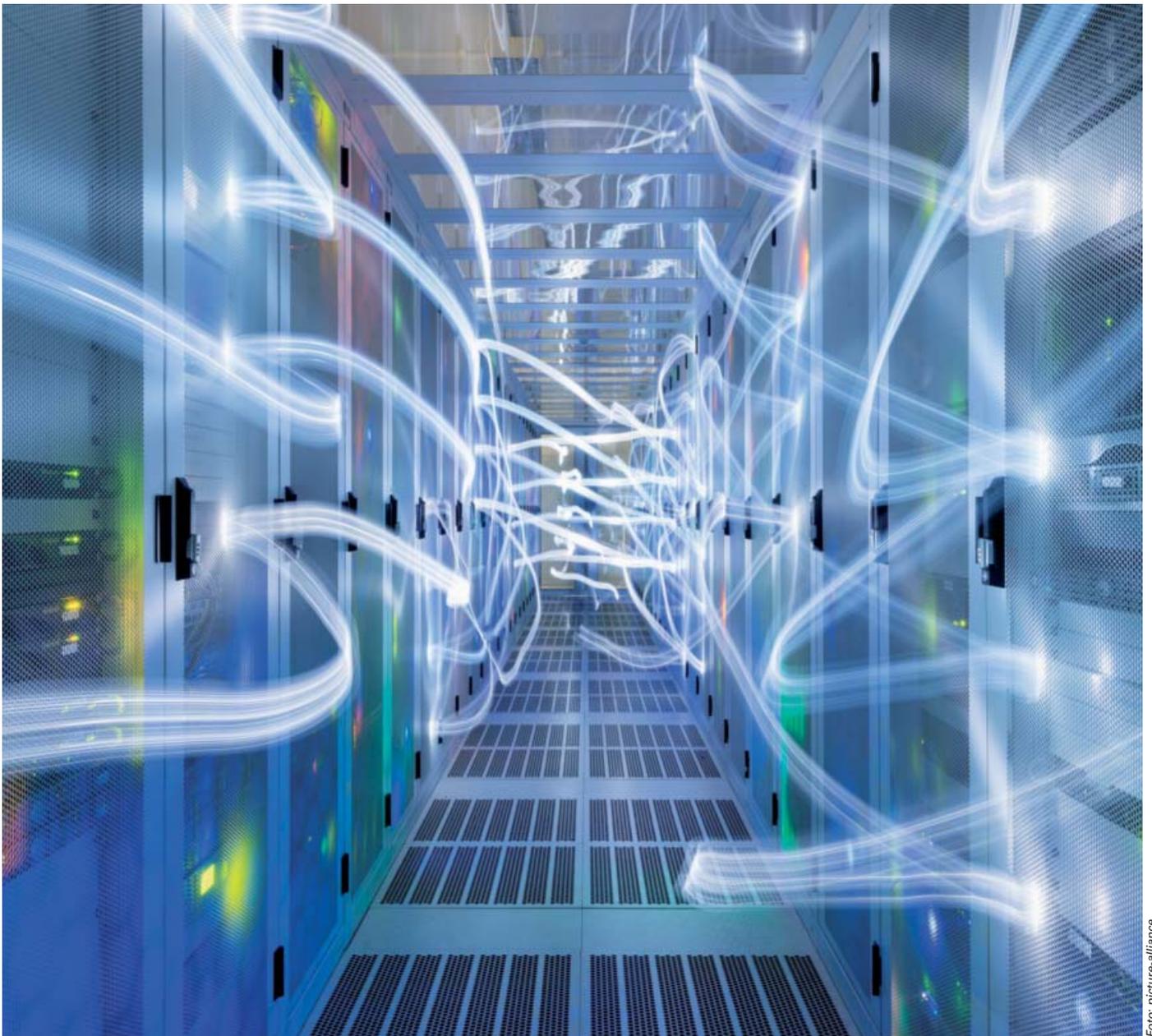


# Die Berechnung der Welt

Können Big Data-Ergebnisse Theorie und Beweis ersetzen?

| **KLAUS MAINZER** | Erfolgen zukünftig Entscheidungen durch datenverarbeitende Maschinen statt durch Reflexion, Theorie und Gesetze? Stehen wir vor dem „Ende der Theorie“, gar vor einem radikalen Paradigmenwechsel? Big Data und die Auswirkungen auf unser wissenschaftliches Weltbild.



