

Wo das Rechnen anfängt, hört das Verstehen auf.“ Dieses Zitat des Philosophen Arthur Schopenhauer könnte man dieser Tage auch auf das Innenleben eines Rechenzentrums von Google beziehen. Nur wenige Eingeweihte wissen, was dort im Detail jener streng geheime Algorithmus anstellt, der aus Suchanfragen in Sekundenbruchteilen Trefferlisten zaubert.

VON NORBERT LOSSAU

Wenn Google seinen Algorithmus wieder einmal modifiziert – wie jüngst geschehen –, hat dies weltweit für viele Menschen und Firmen Konsequenzen. Wer unter den ersten zehn Treffern nicht angezeigt wird, bleibt weitgehend unsichtbar. Das kann für manche Geschäftsmodelle vernichtend sein. Nicht zuletzt Medienunternehmen spüren die große Macht des Google-Algorithmus.

Googles Ur-Algorithmus wurde bereits 1998 kreiert – in einer kalifornischen Garage, wie das für bahnbrechende Innovationen der Informationstechnik so üblich ist. Sergey Brin und Larry Page legten damals den Grundstein für ein Unternehmen, das heute weltweit die unangefochtene Nummer eins bei den Internet-Suchmaschinen ist. 2012 betrug der Jahresumsatz von Google erstmals mehr als 50 Milliarden Dollar.

Immer wieder wurde der Algorithmus modifiziert. Inzwischen sollen mehr als 200 Kriterien bei der Auswahl der Treffer eine Rolle spielen. Dass Google die Details geheim hält, ist plausibel. Würde jedermann das genaue Rezept kennen, nach dem die Suchmaschine ihre Ergebnisse listet, wäre gezielter Manipulation Tür und Tor geöffnet. Schon heute investieren Unternehmen viel Zeit und Energie darauf, in den Hitlisten von Google möglichst weit nach oben zu klettern. Schließlich sind einzelne Vorlieben des Algorithmus den Experten näherungsweise bekannt – schlicht aus der Beobachtung seines Verhaltens.

Kern des Google-Algorithmus ist nach wie vor das von Brin und Page während ihres Studiums an der Stanford University entwickelte PageRank-Verfahren. Dabei spielt die Zahl der Verweise von anderen Webseiten eine zentrale Rolle. Seiten, auf die häufig verlinkt wird, haben eine größere Wahrscheinlichkeit, weiter oben in der Trefferliste zu landen.

Die jüngste Weiterentwicklung des Algorithmus soll nach Angaben von Google das Verarbeiten komplexer Suchanfragen verbessern. Die Linguistik spielt jetzt eine größere Rolle und die inhaltliche Bedeutung einer Kombination aus mehreren Suchworten wird präziser erfasst.

Die große Bedeutung des Google-Algorithmus ist offensichtlich. Doch viele andere, weniger prominente Algorithmen spielen in unserem Alltag ebenfalls eine wichtige Rolle. Algorithmen steuern die Grünphasen in verkehrsabhängigen Ampeln ebenso wie die heimische Waschmaschine. Algorithmen hauchen dem Autopiloten im Passagierjet erstaunliche Fähigkeiten ein, zeichnen dreidimensionale Bilder aus dem Körperinneren bei einer Röntgentomografie und besiegen selbst brillante Schachspieler beim Duell von Mensch und Maschine.

Algorithmen erfüllen in sozialen Netzwerken und den zahllosen Apps für das Smartphone überaus vielfältige Aufgaben. Wenn uns beispielsweise die App eines Verkehrsverbundes eine Reiseverbindung von A nach B ausgibt, steht dahinter ein Algorithmus. Wie im Fall einer Google-Anfrage kann auch hier über das Ergebnis nicht diskutiert werden. Was uns die Algorithmen präsentieren, wird in der Regel nicht mehr hinterfragt. Die unsichtbaren Heinzelmännchen des Digitalzeitalters sind von einer Aura des Unfehlbaren umgeben.

