

Nutzen und Wert von Metaphern

Hilfreiche Bilder Inwiefern ist das Universum ein Computer?

Wie sollen wir über das Universum nachdenken, ohne Metaphern zu Hilfe zu nehmen? Auch wenn wir die mythischen Erklärungen mit der Welt auf einer Schildkröte und dergleichen hinter uns gelassen haben, sind die Metaphern vom Buch der Natur, das in mathematischen Lettern geschrieben ist (Galilei), oder von der Welt als Uhrwerk, welche die metaphysischen Debatten des 17. und 18. Jahrhunderts durchzieht, wirklich etwas grundlegend anderes?

Wir haben uns gewissermassen an sie gewöhnt, deshalb erscheint die neue Metapher, wonach man das Universum als eine Art Computer denken könne, der seine eigene Entwicklung berechnet, wohl vielen als abstrus. Gott wurde vom Schöpfer zum Mathematiker, dann zum Uhrwerker und schliesslich noch zum Programmierer. Wo bei man nicht unterschlagen darf, dass die bisherigen Metaphern als heuristische Vehikel für den wissenschaftlichen Fortschritt unverzichtbar waren, auch wenn die Fortschritte der Physik ihre Brauchbarkeit wieder in Frage gestellt haben.

«Spektrum der Wissenschaft» (das deutschsprachige Pendant zum «Scientific American») hat der Frage «Ist das Universum ein Computer?» auf jeden Fall eine Spezialnummer gewidmet (Spezial 3/07; www.spektrum.com/sonderhefte). Dort kann man nicht nur den berühmten Artikel nachlesen, in dem Konrad Zuse seine lang gehegte Vermutung 1967 ausformulierte, wonach es zwischen Rechen- und physikalischen Prozessen Analogien gäbe. Das Heft endet mit einem Appell des kürzlich verstorbenen Joseph Weizenbaum, den Menschen nicht auf eine berechenbare Grösse zu reduzieren.

Am radikalsten ist der Informatiker Jürgen Schmidhuber die Idee angegangen: Wenn das Universum ein Computer ist, dann sollten wir doch versuchen, sein Programm zu finden. Seine Idee, ein Programm vorzuschlagen, das alle möglichen Programme auflistet und sie dann parallel durchrechnet, erscheint auf den ersten Blick nur auf brachiale Rechenpower zu setzen. Es stellt sich jedoch heraus, dass man die Rechnung in einer theoretisch optimal effizienten Weise arrangieren kann, welche die Vermutung nahelegt, dass die Geschichte unseres Universums die Ausgabe eines der kürzesten und schnellsten Programme ist, die mit seinem bisherigen Verlauf kompatibel sind. (CHB)

SCHMIDHUBERS GESETZ Von den ersten Rechenmaschinen bis zu den Supercomputern der Zukunft: der Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Durchbrüchen halbiert sich scheinbar mit jedem neuen Durchbruch. In ca. 10 Jahren wird es Maschinen mit der Rechenleistung des Gehirns geben; zwischen 2030 und 2040 scheint die Reihe der Durchbrüche zu «konvergieren». (BGRAFIK/SCHMIDHUBER)



SCHMIDHUBERS GESETZ: GRÖßERE DURCHBRÜCHE IN DER COMPUTER-WISSENSCHAFT FOLGEN IMMER SCHNELLER AUF EINANDER (WOBEI SICH DIE ZEITLICHEN ABSTÄNDE JEWEILS HALBIEREN)

«Eine zufällige Welt wäre sicher nicht elegant»

Jürgen Schmidhuber Die Wissenschaft sucht nach Erklärungen, die einfacher sind als die Phänomene selbst – aber dann darf es keinen «echten Zufall» geben

Unser Universum hat eine Geschichte. Falls es dabei immer nach Regeln zugegangen ist, wäre es berechenbar. Und dann könnte man seine Geschichte als durch eine Art Computerprogramm hervorgerufen auffassen. Wir sollten versuchen, dieses Programm zu finden, meint Jürgen Schmidhuber, Professor für Künstliche Intelligenz.

