




Flugüberwachung:  
Nur mithilfe von  
Algorithmen ist die  
Komplexität des  
Luftverkehrs noch  
beherrschbar



# Algorithmen: Wie die Macht der Zahlen unseren Alltag bestimmt

Die komplexen Rechenvorschriften für Computer machen uns das Googeln möglich, sie sorgen für pünktliche U-Bahnen und helfen bei der Verbrechensbekämpfung. Sie lassen aber auch Börsen abstürzen. Wie groß ist die Gefahr, dass wir die Herrschaft über unser Leben an die Algorithmen verlieren?

TEXT: Chris Löwer

**W**er U-Bahn fährt, muss kein Mathematiker sein. Aber wer die Fahrpläne für die U-Bahn aufstellt, kommt an der Mathematik nicht vorbei. Denn optimal getaktete Züge sind ein hochkomplexes Problem; die möglichen Fahrplanvarianten sind unüberblickbar. »Die Anzahl möglicher U-Bahn-Fahrpläne übersteigt die Zahl der Atome auf der Erde«, erläutern die Forscher vom DFG-Forschungszentrum Matheon.

Sie müssen es wissen: Das Zentrum mit Sitz an der Technischen Universität (TU) Berlin entwickelt die Mathematik für komplexe Technologien. Solchen Spezialisten ist es zu verdanken, dass die Hauptstädter im Schnitt nur noch zweieinhalb Minuten beim Umsteigen auf die nächste U-Bahn warten müssen. In zwei Dritteln der Fälle gibt es schnelle Anschlüsse, und ein ganzer Zug konnte auch noch eingespart werden.

Wie machen die Mathematiker das? Ganz einfach: indem sie mit Algorithmen arbeiten. Die errechnen blitzschnell, welche Fahrplanmöglichkeiten für das gesamte Netz praktikabel sind, indem sie alle schlechten Optionen ausschließen. Das Ziel ist der optimale Fahrplan.

Doch was ist das überhaupt, ein Algorithmus? Mathematiker definieren ihn so: Ein Algorithmus ist eine Berechnungsvorschrift zur Lösung eines Problems oder einer Klasse von Problemen. Klingt reichlich abstrakt.



Anschaubarer erklärt es Martin Grötschel, Mathematikprofessor an der TU Berlin und Vizepräsident des Konrad-Zuse-Zentrums: »Ein Algorithmus ist so etwas wie ein präzises Kochrezept. Ziel und Zutaten müssen festgelegt und dann klare Handlungs-

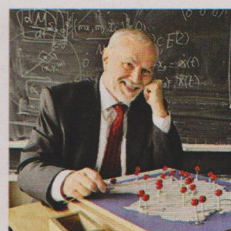
**Mathematiker Ralf Borndörfer optimiert Busfahrpläne: Morgens wollen die Massen rein in die Stadt, abends raus**

spiel: die Steuerung der Aufzüge in einem Hochhaus. Würde man als Ziel allein den maximalen Durchsatz verfolgen, so könnte das dazu führen, dass die Fahrstühle nur zwischen den stark frequentierten unteren Stockwerken verkehren, aber niemals das Penthouse bedienen. Oder: Würde man bei der Gestaltung eines U-Bahn-Fahrplans allein auf kurze Umsteigezeiten an den Hauptknotenpunkten achten, könnte das zu unerträglichen Wartezeiten in den Randbereichen führen.

## Dank Algorithmen verfassen Computer sogar aktuelle Sportnachrichten

anweisungen gegeben werden, was wann wie in welcher Reihenfolge geschehen soll.« Im Grunde seien wir auch in unserem nicht-technischen Alltag von solchen Handlungsanweisungen umgeben, wie etwa Bastel- oder Strickanleitungen, sagt Grötschel. »Wir nehmen sie nur nicht als Algorithmus wahr.«

Die Anforderungen an mathematische Alltags-Problemlöser sind natürlich viel komplexer. Bei-