In den meisten Fällen sind die Ergebnisse der raffiniert programmierten Algorithmen in der Tat präzise, korrekt und verlässlich. Doch weil es absolute Perfektion nirgendwo gibt und weil Algorithmen letztlich nur so gut sein können wie der Programmierer, der sie konstruierte, leiten sie uns bisweilen schon mal in die Irre – zum Beispiel wenn es sich um Algorithmen in einem Navigationsgerät oder bei einer Online-Partnervermittlung handelt.

„Wir sind uns dessen kaum bewusst, aber Algorithmen bestimmen in immer stärkerem Maße unser gesamtes Leben“, sagt Professor Martin Grötschel vom Berliner Mathematischen Institut, in dem Mathematisches Institut für Schlüsseltechnologien entwickelt

## Der Mensch im Netz der Formeln

Algorithmen sagen uns, wo es langgeht. Und das nicht nur beim Navi. Ihre unsichtbare Mathematik steuert, was wir lesen, mit wem wir uns befreunden und was wir kaufen

**WAS IST DER SINN DES LEBENS?**

**WAS SOLL ICH LESEN?**

**WAS IST HIP?**

$$PR(i) = \frac{1-d}{n} + d \sum_{j \in \{j,i\}} \frac{PR(j)}{c(j)}$$

Der PageRank-Algorithmus gibt jeder Webseite  $i$  ein Gewicht  $PR(i)$ , das umso größer ist, je mehr Seiten – mit möglichst hohem eigenem Gewicht  $PR(j)$  – auf diese Seite verweisen.  $c(j)$  ist die Zahl der Seiten, auf die  $j$  verlinkt.  $n$  ist die Gesamtzahl der Seiten,  $d$  ein Dämpfungsfaktor.

**BIN ICH KREDITWÜRDIG?**

$$edgerank \sum_{edges e} u_e w_e d_e$$

Edgerank heißt der Algorithmus, mit dem Facebook entscheidet, welche Nachrichten für einen User ausgewählt werden.  $u$  misst die Affinität des Users für bestimmte Themen,  $w$  ist ein allgemeiner Wichtungsfaktor, der unter anderem von der Zahl der „Likes“ abhängt.  $d$  ist ein zeitlicher Wichtungsfaktor. Je älter eine News ist, umso unbedeutender wird sie.

**MIT WEM SOLL ICH MICH BEFREUNDEN?**

$$Einfluss(X) = \sum_{Y \in Followers(X)} \frac{1 + p \cdot Einfluss(Y)}{Follower(Y)}$$

Der Einfluss eines Users  $X$  hängt vom Einfluss seiner Follower  $Y$  ab. In der Formel ist  $p$  die Wahrscheinlichkeit dafür, dass  $Y$  etwas von  $X$  retweetet. Interessant ist, dass die Zahl der Follower von  $Y$  im Nenner der Formel steht. Mehr Follower von  $Y$  können sich also ungünstig auf den Einfluss von  $X$  auswirken.

**WOHIN SOLL ICH REISEN?**

**WAS SOLL ICH ANZIEHEN?**

Drei Beispiele für Algorithmen, die im Leben vieler Menschen eine große Rolle spielen

wird. So werden etwa auf dem Börsenparkett längst die meisten Entscheidungen über Kauf und Verkauf von Aktien nicht mehr von menschlichen Hirnen, sondern von Algorithmen getroffen. Die Börsianer sprechen vom „Algo-Trading“.

Natürlich werden diese Programme von Menschen geschrieben. Doch beim Zusammenspiel vieler von Algorithmen gesteuerter Systeme können Dinge passieren, die sich nicht vorhersehen lassen – zum Beispiel Kettenreaktionen. Gefährlich wird es besonders dann, wenn Entscheidungsprozesse in Bruchteilen von Sekunden getroffen werden und daher nicht mehr von menschlichen Köpfen nachvollzogen werden können.

