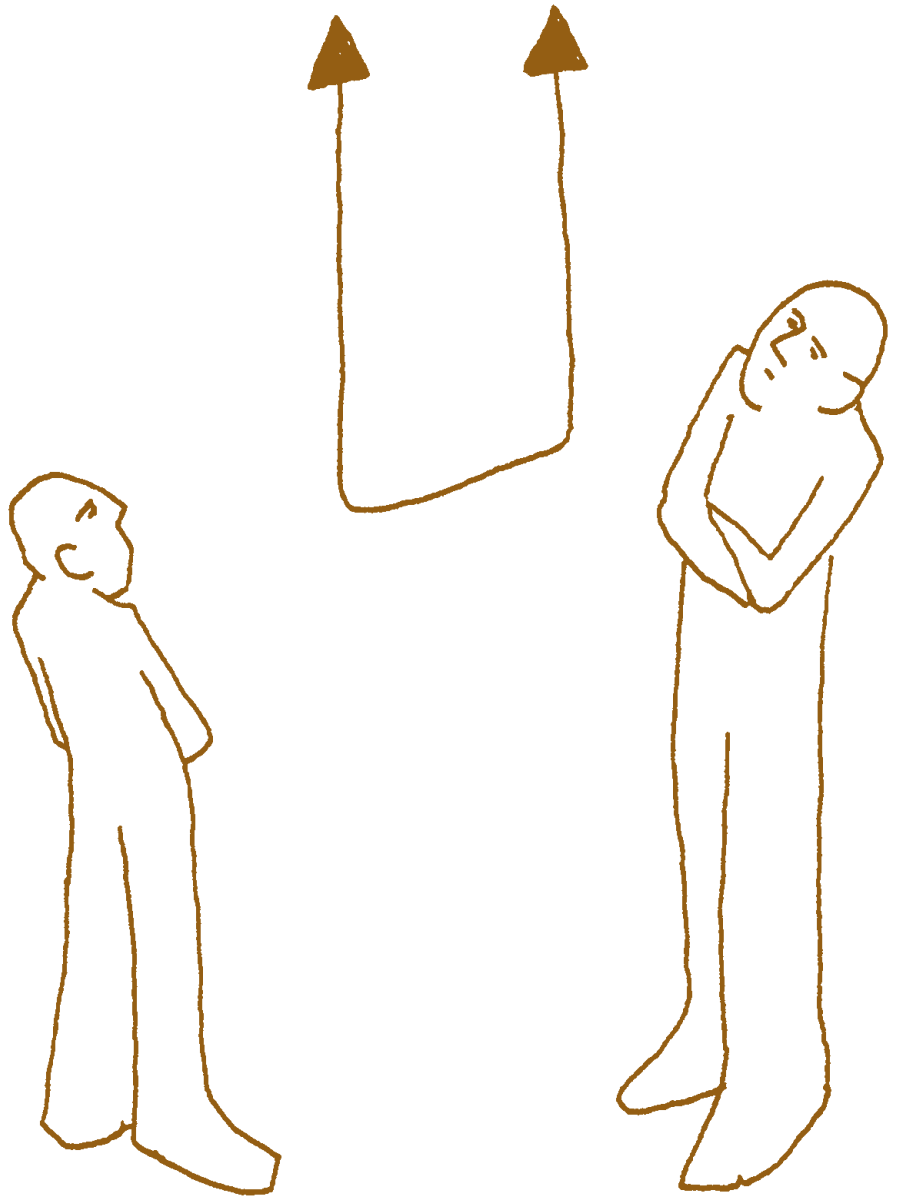
Ihre Erforschung wird mit jedem technischen Fortschritt komplexer, einzig die Grundfrage ist stets dieselbe geblieben: Wer tut was mit wem?

lumbia University in New York versucht nun, Milgrams These noch einmal zu überprüfen. Wer sich auf <http://smallworld.columbia.edu> registrieren lässt, bekommt per E-Mail eine Zielperson genannt. Nun soll versucht werden, die E-Mail an jemanden weiterzuschicken, der jemanden kennen könnte, der wiederum jemanden kennen

Wenn ein Netzwerk erst einmal durchschaut ist, lassen sich auch Prognosen erstellen, was Veränderungen in einzelnen Schaltstellen bewirken können.

könnte, der jemanden kennen könnte, der die Zielperson kennt. Watts möchte mit diesen Kettenbriefen im Dienste der Wissenschaft herausbekommen, ob wirklich sechs Vermittler ausreichen, wie das Milgram behauptet hat, oder nicht.

Noch weniger zum Fortbestand der Menschheit tragen jene Schrullis bei, die sich mit dem so genannte Erdös-Faktor beschäftigen. Der Faktor ist nach dem ungarischen Mathematiker Paul Erdös benannt, der im Verlauf seiner Karriere mehr als 1.500 wissenschaftliche Publikationen verfasste. Insgesamt hat er dabei mit 500 Koautoren zusammengearbeitet. Diese direkten Koautoren haben durch ihre Nähe zum Meister den Erdös-Faktor 1. Wenn diese Koautoren ihrerseits eigene Arbeiten mit anderen Koautoren verfassen, dann bekommen Letzere den Erdös-Faktor 2. Eine ganze Forschergeneration kann auf diese Weise untereinander vernetzt werden: Albert Einstein und Niels Bohr haben einen Erdös-Faktor von 2, Erwin Schrödinger 8, Richard Feynman 4, Francis Crick 7, James Watson 8. Mittlerweile machen sich Forscher einen Sport daraus, einen möglichst niedrigen Erdös-Faktor zu erreichen. „Mit ein paar Stunden Internet-Recherche konnte ich für



GENFORSCHER, MARKETER, TERRORFAHNDER

Krankheiten aufspüren, Meinungsführer ausfindig machen, Terroristen enttarnen – Netzwerkanalysten machen's möglich

meinen Bruder, einen praktizierenden Hausarzt, einen Erdös-Faktor von 9 nachweisen“, freut sich der amerikanische Chef-Erdösologe Jerry Grossmann. Und im April hat ein Forscher auf eBay tausend Dollar bezahlt, um als Koautor einer wissenschaftlichen Publikation seinen Erdös-Faktor zu verbessern. Einer, der auch im Machtnetzwerk von Josh On an ganz zentraler Stelle steht, hat solche

Mätzchen nicht nötig. Microsoft-Chef Bill Gates hat dank einer Mathematik-Publikation aus dem Jahre 1979 einen Erdös-Faktor von 4. Über die Spielerei mit dem Erdös-Faktor wird im Wissenschaftsjournal *Science* gerne unter der Rubrik „Fun“ berichtet. „Macht gar nichts“, sagt der Netzwerk-Analyst Katzmaier. „Ein bisschen Spaß in der Wissenschaft ist ja nicht das Schlechteste.“ ■