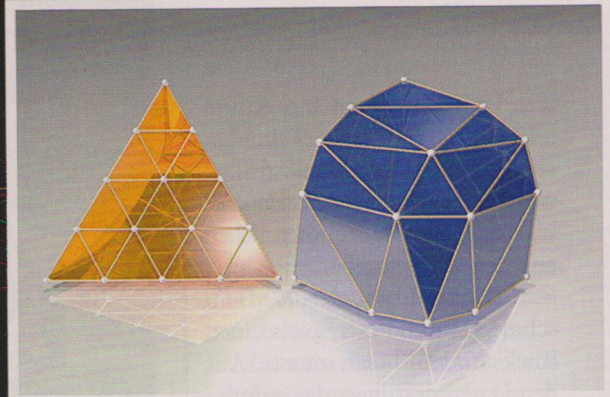


**»Optimierungspapst« Martin Grötschel von Matheon kennt alle mathematischen Tricks**

**A**lgorithmen, die derartige Probleme lösen sollen, müssen komplexe Kombinationen von technischen Regeln berücksichtigen (Abstände zwischen Zügen, Fahrgeschwindigkeiten, Umsteigezeiten, Arbeitszeiten der Fahrer), sollen Wünsche von Fahrgästen erfüllen (kundenfreundlicher und kostengünstiger Fahrplan) und müssen Störungen abfangen. »Dabei müssen riesige Datenmengen verarbeitet werden. Erfahrungswissen von Praktikern fließt na-



Verbindungen zwischen Knotenpunkten: Das ist es, womit Fahrplan-Algorithmen letztlich rechnen. Farblich gekennzeichnet: Wie häufig eine Linie Bestandteil einer kürzesten Verbindung zwischen beliebigen Punkten ist



Im abstrakten Raumdigramm sieht man, welche Zustände ein Fahrplan nach definierten Störungen einnimmt. Ein robuster Fahrplan (l.) reagiert mit kleineren Abweichungen als ein nicht optimierter (r.)

türlich auch in die Berechnungsformeln ein«, erklärt Grötschel.

Und das funktioniert erstaunlich gut. Viele technische Systeme werden heutzutage ohne menschlichen Eingriff allein durch Algorithmen gesteuert. Telefonnetzwerke und das Internet sind dafür die besten Beispiele. Grötschel: »Alles geht rasend schnell und so gut wie immer richtig. Stellen Sie



Nur mit ausgeklügelten Algorithmen kann der Fahrplan für eine Großstadt wie Berlin überhaupt entwickelt werden

sich vor, dass ein »Fräulein vom Amt« heute noch die Verbindungen manuell stöpseln müsste!«

Algorithmen haben sich in den vergangenen 50 Jahren schleichend in unserem ganzen Leben breitgemacht, ohne dass wir ahnen, wo sie als heimliche Intelligenz überall wirken. Sie kontrollieren und steuern viele Produktionsanlagen in der Industrie. Der Flugverkehr wäre ohne sie nicht mehr vorstellbar. Kein Navigationsgerät würde ohne Algorithmen den kürzesten Weg von A nach B weisen und dabei noch Wünsche des Fahrers berücksichtigen können.

**D**amit ein Algorithmus mathematische Nüsse knacken kann, will er gefüttert werden. »Es müssen Daten jedweder Art vorliegen«, sagt Rudolf Kellermann, Sprecher des Forschungszentrums Matheon. Das können auch die Daten eines Baseball-Spiels sein, die Punktestände im Verlauf der Begegnung zum Beispiel. Solche Zahlenreihen sind das Rohmaterial für den neuen Angstgegner des Sportjournalisten: die Software »Stats Monkey« (Statistik-Affe). Mit ihr schreiben Rechner automatisch Berichte von Baseball- und Softball-Spielen für Nachrichtenportale im Internet.

Der digitale Sportreporter wurde von dem Team der Northwes-

## Medizinischer Fortschritt durch Mathe

→ **Mathematiker des Berliner DFG-Forschungszentrums Matheon** haben auch Algorithmen für die Medizin von morgen entwickelt. Statt Medikamente durch langwierige Tests im Labor zu entwickeln, sollen sie künftig am Computer maßgeschneidert werden. Nach dem »Schlüssel-Schloss-Prinzip« lassen sich Wirkstoffe molekular so konstruieren, dass sie an ein

schädliches Protein andocken, es dadurch blockieren und seine krankmachende Wirkung verhindern. Theoretisch klingt das einfach, doch praktisch sind für eine Molekülstruktur Millionen Möglichkeiten denkbar. »Ein Großteil der Rechenkapazitäten weltweit wird für die Simulation solcher Moleküle verwendet«, sagt Matheon-Sprecher Rudolf Kellermann. Spezielle Algo-

rithmen der Berliner Mathematiker automatisieren und verkürzen diesen Prozess. Sie erzeugen und analysieren Statistiken über Erfolg versprechende Strukturen, wodurch riesige Datenmengen beherrschbar werden. Durch die Algorithmen reduziert sich die Rechenzeit dramatisch, wodurch der Weg zu individuellen Medikamenten kürzer und kostengünstiger wird.