CHRISTOPH BOPP

Herr Professor Schmidhuber, in einem Aufsatz haben Sie geschrieben, es könnte sich lohnen, das «Programm» des Universums zu suchen. Was verstehen Sie darunter? Sie vermuten sogar, es könnte ein recht «einfaches Programm» sein.

Jürgen Schmidhuber: Jeder Wissenschaftler bemüht sich, die Phänomene möglichst einfach zu erklären. Die Wissenschaft folgt «Ockhams Rasiermesser», das ist der Leitsatz eines mittelalterlichen Gelehrten, der sagt, dass man die Dinge nicht unnötig verkomplizieren sollte. Andrej Nikolajewitsch Kolmogorow (1903-1987), ein russischer Mathematiker, hat dann formal «Einfachheit» definiert durch die Länge des kürzesten Programms, das das Ding, das ich erklären möchte, beschreibt.

Was verstehen Sie denn unter der «Länge eines Programms»?

Schmidhuber: Die Zahl seiner Bits, eine Folge von Nullen und Einsen. Die Länge des kürzesten Programms ist ein Mass für den Informationsgehalt. Das klingt trivial, birgt aber manchmal Überraschungen: Wenn man ein Fraktal anschaut, dann sieht das sehr kompliziert aus, aber in Wirklichkeit gibt es ein ganz kurzes Programm, das diese verästelten Dinge beschreibt und ausrechnet. Vielleicht ein paar Zeilen lang. Der Informationsgehalt des Fraktals ist also sehr gering.

Aber das Universum sehr kompliziert.

Schmidhuber: Stellen Sie sich vor, dieses Universum ist die Ausgabe eines Programms. Wie bei einem Videospiel: Alles, was Sie sehen, was sich da so bewegt und handelt, wird von einem Programm erzeugt. Und wenn wir nun fragen, welches ist das einfachste Programm, das jedes kleine Detail, das in diesem Universum drin steckt, beschreibt, dann haben wir die Antwort auf alle Fragen, welche die Philosophen und Physiker schon seit längerem umtreiben.

Können Sie mir sagen, wie man auf die Idee kommt, dass das Universum ein Computer ist, in dem ein Programm abläuft?

Schmidhuber: Der Computerpionier Konrad Zuse war der erste, der 1941 einen rechnenden Automaten gebaut hat. Einen grossen Kasten mit vielen Relais-Schaltungen, die miteinander verdrahtet waren. Und er schlug bald darauf vor, dass man sich die «Elementarteilchen», von denen man damals noch weniger wusste als heute, wie zelluläre Automaten vorstellen könnte. Die traditionellen Physiker rechnen ja mit einem Kontinuum, das heisst, überabzählbar vielen unberechenbaren reellwertigen Grössen. Archimedes, Madhava von Sangamagrama, Newton und Leibniz erfanden jeder für sich Aspekte der Infinitesimalrechnung, einer Methode, mit der man formal mit unendlich vielen unendlich kleinen Grössen hantieren kann. Das funktioniert ja auch recht gut. Aber um 1900 entdeckte Max Planck das so genannte «Wirkungsquantum»; er entdeckte, dass die Energie bei der Strahlung nicht kontinuierlich abgegeben wird, sondern in Sprüngen. Das scheint darauf hinzudeuten, dass die Welt doch «körnig», also diskontinuierlich oder diskret ist. Und wenn das so ist, dachte sich Zuse, dann könnte man ja versuchen, sich diese Elementarteilchen als Nebenprodukte eines Programms für einen zellulären Automaten vorzustellen. Sie gehorchen bestimmten Regeln und können ihre Zustände diesen Regeln gemäss



Es gibt ein ganz kurzes Programm, das alle Stellen der Dezimalbruchentwicklung von Pi ausrechnet. **Scheinbar zufällige Dinge sind oft nicht zufällig**

verändern. Wie elementare Schaltkreise in einer Rechenmaschine. Und dann ist es nicht abwegig, sich das Universum selbst als einen Computer vorzustellen, der ein Programm abarbeitet.