**D**ass diese Welt von einer steigenden Datenflut überrollt wird, ist Alltagserfahrung in Studium, Forschung und Beruf. Nur Zahlen und Fakten zählen. Die wenigsten wissen, woher die Datenströme kommen, wie sie entstehen und welche Gesetzmäßigkeiten ihnen zugrunde liegen. Einige wissen, dass im Hintergrund Computernetze wirken, die wie Nervensysteme unsere Zivilisation weltweit durchziehen. Immer schnellere, kleinere und preiswertere Computerfunktionen und Sensoren erzeugen immer mehr Daten und automatisieren die Welt. Menschen werden durch ihre Daten immer besser kontrollierbar.

Andererseits erlauben große Datenmassen günstige Geschäftsmodelle. Warum sollten wir uns lange mit dem Warum und Wieso aufhalten? Schnelle Suchmaschinen finden scheinbar Lösungen unserer Probleme, bevor wir die

### »Es wäre leichtfertig, den Big Data Hype als Marketingstrategie herunterzuspielen.«

Ursachen und Gesetze verstanden haben. So taumeln wir effektivitätsversessen und mit rasanter Geschwindigkeit in eine Zukunft, in der nur noch der schnelle Erfolg zählt.

Einflussreiche Propheten der digitalen Welt propagieren bereits „das Ende der Theorie“ – ein radikaler und neuer Paradigmenwechsel, so glaubt man, der die Ursachen und Wirkungen von Krankheiten, Märkten und Verbrechen nicht mehr verstehen muss, sondern durch blitzschnelles Durchforsten von riesigen Datenmengen Muster und Korrelationen erkennt, die Voraussagen von Trends erlauben. Gemeint ist dabei keine Wahrscheinlichkeitstheoretisch begründete Hochrechnung aus repräsentativen Stichproben. Gemeint ist die Berechnung von Korrelationen aus nahezu allen Daten eines gesamten Datensatzes. Tatsächlich waren es nur Korrelationen über Anfragen und Kaufverhalten im Internet, die Google 2009 den Ausbruch einer Epidemie voraussagen ließen, ohne langwierige Datenerhebungen von z.B. Gesundheitsämtern und repräsentative Stichproben abzuwarten oder sogar medizinisch begründete Modelle des Krankheitsverlaufs kennen zu müssen.

Ebenso lassen sich Markttrends und Profile von Produkten aus scheinbar zufälligen und nicht zusammenhängenden Daten über Personen, ihren Themen

und Präferenzen schneller erschließen als über gezielte Befragungen. Bemerkenswerte Erfolge gelangen in der Prävention von Verbrechen, indem aufgrund von automatischen Datenanalysen die Wahrscheinlichkeit von Diebstahl, Einbrüchen und Tötungsdelikten in bestimmten Regionen berechnet wurden und präventiv Polizei vor Ort die Straftaten verhinderte: Das kommt dem Science Fiction Film „Minority Report“ erstaunlich nahe, in dem in einer total vernetzten Welt eine Art von Gedankenpolizei Strafdaten vollständig ausschalten wollte.

Technisch bezeichnet man mit dem Schlagwort „Big Data“ gigantische Datenmengen von Nachrichten und Signalen unzähliger Sensoren, die in konventionellen Datenbanken nicht mehr bearbeitet werden können. Dazu wurden neue Softwarewerkzeuge entwickelt, die nicht mehr wie klassische Computerprogramme mit einem Rechnerprozessor auskommen. Vielmehr werden in Parallelrechnung viele Prozessoren in Superrechnern gleichzeitig eingesetzt, um so eine Reduktion der Komplexität in der Bearbeitung zu erreichen. In diesem Sinn lassen sich mit „Big Data“ konkrete Geschäftsmodelle für Firmen aller Art entwickeln, die möglichst adaptiv, trendsicher und schnell auf Märkte reagieren sollen. Datenmengen, Sensoren und Rechenkapazität unterliegen exponentiellen Wachstumsgesetzen (z.B. Mooresches Gesetz). Man spricht bereits von exponentiellen Technologien und Firmen (z.B. Google).

#### Die Frage aller Fragen: Warum?

Es wäre daher leichtfertig, den Big Data Hype als Marketingstrategie herunterzuspielen. Tatsächlich wird hier ein Trend sichtbar, der bereits die Dynamik menschlicher Zivilisation maßgeblich bestimmt und auch die Wissenschaften erfasst hat: Was wäre, wenn in Zukunft tatsächlich neue Erkenntnis und die Lösung unserer Probleme nur von der schieren Steigerung von Datenmengen, Sensoren und Rechenpower abhängen?