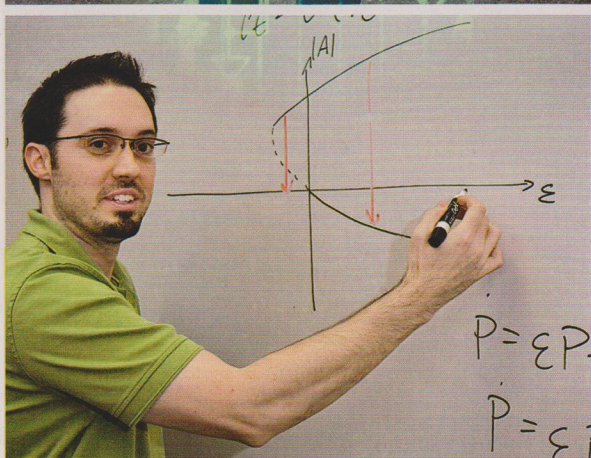
tern University aus Chicago um Larry Birnbaum entwickelt. »Unser Programm kann herausfinden, was in einem Spiel passiert ist«, erklärt er. Denn Algorithmen ziehen aus den Zahlenreihen die richtigen Schlüsse. Etwa, ob eine Mannschaft während des Spiels einen Rückstand aufholen musste. Aus den Daten destilliert der automatische Schreiberling sogar die wichtigsten Spieler und die Schlüsselszenen des Matches.

Birnbaum hat dem Programm noch ein paar andere Handlungsanweisungen verpasst: Es fasst Sportereignisse zusammen, sucht im Internet nach Zitaten der Sportler zum Spiel und fügt Fotos ein. Damit flüssige Texte entstehen, stoppelt die Software »journalistische Standardformulierungen« zusammen. Selbstredend formuliert der Statistik-Affe auch eine knackige Überschrift.

**U**nd das ist erst der Anfang. Forscher Birnbaum hat unlängst die Firma Narrative Science gegründet, mit der er auch automatisierte Polizei-, Börsen- und Unternehmensberichte an den Mann bringen möchte – das klappt so lange gut, wie die Algorithmen ordentlich mit Daten gefüttert werden können. Journalisten müssen jedoch nicht unbedingt um ihre Jobs bangen: Der Schreibroboter wäre beispielsweise mit einer analytischen Parteitagsberichterstattung überfordert – jedenfalls im Moment noch.

Aber mit Algorithmen auf Verbrecherjagd gehen? Für die Beamten des Police Department von Los Angeles und die Mathematikerin Andrea Bertozzi von der University of California in Los Angeles klingt das überhaupt nicht abstrus. Den Ermittlern soll künftig der Kollege Computer verraten, welche Gang vermutlich hinter einem Verbrechen steckt.

Dazu wurden zunächst 1000 aktenkundige Fälle aus dem Hol-



Rechenvorschriften des amerikanischen Mathematikers Martin Short enthüllten die verborgenen Verbrechenmuster

## Die Hollywood-Formel

→ Die britische Firma Epagogix Ltd. versucht, mit ihrer gleichnamigen Software Voraussagen darüber zu treffen, ob Filmdrehbücher das Zeug zum Blockbuster haben. Das Geheimnis dafür sind Textmining-Algorithmen.

Zunächst wurden viele Daten über charakteristische Details erfolgreicher Filme gesammelt, ausgewertet und systematisiert, um daraus mathematisch berechenbare Größen zu gewinnen. Die semantische Software Epagogix klopft daraufhin neue Drehbücher auf Erfolg versprechende Details ab. Klingelnde Kinokassen auf Bestellung: der Traum eines jeden Hollywoodstudio-Chefs.

lenbeck-Viertel analysiert, die aus dem Konto einer der 30 bekannten Banden gingen. Mit diesen Daten versorgt, aus denen der Algorithmus Verbrechensmuster erkennen kann, wurde seine kriminalistische Treffsicherheit anhand fiktiver Fälle erprobt. Wer Täter oder Opfer war, manchmal sogar beides, wurde ausgeblendet – das musste Kommissar Computer selbst herausfinden.