Wenn das Universum wie ein Computer funktioniert und wenn wir sein Programm finden – das wäre dann die Weltformel?

Schmidhuber: Genau. Die kennt im Moment noch keiner. Die Physiker bemühen sich, sie zu finden.

Nicht alle Physiker ...

Schmidhuber: Nein, es gibt Physiker, die sagen: Man kann die Welt gar nicht auf ein kurzes Programm reduzieren.

Das klingt doch auch nicht ganz unplausibel? Was wäre aus Ihrer Sicht der Unterschied zwischen einem Universum, das auf einem Programm beruht, und einem anderen?

Schmidhuber: Es dürfte keine unberechenbaren Zahlen oder Grössen enthalten. Aber bis jetzt gibt es keinen Anhaltspunkt dafür, dass unser Universum solche Dinge enthält. Es gibt auch kein experimentelles Resultat, das darauf hinweisen würde.

Aber die Quantenphysik behauptet doch, dass es mit dem Determinismus vorbei ist.

Schmidhuber: Bekannte Physiker wie Anton Zeilinger haben in der Tat behauptet, dass diese Quantenprozesse, also diese Prozesse mit den kleinsten Grössen, zufällig seien. In jeder Mikrosekunde fänden Trillionen solcher zufälliger Prozesse statt.

Das wäre der Bankrott der Wissenschaft? Oder nicht?

Schmidhuber: Bankrott wäre vielleicht zu heftig ausgedrückt. Man könnte die Phänomene, wie das einige Physiker vorgeschlagen haben, ja probabilistisch erklären. Das heisst: Die Formeln und Gesetze geben uns nur eine Wahrscheinlichkeit an, mit der etwas eintritt, die ist aber nicht hundertprozentig. Wirklicher Zufall wäre aber - so nennen wir das - «nicht komprimierbar». Es gibt dann keine Beschreibung, die kürzer wäre, als die Zufallssequenz selbst. Aber noch einmal: Es gibt keinen Beweis dafür, dass es in unserem Universum so etwas wie wahren Zufall gibt.

Aber mir - und vielen anderen - scheint der Eindruck überwältigend, dass da Dinge ablaufen, über die wir weder sagen können, wann sie passieren und schon gar nicht, warum.

Schmidhuber: Es gibt viele Dinge, die zufällig ausschauen, es aber nicht sind. Nehmen Sie die Dezimalbruchentwicklung von Pi, 3,1415 ... undsoweiter. Es gibt Millionen Stellen von Pi, die keine sofort offensichtliche Regelmässigkeit aufweisen. Also Zufall pur?

Nein, denn es gibt ein ganz kurzes Programm, das sie alle ausrechnet. Scheinbar zufällige Dinge sind oft gar nicht zufällig.

Das wäre bei Pi der Fall?

Schmidhuber: Genau. Schauen Sie sich die Ziffernfolge an. Alle Ziffern kommen etwa gleich häufig vor, alle Ziffernpaare so oft, wie man erwarten könnte, wenn Pi eine Zufallsfolge wäre, zum Beispiel kommt 35 ungefähr einmal alle 100 Ziffern vor. Aber Pi ist eben nicht zufällig, sondern sieht nur auf den ersten Blick so aus.

Aber es erweckt den Anschein von Zufall?

Schmidhuber: Genau. Und beim Universum selbst könnte es genauso sein. Vielleicht beugt sich mal am CERN ein junger Physiker über all diese scheinbar zufälligen bisher registrierten Zerfallsereignisse und sieht plötzlich, dass es da doch etwas Regelmässiges gibt. Bis jetzt hat noch keiner was gefunden. Aber wie gesagt: Es gibt keinen Beweis, dass es in unserem Universum wirklichen Zufall gibt.

Was ist denn wahrscheinlicher, dass das Universum berechenbar oder dass es zufällig ist?