So warnen Experten bereits seit Jahren vor den Risiken des sogenannten Hochfrequenzhandels, bei dem Algorithmen innerhalb von Millisekunden Milliardenwerte an der Börse bewegen. Schon ein kleiner Eingabe- oder Softwarefehler kann da einen Crash verursachen. So stürzte beispielsweise am 6. Mai 2010 an der New Yorker Börse der Aktienkurs der Firma Accenture innerhalb von nur sieben Sekunden von rund 30 Dollar auf einen Cent. Schuld an diesem Desaster: ein Algorithmus.

Um die Risiken des Hochfrequenzhandels zu begrenzen, hat der Deutsche Bundestag im Februar 2013 ein entsprechendes Gesetz verabschiedet. Doch so

lange Deutschland damit allein auf weiter Flur steht, dürfte das an den internationalen Aktienmärkten nur ein Achselzucken verursachen. Auf EU-Ebene immerhin wird diskutiert, dass gekaufte Wertpapiere mindestens eine halbe Sekunde gehalten werden müssen, bevor sie wieder verkauft werden dürfen. Allein dieser Vorschlag macht deutlich, welch bizarre Vorgänge sich noch immer in den Börsencomputern abspielen.

Auch wenn heute der Begriff Algorithmus meist in einem Atemzug mit Computerprogrammen und Apps genannt wird, wurden derartige Rechenverfahren lange vor dem digitalen Zeitalter genutzt – ja schon in der Antike. Bereits in

dem von Euklid im dritten Jahrhundert vor Christus verfassten Werk „Die Elemente“ spielen Algorithmen eine Rolle. Darunter versteht man in der Mathematik eine endliche Folge von eindeutigen Operationen, die Schritt für Schritt nacheinander abgearbeitet werden. Auf diese Weise lassen sich konkrete Aufgabenstellungen bewältigen.

Ein Beispiel: Wenn Sie auf Ihrem Taschenrechner die Taste mit dem Wurzelzeichen drücken, dann arbeitet der Prozessor einen Algorithmus ab, den bereits vor knapp 2000 Jahren Heron von Alexandria genutzt hat. Was damals jedoch Schritt für Schritt von Hand berechnet werden musste, erledigt heute eine Software im Taschenrechner, deren Kern die Methode von Heron ist.

Der Begriff „Algorithmus“ wurde indes erst vor rund tausend Jahren geprägt. Er geht zurück auf den persisch-arabischen Mathematiker Abu Ja'far Mohammed ibn Musa al-Khowarizmi, der das grundlegende Werk „Über die indischen Zahlen“ verfasste und darin mit Rechenvorschriften, also Algorithmen hantierte. Al-Khowarizmi steht für den Geburtsort des Gelehrten. Diese Ortsangabe mutierte im Laufe der Zeit durch diverse Lautverschiebungen zum Begriff Algorithmus.

Algorithmen gehören also schon seit vielen Jahrhunderten zum Alltag von Mathematikern. Doch erst das Computerzeitalter eröffnete den gelisteten Rechenverfahren bis dahin ungeahnte Möglichkeiten. Nun wurde es möglich, komplizierteste Algorithmen mit Abermillionen Rechenschritten innerhalb von Sekunden durchzuführen. Dafür hätte vor hundert Jahren nicht einmal ein ganzes Mathematikerleben gereicht. Durch schiere Geschwindigkeit und die automatische Verarbeitung in Computern erreichte die Leistungsfähigkeit von Algorithmen im Digitalzeitalter eine ganz neue Qualität. „Heute wirken an praktisch jeder Stelle der Güterproduktions- und Verteilungskette Algorithmen mit“, sagt Grötschel. „Ohne sie ist die moderne Lebensumwelt undenkbar.“

Diente früher ein handschriftlich abgearbeiteter Algorithmus dem Dividieren zweier Zahlen oder dem Ziehen einer Wurzel, so sind hochgerüstete Algorithmen in Supercomputern mittlerweile sogar in der Lage, menschliches Verhalten vorherzusagen. Aus vielen Informationshäppchen, die wir als Datenspuren im täglichen Umgang mit sozialen Netzwerken, Suchmaschinen oder Kunden- und Kreditkarten hinterlassen, können Algorithmen Persönlichkeitsprofile erstellen. Darauf aufbauend sind dann Prognosen über künftige Interessen und Kaufwünsche möglich. Das stetige Anwachsen von individualisierter Werbung ist ein Indiz dafür, was hinter den Kulissen gesammelt und gerechnet wird.