Die Forscher berichten in der Fachzeitschrift »Inverse Problems« von einer erstaunlich hohen Trefferquote: In jedem zweiten Fall ermittelte das Programm die richtige Gang als Täter. In gut drei Vierteln aller Fälle gelang es, den Täterkreis immerhin auf drei Banden einzugrenzen.

Ähnlich fortschrittlich sind die Streifenpolizisten von L.A. unterwegs. Sie patrouillieren auf einer Route, die ihnen ein von Mathematikern der Santa Clara University entwickelter Algorithmus empfiehlt. Anhand von Kriminalitätsstatistiken prognostiziert er, in welchen Straßen wann Verbrecher unterwegs sein werden. In



Seit Algorithmen Verbrechen vorhersagen, kann die Polizei von Los Angeles oft das Schlimmste verhindern

Test wurden im Vergleich zum Vorjahr fast ein Drittel weniger Einbrüche registriert, weil die Cops öfter zur richtigen Zeit am richtigen Ort waren.

**K**önnte das ganze Leben mit Algorithmen prognostizierbar werden? »Wenn es zu viele menschliche Faktoren gibt, dann stoßen Algorithmen an ihre Grenzen«, schränkt Rudolf Kellermann von Matheon ein. Aber: »Statistiken helfen diese Grenzen immer weiter auszuloten.«

Beispielsweise Statistiken über das objektive Kaufverhalten eines Menschen. Eine Ahnung davon bekommt jeder Online-Shopper, der nach nur wenigen bestellten Büchern, Musik oder Heimelektronik immer neue Empfehlungen für ähnliche Angebote bekommt – und vielleicht öfter zugreift, als ihm lieb ist. Nach dem Motto »Das könnte Sie auch interessieren« verfahren selbst Partnerbörsen und soziale Netzwerke im Internet – so werden Kontakte und manchmal sogar der Bund fürs Leben geknüpft.

Überhaupt: Suchmaschinen. Ohne Algorithmen kein Google. Im Grunde fußt der Erfolg des Konzerns auf ein paar Formeln – und die sind besser gehütet als die Rezeptur von Coca-Cola.

Allerdings: Vielen ist nicht klar, dass das Ranking der Suchergebnisse wenig objektiv ist. Denn die Suchmaschine lernt mit jeder Anfrage mehr über uns und stimmt daraufhin die Ergebnisse jeder neuen Suche ab. Entweder geschieht dies direkt mit der »Personalisierung« Googles durch den Nutzer oder indirekt: Cookies, Browser-Einstellungen, Lesezeichen, Plug-ins und vieles mehr liefern den Algorithmen Daten, aus denen sich ein Nutzer-Profil stricken lässt.

Datenschützer und Kommunikationswissenschaftler wie Miriam Meckel sehen schwerwiegende Folgen voraus. Meckel spielt in ihrem Buch »Next. Erinnerungen an eine Zukunft ohne uns« ein Szenario durch, wie ein durch Algorithmen personalisiertes Internet unser Denken und Handeln steuern könnte – ohne dass wir es merken. Denn wenn Suchmaschinen, soziale Netzwerke, Einkaufs- und Nachrichtenportale stets passgenaue Angebote liefern, dann werden sie nach und nach unsere Entscheidungen, unser Denken und Handeln bestimmen, argumentiert die Wissenschaftlerin. Damit wird die Luft für das andere, das Neue, das bisher Ungedachte dünn.

Der Mensch ist dann irgendwann nur noch das, was eine Software aus seinem vergangenen Verhalten für die Zukunft hochgerechnet hat, meint Meckel. In ihrem düsteren Bild einer digitalisierten Welt sind die wahren Entscheider nicht mehr die Menschen, sondern die Computerprogramme. Algorithmen simulieren Leben und produzieren digitale Bilder dazu – sie sind die Weltherrscher.