Schmidhuber: Das Problem mit Wahrscheinlichkeitsaussagen ist, dass Sie immer a priori etwas zugrunde legen müssen. Sie müssen im Voraus annehmen, wie die möglichen Hypothesen verteilt sind.

Das war eine dumme Frage.

Schmidhuber: Gar nicht dumm, sondern sehr wichtig! Es ist entscheidend, was Sie vorher an Annahmen reinstecken. Also, wenn Sie es wirklich a priori für möglich halten, dass im Universum unberechenbare Zahlen existieren, dann besteht aus Ihrer Sicht eine gewisse a priori Wahrscheinlichkeit, dass es unberechenbar ist. Dann könnten wir wenig formal erklären. Aber dafür gibt es, ich sage es noch einmal, bis jetzt keinen Beweis.

Wie wollen Sie das Universal-Programm finden? Gibt es nicht unzählige viele?

Schmidhuber: Ja, aber abzählbar unendlich viele. Ich kann sie alle nacheinander aufschreiben - theoretisch. Wenn ich mit den kürzesten Bitketten anfangen, das wären 0 und 1; dann 00, 01, 11, 10, 111, 101, 100, 011, 010, 001 undsoweiter, dann habe ich eine Liste, die alle Programme enthält. Also eigentlich ganz einfach.

Eines unter diesen wäre dann das richtige?

Schmidhuber: Ja. Meine Idee ist, ein Programm anzugeben, das alle möglichen Programme auflistet und sie dann durchrechnet. Die Geschichte unseres Universums müsste dann unter den Ausgaben sein, falls sie denn berechenbar ist.

Moment. Haben Sie hier nicht etwas vorausgesetzt, was dann her-



JÜRGEN SCHMIDHUBER

Geboren 1963 in München. Professor für Cognitive Robotics & Computer Science an der TU München (seit 2004); Co-Direktor des IDSIA (Istituto Dalle Molle di Studi sull'Intelligenza Artificiale); Labor für Künstliche Intelligenz bei Lugano (seit 1995); Adj. Professor für Computer Science an der Universität Lugano (seit 2006); Professor an der SUPSI (Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italia) in Lugano (seit 2003).

«Seit er rund 15 Jahre alt war, bestand Prof. Schmidhubers grösstes wissenschaftliches Ziel darin, einen künstlichen optimalen Wissenschafter zu bauen, um sich anschliessend aus der Wissenschaft zurückziehen. (...) Bevor man ihn 2028 ohnehin in Rente schicken wird, wird er sich bereits Hardware zulegen können, deren rohe Rechenkraft die seines Hirns bei weitem übersteigt. Wird es bis dahin auch geeignete selbstverbessernde Software geben? Falls nicht, wäre er verblüfft. Dieser Optimismus beflügelte seine Forschungen im Bereich mathematisch sauberer, universeller Lernmaschinen und Künstlicher Intelligenz, besonders der Neuen KI, (...)» (Zitat Homepage Schmidhuber: <http://www.idsia.ch/~juergen/deutsch.html>)

BEDETTO GALLI/TI-PRESS

auskommt? Ein Universum, das nur aus Programmen und Unterprogrammen besteht, müsste ja a priori berechenbar sein.

Schmidhuber: Ja, natürlich. Es funktioniert nur unter der Voraussetzung, dass unser Universum berechenbar ist. Es gibt aber keine Evidenz gegen diese Annahme. Warum also ohne Zwang annehmen, dass etwas dermassen kompliziert ist, dass es nicht mal berechenbar und beschreibbar ist. Ockham würde sich da beschweren.

Wenn Sie die Geschichte der Physik betrachten, müssten Sie da nicht die Hoffnung fahren lassen? Die Welt, wie die Physiker sie uns beschreiben, wird ja immer verrückter.