Ist die Suche nach Erklärungen, Ursachen und kausalen Zusammenhängen, Gesetzen und Theorien angesichts der steigenden Komplexität der Probleme nicht völlig überholt? Können wir uns angesichts des Tempos zivilisatorischer Entwicklung und der Notwendigkeit schneller Entscheidungen überhaupt noch solche zeitraubende Grundlagenforschung leisten? Sollten wir nicht die „Warum“-Frage vergessen und auf das „Was“ der Daten beschränken?

#### Als Gesetze zu Rechenregeln wurden

Historisch steht die „Warum“-Frage am Anfang menschlichen Denkens in Wissenschaft und Philosophie. Warum bewegen sich Sterne und Planeten in regelmäßigen Bahnen? Ist die Vielfalt der Stoffe aus einfachen Grundbausteinen aufgebaut? In griechischer Tradition entstand eine faszinierende Idee, die den weiteren Entwicklungsgang von Forschung grundlegend beeinflusste: Der scheinbar chaotischen Vielfalt der Sinneseindrücke liegen einfache Gesetze der Symmetrie und Regelmäßigkeit zugrunde, die mathematisch beschreibbar sind. Das ist der Trend einer theoriegeleiteten (hypothesen-driven) Forschung. Dahinter steht die Überzeugung: Erst wenn wir eine gute Theorie

### »Auch die datengetriebene Forschungsperspektive ist keineswegs neu.«

haben, können wir wissen, wonach wir suchen, um die Vielfalt der Welt zu verstehen und zu bewältigen.

Aber auch die datengetriebene (data-driven) Forschungsperspektive ist keineswegs neu. Es waren die Babylonier, die für damalige Verhältnisse große Massen von Daten über astronomische Beobachtungen, Ernteergebnisse, Handel, Gewerbe und Verwaltungsabläufe auf unzähligen Tontafeln in Keilschrift festhielten. Aus den Regelmäßigkeiten in den astronomischen Daten wurden erstaunliche Voraussagen über Planetenkonstellationen abgeleitet, ohne sie

#### AUTOR

**Klaus Mainzer** hat den Lehrstuhl für Philosophie und Wissenschaftstheorie der TU München. Er arbeitet als Wissenschaftsphilosoph über Grundlagen und Zukunftsperspektiven von Wissenschaft und Technik. Im Zentrum stehen dabei die Mathematisierung und Computermodellierung von Wissenschaft und Technik.



allerdings erklären zu können und zu wollen. In der Neuzeit kritisierte der schottische Aufklärungsphilosoph David Hume kausale Verknüpfungen von Ereignissen schließlich als Hirngespinnste und führte sie auf Korrelationen von Sinneseindrücken zurück. Mit Auguste Comtes Positivismus zog der Glaube an Fakten und Daten auch in die Sozialwissenschaften ein.

Daten werden Zahlen zugeordnet und damit berechenbar. Gesetze werden zu Rechenregeln, um mathematische Gleichungen zu lösen. Ende des 18. Jahrhunderts ist für den Mathematiker und Astronomen Pierre Simon Laplace die Himmelsmechanik durch Anfangsdaten und Bewegungsgleichungen vollständig bestimmt. Daher kommt es nur auf die Berechnung von Gleichungslösungen an, um zu präzisen Voraussagen zu gelangen. Wenn also, so argumentiert Laplace, einer „Intelligenz“ alle diese Daten und Gleichungen gegeben wären, müsste für sie die Welt total berechenbar sein. Diese von Laplace unterstellte „Intelligenz“ geht als Laplacescher Geist in die Geschichte ein. Naheliegender ist es heute, sich darunter einen Superrechner vorzustellen.

Sind Gesetze aber tatsächlich überflüssig, ein Relikt aus einer Zeit, als Naturgesetze noch wie bei Galilei und Newton als „Gedanken Gottes“ in der Sprache der Mathematik aufgefasst wurden? Von Nietzsches „Gott ist tot“ zum „Tod der Gesetze“ als unumkehrbarer Trend der modernen Welt? Massen von Daten und Zahlen alleine sind für uns aber ebenso sinnlos wie die Milliarden von Sinneseindrücken, die unsere Sinnesorgane tagtäglich bombardieren. Seit frühester Kindheit haben wir gelernt, uns an Mustern und Regelmäßigkeiten dieser Daten zu orientieren. Stellen wir uns ein Gerät vor, das eine Folge von Werten aus den Ziffern 0 und 1 (Bits) generiert. In der Bitfolge 010101010101010101 erkennen wir die periodische Abfolge des Paares 01. Es ist daher kürzer, die Regel „10 mal 01“ zu notieren und mit dieser Regel die nächsten Schritte dieser Abfolge vorauszusagen. In der Datenfolge 01100010111001011110 ist kein Muster zu erkennen und damit auch keine Möglichkeit der Voraussage. Um diese

Abfolge zu beschreiben, gibt es keine kürzere Darstellung als die Folge selber. Regeln und Gesetze sind also zunächst Datenkompressionen, die ein Muster zum Ausdruck bringen.