Es mag für den Einzelnen praktisch sein, daran erinnert zu werden, was er ja tatsächlich ohnehin kaufen wollte. Und wenn der Hotelkellner schon weiß, welchen Wein der Gast besonders mögen wird, muss dies ja kein Nachteil sein. Doch nach und nach könnten die omnipräsenten Algorithmen unsichtbare Mauern um die Menschen errichten. Der Google-Algorithmus kennt beispielsweise seine Nutzer so gut, dass er jeweils genau weiß, welches Individuum er mit welchen Treffern bestmöglich versorgen kann. Das heißt: Zwei Menschen werden nicht dieselbe Ausgabeliste erhalten, auch wenn sie exakt die gleichen Suchwörter eingegeben haben. Jeder lebt mehr und mehr in seiner ganz eigenen Welt. Und dadurch wird die Vorhersagbarkeit menschlichen Verhaltens noch weiter wachsen.

Auf der Grundlage der immer wissender werdenden Algorithmen etabliert sich derweil auch eine neue Form der Kriminalistik: die prädiktive Forensik. Was im Hollywood-Thriller „Minority Report“ im Jahr 2002 noch pure Science-Fiction war, wird heute von Experten ernsthaft verfolgt. Wenn man vorhersagen kann, wer unter welchen Umständen wann und wo mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ein Verbrechen begeht – dann lassen sich möglicherweise einige Straftaten von vornherein verhindern. So die Logik. Doch nicht jeder wird von diesem Konzept, das jeden zum potenziellen Täter macht, uneingeschränkt begeistert sein.

Algorithmen sind eine Querschnittstechnologie, die bei der Steuerung einer Cruise-Missile ebenso Verwendung finden wie in der Lebenserhaltungstechnik auf einer Intensivstation. „Algorithmen sind so etwas wie Energie in der Physik“, sagt Informatikprofessor Wolfgang Thomas von der RWTH Aachen. „Wenn ihre Wirkung enorme Größenordnungen erreicht, kann man damit ex-

trem Gutes und extrem Böses erreichen.“ Es kommt eben immer darauf an, welche Ziele mit einer Technologie verfolgt werden. Das gilt auch für die Algorithmen. Nicht nur Diktatoren können mit ihrer Hilfe engmaschige Überwachungsnetze konstruieren. Unter sogenannten Netzphilosophen wie Evgeny Morozov macht längst das Wort von der „Tyrannei der Algorithmen“ die Runde.

Die ultimative Anwendung von Algorithmen wäre indes die Nachahmung der Funktionen eines menschlichen Gehirns. Tatsächlich ist dies bereits seit Jahrzehnten das Ziel der sogenannten KI-Forschung, wobei das Kürzel KI für Künstliche Intelligenz steht. Die Erfolge dieser Forschung lassen sich beispielsweise an den Fähigkeiten autonom agierender Roboter ablesen – seien dies nun fliegende Drohnen oder der sprechende Robot Kirobo, der den Astronauten auf der Internationalen Raumstation derzeit ein wenig Gesellschaft leistet.

Schon heute sind Algorithmen lernfähig und können sich neuen Situationen anpassen. Algorithmen schreiben selber neue Algorithmen und erwecken bisweilen den Eindruck intelligenter Agierens. Doch letztlich sind sie nur To-do-Listen für Computer. Es sind immer noch Menschen, die darüber entscheiden, welche Macht die Algorithmen erhalten und wo es eine rote Linie für sie gibt.