In einem F.A.Z.-Interview merkte Meckel bitter an: »Wie wollen Sie denn einen Meinungsbildungsprozess in einer demokratischen Gesellschaft hinkriegen, wenn ein wachsender Teil der Menschen in einem algorithmischen Berechnungs-Tunnel steckt?«

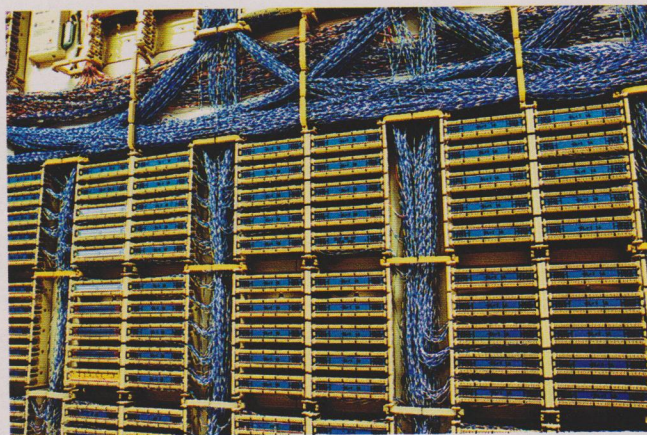
Mathematiker Martin Grötschel möchte so weit nicht gehen. Gleichwohl sagt er: »Sicher steu-

## Algorithmen bestimmen unseren Blick auf die Welt, ohne dass wir es merken

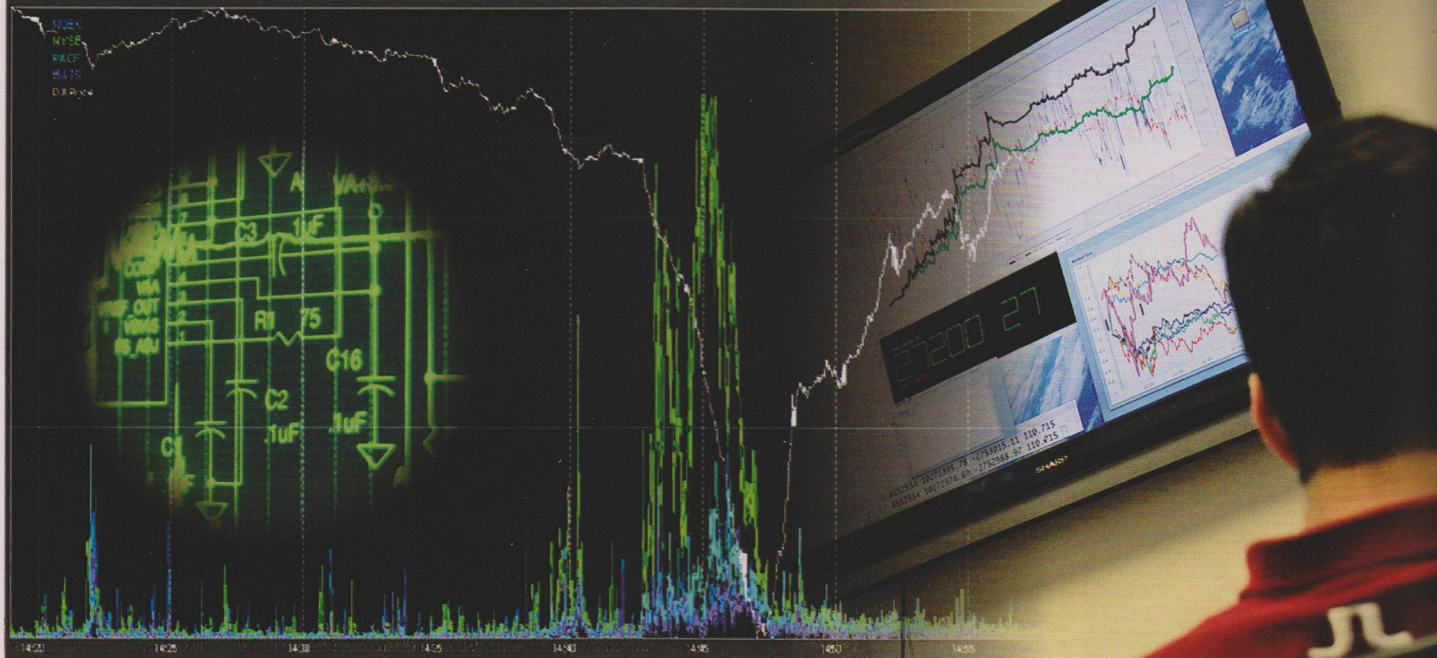
ern Algorithmen unser Leben, vor allem aber, damit wir bestmöglich versorgt werden.« Dass sich die Formeln dereinst verselbstständigen könnten, glaubt er nicht. »Natürlich kann man einen lernfähigen Algorithmus schreiben, indem man Komponenten einbaut, durch die er sein Verhalten ändert«, sagt der Experte. Doch ein lernfähiger Schachcomputer könne nun mal nicht ein Handy steuern.