Unser Gehirn wurde während seiner Evolution auf Datenkompression und Reduktion von Komplexität trainiert. Blitzschnelle Entscheidungen hängen von dieser Fähigkeit ab. Das traf nicht nur im Überlebenskampf während der Steinzeit zu. Auch im heutigen Geschäftsleben und in der Politik stehen wir unter dem Druck häufig reflexartiger

**»Die Muster und Korrelationen von Big Data bleiben zufällig, wenn wir die zugrunde liegenden Zusammenhänge nicht verstehen.«**

Entscheidungen. Superrechner und Big Data scheinen diesen Trend nach der schnellen Entscheidung zu bedienen. Gelegentlich bilden wir uns aber auch Zusammenhänge und Muster ein, denen nur scheinbare Korrelationen von Ereignissen zu Grunde liegen. Wetterregeln unserer Vorfahren waren häufig nicht besser begründet als das Zockerverhalten von Börsenspekulanten. Aber die Muster und Korrelationen von Big Data bleiben zufällig, wenn wir die zugrunde liegenden Zusammenhänge nicht verstehen. Natürlich greift ein Ebola- oder Krebspatient in seiner äußersten Not nach dem Strohalm einer statistischen Korrelation zwischen einem unverständlichen Medikamenteneffekt und einer möglichen Lebensverlängerung. Die

**»Verlässlichkeit und Nachprüfbarkeit kommen an Beweisen und Gesetzen nicht vorbei.«**

langjährige Forschung nach den biochemischen Gesetzen, die dieser Korrelation zugrunde liegen oder auch nicht, mag für ihn persönlich zu spät kommen. Endgültig bieten aber nur diese Gesetze eine verlässliche und reproduzierbare Therapie.

Big Data ist ohne immer stärker werdende Superrechner nicht möglich. Aber auch der Computertechnik liegt eine mathematische Theorie zugrunde, die erst die Rechenleistungen ermöglicht. Es war der britische Logiker und Mathematiker Alan Turing, der maßgeblich die Theorie der Berechenbarkeit be-

gründete. Mit der logisch-mathematischen Definition der nach ihm benannten Turing Maschine schuf er den Prototyp, auf den wir mathematische Theoreme über Berechenbarkeit unabhängig von technischen Standards ihrer Realisation beziehen können. Andere Logiker wie Gerhard Gentzen entwickelten Kalküle, mit denen sich die Korrektheit formaler Systeme prüfen lässt. Das hat unmittelbare Folgen auch für die Praxis: Wenn wir von einem komplexen Computerprogramm einer industriellen Produktionsstraße vorher mathematisch beweisen können, dass es widerspruchsfrei und vollständig arbeitet, können später auftretende Unfälle und teure Produktionsfehler vermieden werden. Probieren und mehr oder weniger zufällige Daten helfen nur wenig. Je komplexer die moderne Lebenswelt wird und je abhängiger wir von Softwareprogrammen werden, umso größer sind die Herausforderungen an ein sicheres Software Engineering. Verlässlichkeit und Nachprüfbarkeit kommen an Beweisen und Gesetzen nicht vorbei.

### **Eine „neue Art der Wissenschaft“?**

Andererseits machen die Sirenenklänge von schnellen Erfolgen mit Big Data und Superrechnern selbst vor der Mathematik nicht halt. Der amerikanische Logiker Gregory Chaitin und der Popper-Schüler Imre Lakatos propagierten ein quasi-empirisches Vorgehen in der Mathematik. Axiome sind danach bestenfalls Hypothesen wie in den Naturwissenschaften, die als plausibel gelten, sich bisher bewährt haben und deren Annahme für neue Problemlösungen dienen. Ob sie beweisbar sind oder sich widerspruchsfrei in Theorien einfügen, spielt keine Rolle mehr. Big Data und Superrechner versprechen eine neue Auflage dieser Problemlösungssuche unter den Bedingungen moderner Technik.