Schmidhuber: Zuerst einmal stehen wir als Physiker oder als Wissenschaftler in der Pflicht, für alle Dinge möglichst einfache Erklärungen zu suchen. Und das gelingt uns doch oft. Wir können immer mehr erklären. Auch wenn sich das für den Alltagsverstand manchmal durchaus verrückt anhört. Wir finden für immer mehr – okay, manchmal Kleinigkeiten, – die wir vorher nicht vorhersehen konnten, dass sie einem Gesetz unterliegen und wir sie plötzlich doch vorhersagen können.

Was ist eigentlich der Unterschied zwischen einem Gesetz und einem Programm?

Schmidhuber: Das Fallgesetz zum Beispiel beschreibt bis zu einem gewissen Grade, wie sich Äpfel verhalten, die vom Baum fallen. Aber es erklärt nicht alles, was in den Molekülen des Apfels vorgeht oder dergleichen. Gibt es ein Programm, das alle diese Details deterministisch beschreibt? Das wäre eine umfassendere Beschreibung.

Also das Fallgesetz liefert nur eine Vorschrift, wie ich den Fall eines Apfels programmieren müsste?

Schmidhuber: Eine ziemlich oberflächliche eben. Ein weitergehendes Programm würde uns auch kompakt beschreiben, wie sich die einzelnen Elementarteilchen

verhalten. Alle Elektronen zum Beispiel verhalten sich offenbar immer gleich.

Das Programm würde uns nicht nur die Geschwindigkeit angeben, mit der der Apfel auf dem Boden auftrifft und die ganzen Energieprozesse dort, sondern uns auch zeigen, wie er zerplatzt?

Schmidhuber: Wie bei einem guten Videospiel. Je naturgetreuer wir programmieren, desto ähnlicher wird es dem, was wir kennen. Bis wir es nicht mehr von der Realität unterscheiden könnten?

Schmidhuber: Perfekte Simulation ist Realität. Wir könnten ein Teil davon sein. Der externe Programmierer dieser Simulation könnte «reinschauen»; und fände vielleicht einen in Form von Bits kodierten Beobachter wie mich, der fühlt sich frei, aber in Wirklichkeit ist sein Leben völlig deterministisch, programmiert, einschliesslich seiner eigenen Überlegungen, ob er einen freien Willen hat ...

Was wäre eigentlich der Unterschied zwischen diesem Universumsprogramm und der Weltformel, die Albert Einstein Zeit seines Lebens gesucht hat?

Schmidhuber: Keiner. Einstein hatte ein grosses Interesse an der Weltformel. Er wusste, mit seiner Allgemeinen Relativitätstheorie hat er einen grossen Durchbruch erreicht. Im Vergleich zu Newton hat er viel mehr vorhersagbar gemacht. Aber es gab immer noch Dinge, die er nicht vorhersagen konnte.

Welche denn?

Schmidhuber: Zum Beispiel: Welches dieser Atome zerfällt in der nächsten Millisekunde? Das kann man bis heute nicht sagen. Und viele glauben ja, dass es zufällig und damit prinzipiell unvorhersagbar sei. Aber nicht Einstein. Wenn die Geschichte unseres Universums dauernd von solchen «echten Zufällen» gestaltet worden wäre, hätte sie keine kurze Beschreibung. Das wäre unbefriedigend. Auch aus Physikersicht.

Deshalb bin ich auch überrascht, dass viele Physiker das so bereitwillig akzeptieren und gar nicht viel hinterfragen.

Aber erfreulich für die Theologen?

Schmidhuber: Warum? Meinen Sie, dass der Zufall den Theologen willkommen ist?

Immerhin wäre dann die Welt dem Zugriff der Physiker entzogen und dem unerforschlichen göttlichen Ratschluss wieder zurückgegeben.

Schmidhuber: Eine elegante Welt wäre das aber nicht, oder?

Nein, eigentlich nicht. Vielleicht wäre sie sogar eher teuflisch.

Schmidhuber: Wie auch immer. Erwarten Sie von mir da keinen Kommentar. Aber ich bilde mir zumindest ein, dass auch Theologen ein Bedürfnis haben nach einer klaren und überzeugenden Erklärung der Welt. Das wäre doch nicht der Fall bei etwas, wo der Zufall dominiert.