Noch sind die Wissenschaftler weit davon entfernt, die fantastische Leistungsfähigkeit menschlicher Hirne tatsächlich auf technische Systeme übertragen zu können. Doch die Forschungsanstrengungen auf diesem Gebiet sind enorm. Die Europäische Union stellt jetzt im Rahmen ihrer Flagship-Initiative rund 1,2 Milliarden Euro für das „Human Brain Project“ bereit. Ziel des gigantischen Projektes, an dem Wissenschaftler aus 135 Forschungseinrichtungen beteiligt sind, ist das Erschaffen eines „virtuellen Gehirns“ in einem Superrechner. Dabei wird die Kommunikation zwischen Nervenzellen mithilfe geeigneter Algorithmen simuliert. Das Projekt ist zunächst für eine Zeitdauer von zehn Jahren angelegt.

Wozu am Ende das virtuelle Gehirn tatsächlich fähig sein wird, bleibt abzuwarten. Bereits Teilerfolge könnten neue Anwendungen ermöglichen. Wie wäre es etwa, wenn uns „Google Brain“ demnächst prognostiziert, welche Ideen wir dieses Jahr noch haben werden?

### DER ALGORITHMUS ZUM WURZELZIEHEN

Bereits die Babylonier hatten um 1700 v. Chr. ein Verfahren zur Berechnung von Quadratwurzeln entwickelt. Dieses wurde um 100 n. Chr. von dem Griechen Heron von Alexandria adaptiert. Die Methode wird noch heute als Heron-Verfahren bezeichnet. Wenn man aus einer Zahl  $a$  die Wurzel ziehen möchte, dann ist das gleichbedeutend mit der Suche nach einer Zahl  $x$ , sodass  $x \text{ mal } x \text{ gleich } a$  ist. Die Grundidee beim Heron-Verfahren besteht darin, von einem Rechteck mit den Kantenlängen  $a$  und  $1$  auszugehen. Dieses hat also den Flächeninhalt  $a$ . Durch

**schrittweises Umformen** dieses Rechtecks in ein Quadrat unter Beibehaltung der Fläche  $a$  nähert man sich immer mehr einem Quadrat mit der Kantenlänge  $x$  an. Dieses  $x$  ist dann die gesuchte Wurzel aus der Zahl  $a$ . Diese **geometrische Idee** lässt sich in ein Rechenverfahren übersetzen. Beim jeweils nächsten Rechteck wählt man die Länge einer Seite als das arithmetische Mittel der Seiten des Ausgangsrechtecks. Die andere Länge des neuen Rechtecks wählt man dann so, dass der **Flächeninhalt  $a$**  unverändert bleibt. Konkret heißt dies für den ersten Transformationsschritt, ausgehend vom Rechteck mit den Kanten  $a$  und  $1$ : Die eine der beiden neuen Kanten erhält die **Länge  $(a+1)/2$** . Dann muss die andere Kante  $2a/(a+1)$  lang sein, damit das Produkt der beiden Kantenlängen  $a$  bleibt. Im nächsten Schritt addiert man erneut die beiden Kantenlängen und dividiert die Summe durch  $2$ , um die eine Kante im nächsten Rechteck zu bestimmen. Je nachdem, wie genau man die **Wurzel aus  $a$**  berechnen möchte, muss man den Rechenschritt so lange wiederholen, bis sich die gewünschte Zahl gesicherter Nachkommastellen nicht mehr verändert. Das Verfahren lässt sich formal zu einer für den Taschenrechner geeigneten Rechenvorschrift umformulieren:  $x_{n+1} = 0,5 (x_n + a/x_n)$ , wobei man mit dem Startwert  $(a+1)/2$  für  $x$  beginnt und dann immer in gleicher Weise  $x_1, x_2, x_3, x_4$  – und so weiter – berechnet.

Illustration: Karin Sturm für Welt am Sonntag