**L**etztlich hielten der Mathematiker und Programmierer das Heft in der Hand: »Algorithmen können nur, was ihnen mitgegeben wurde.« Was allerdings auch heißt: »Denkbar ist, dass es Menschen gibt, die Algorithmen zer-

Das »Fräulein vom Amt« ist heute ein Algorithmus: Moderne Telefonanlagen fordern Milliarden Entscheidungen pro Sekunde



NYSE Closed Bid Counts at 11:59:59 AM (05/06/2010)



## Über Kauf oder Verkauf von Aktien entscheiden Computer oft in Sekunden

störerische Möglichkeiten mitgeben«, sagt Grötschel.

Einen ersten Eindruck dieser Zerstörungskraft vermitteln die Finanzmärkte – wenn auch ungewollt. So stürzte am 6. Mai 2010 aus heiterem Himmel der Dow-Jones-Index innerhalb von 20 Minuten um satte neun Prozent ab. Etliche Aktien fielen vorübergehend auf einen Bruchteil ihres ursprünglichen Kurses, manche verloren fast vollständig ihren Wert, erholten sich dann aber wieder etwas. Bald darauf lernten die Börsianer eine neue Vokabel: »Flash Crash«. Ausgelöst wurde

dieser Blitzabsturz vom rasend schnellen Computerhandel.

Denn Algorithmen ersetzen Aktienhändler aus Fleisch und Blut schon ganz gut. Beim »Algo-Trading« oder »High Frequency Trading«, wie Fachleute den automatisierten Börsenhandel nennen, können Computer binnen Minuten Milliarden von Titeln kaufen und verkaufen. Und zwar gleichzeitig. Beim Flash Crash im Mai 2010 wurden knapp 1,3 Milliarden Aktien gehandelt – sechsmal so viel wie üblich.

Ihre Entscheidungen treffen Algorithmen dabei anhand von ver-

Beim Börsencrash vom 6.5.2010 (weiße Kurve) wurden blitzartig 1,3 Milliarden Aktien gehandelt

schiedenen Kriterien wie Mindestwerten von Aktien oder Kurschwankungsbreiten. Anders gesagt: Sie haben gelernt, mit Wertpapieren zu spekulieren.

**D**ie Formeln können auch die Märkte antesten, indem sogenannte Raubtieralgorithmen Aktienverkaufsaufträge auslösen und blitzschnell wieder zurückziehen: So provozieren sie eine Reaktion der anderen Algo-Rechner – bei regem Interesse ist klar, dass sich die Aktien noch teurer verkaufen lassen.

Mit Algorithmen werden in den USA gut 70 Prozent und in Europa fast 50 Prozent des Aktienhandels abgewickelt. Dabei scheinen die Berechnungsformeln durchaus ein problematisches Eigenleben zu entwickeln: So bekam die Bank Crédit Suisse Anfang 2010 von der Börsenaufsicht in New York 150 000 US-Dollar Strafe aufgebremst. Das Vergehen: Die Banker hatten einen Algorithmus nicht ausreichend unter Kontrolle.

### Algorithmen: alles andere als harmlos

→ **Kritiker warnen: Algorithmen sind keinesfalls wertneutrale Werkzeuge**, denn sie folgen dem Interesse des Auftraggebers. Oft genug geht es dabei um wirtschaftliche Ziele, die sich hinter einer harmlosen »Empfehlung« verstecken – sei es eine Kaufempfehlung von Online-Einkaufsportalen, Treffern von neutral erscheinenden Suchmaschinen

oder gar Vorschlägen für »neue Freunde« auf Facebook & Co.

Stets hat im Hintergrund ein Algorithmus errechnet, was oder wer wahrscheinlich zu wem passt. Manch einer sieht den freien Willen gefährdet, wenn Algorithmen menschliches Verhalten berechenbar machen und unser Verhalten steuern.

WEITERE INFOS UNTER:  
[www.pm-magazin.de/links](http://www.pm-magazin.de/links)