So verkündete der amerikanische Informatiker und Software-Unternehmer Stephen Wolfram 2002 eine „neue Art der Wissenschaft“ (A New Kind of Science), in der Computerexperimente anstelle mathematischer Beweise und Theorien treten werden. Wolfram hatte umfangreiche Musterentwicklungen von zellulären Automaten in einem bis dahin nicht gekannten Umfang durchgeführt und bemerkenswerte Zusammenhänge zwischen vielfältigen Strukturbildungen beobachtet. Zelluläre Automa-

ten bestehen aus schachbrettartigen Gittern, deren Zellen nach ausgewählten Regeln ihre Zustände (z.B. die Farben Schwarz oder Weiß) ändern und dabei von der Farbverteilung der jeweiligen Zellumgebung abhängen. Schnelle Computerleistungen erlaubten Musterentwicklungen in vielen nachfolgenden

### »Erst eine gute Theorie wie die von Peter Higgs sagte uns, wonach wir im Fall des Higgs-Teilchen überhaupt suchen sollten.«

Generationen, die vorher nicht möglich waren. Wie heute bei Big Data konnte man nun feststellen, dass sich bestimmte komplexe Muster aus scheinbar zufälligen Regeln gebildet hatten. Die Frage „Warum“ blieb unbeantwortet. Stattdessen wurden, wie heute bei Big Data, Klassifikationen und Korrelationen von beobachteten Gemeinsamkeiten vorgenommen.

Für Wolfram war das ein neues Forschungsparadigma, wie zukünftig auch Mathematik und theoretische Physik sich entwickeln werden: Mit gewaltigen Rechenleistungen wird man probieren und experimentieren, um Problemlösungen zu finden. Theorien, Beweise und Erklärungen werden überflüssig, da sie zu aufwendig seien und bestenfalls nachträglich nur das bestätigen, was

### »Die Welt der Software und schnellen Rechner wurde erst durch logisch-mathematisches Denken möglich.«

man sowieso schon gesehen und beobachtet hat. Man sollte die Ressourcen stattdessen lieber nutzen, um weiter Neues zu entdecken und zu erzeugen. Zehn Jahre später entwickelte Wolfram mit seiner Firma die Such- und Wissensmaschine Wolfram Alpha, mit der er nach dem Vorbild von Big Data gewaltige Datenmengen in Facebook mit Mustern, Clustern und Korrelationen durchforstete. Wieder lautet die Devise: Computerexperiment, Überraschung und Entdeckung, statt Begründung, Erklärung und Beweis!

#### Beispiel CERN

Tatsächlich können wir aber erst auf der Grundlage von Beweisen und Gesetzen das genaue Verhalten von z.B. zellulä-

ren Automaten voraussagen. Im CERN produzieren zwar Teilchenkollisionen gigantische Massen von physikalischen Daten. Aber erst eine gute Theorie wie die von Peter Higgs sagte uns, wonach wir im Fall des Higgs-Teilchens überhaupt suchen sollten. In Bioinformatik und Lebenswissenschaften werden wir mit komplexen Datenmassen konfrontiert, deren gesetzmäßige Zusammenhänge sich erst in ihren Anfängen erschließen. Medikamente in der Medizin helfen jedenfalls wenig,

wenn wir auf kurzfristige Dateneffekte setzen, ohne die gesetzmäßigen Zusammenhänge verstanden zu haben. Was in der Wirtschaft passiert, wenn wir uns nur auf unverstandene Eckdaten verlassen, hat die Wirtschaftskrise von 2008 gezeigt. Die Vorausberechnung von Kriminalität, Terror- und Kriegseinsätzen hilft wenig, wenn wir die zugrunde liegenden sozialen und politischen Ursachen von Konflikten nicht begreifen.

#### Gefragt ist Urteilskraft

Dieser Beitrag ist ein Plädoyer für die Besinnung auf die Grundlagen, Theorien, Gesetze und Geschichte, die zu der Welt führen, in der wir heute leben. Die Welt der Software und schnellen Rechner wurde erst durch logisch-mathematisches Denken möglich, dass tief in philosophischen Traditionen verwurzelt ist. Wer dieses Gedankengeflecht nicht durchschaut, ist blind für die Leistungsmöglichkeiten von Big Data, aber auch Grenzen der Anwendung in unserer Alltags- und Berufswelt. Am

Ende geht es um eine Stärkung unserer Urteilskraft, d.h. die Fähigkeit, Zusammenhänge zu erkennen, das „Besondere“, wie es bei Kant heißt, mit dem „Allgemeinen“ zu verbinden, in diesem Fall die Datenflut mit Reflexion, Theorie und Gesetzen, damit eine immer komplexer werdende und von Automatisierung beherrschte Welt uns nicht aus dem Ruder läuft.

*Von Klaus Mainzer ist jüngst erschienen: Die Berechnung der Welt. Von der Weltformel zu Big Data, C.H. Beck Verlag, München 2014.*