Kann es auch Fälle geben, in denen die einfachste Erklärung eine falsche ist?

Schmidhuber: Eine falsche Erklärung ist immer eine falsche. Was meinen Sie mit der Frage?

Ich denke an den Fortschritt der Wissenschaft. Newtons Gravitationsgesetz ist doch sicher einfacher als Einsteins Monster einer Allgemeinen Relativitätstheorie.

Schmidhuber: Einsteins Theorie ist im Prinzip ganz simpel. Nur wenn man sie nicht versteht, glaubt man vielleicht, sie sei kompliziert. Aber jetzt sehe ich, was Sie meinen. Schauen Sie sich diese Folge an: 2, 4, 6, 8, ... – was wäre das nächste Glied?

Nun, ich denke: 10.

Schmidhuber: Ist es aber nicht. Es ist 34.

34? Wie kommt man denn darauf?

Schmidhuber: Sie sagen «10», denn Sie glauben, die n-te Zahl ist 2n. Aber sie ist $n^4 - 10n^3 + 35n^2 - 48n + 24$.

Man könnte also sagen, dass, wenn sich unsere Daten erwei-

tern, auch die Erklärungen komplizierter werden?

Schmidhuber: Nicht unbedingt. Aber was Ockham meint, ist, dass es eben die für eine bestimmte Menge von Daten kürzeste Erklärung sein muss. Nicht zu einfach, nicht zu kompliziert.

Werden wir je herausfinden, ob es Zufall gibt oder nicht?

Schmidhuber: Wenn es keinen gibt, werden wir das meiner Ansicht nach früher oder später rausfinden. Wir sind jedenfalls heraus-



Auch Theologen haben ein Bedürfnis nach einer klaren und überzeugenden Erklärung der Welt

gefordert, immer eine noch kürzere Erklärung zu finden für unsere Welt, eine, die kürzer ist als die, die wir schon haben mit den bereits bekannten Naturgesetzen.

Wie würde es sich «anfühlen», wenn man wüsste, dass man «nur Teil» eines Computerprogramms wäre?

Schmidhuber: Im Alltag würde sich wohl kaum was ändern. Oder nicht viel. Kinder haben übrigens ein unverkrampfteres Verhältnis zu dieser Idee als Erwachsene. Ihnen macht auch die Idee, dass das ganze Universum Output eines Rechenprogramms ist, weniger

Schwierigkeiten als Physikern. Die haben weniger Erfahrung mit Videospielen.

Die Zukunft könnte ich aber nicht kennen?

Schmidhuber: Meine persönliche langfristige Zukunft wohl kaum. Auch wenn ich das Programm, das mich durchrechnet, kennen würde, besteht nach wie vor das Problem: Das Universum evolviert schneller, als eine Maschine in diesem Universum rechnen kann.

Und der freie Wille?

Schmidhuber: Sind wir durch ein Programm berechenbar, ist natürlich alles, was passiert, determiniert. Trotzdem ist der «freie Wille» als pragmatisch verwendbarer Begriff im Alltag nach wie vor nützlich, genauso wie «Liebe» etc., sonst hätten sich solche Begriffe gar nicht erst im Rahmen von Gesellschaftsevolution und Sprachevolution entwickelt.

Was passiert eigentlich, wenn es Künstliche Intelligenzen gibt, die schneller rechnen als unsere Gehirne?

Schmidhuber: Das ist eine andere Frage, die mit diesem Thema ja eigentlich nicht viel zu tun hat. Versuchen wir es mit einer Analogie: Meine Kinder können schlecht vorhersagen, was der Papa demnächst in der Arbeit tun wird, weil sie einfach keinen Zugang haben zu meiner Begriffswelt. Ameisen wissen erst recht nicht, was Menschen als nächstes tun werden. Wie sollen wir also vorhersagen, was zukünftige KIs alles unternehmen werden? Tröstlich ist, dass es immer noch viele Ameisen auf der Welt gibt, vor allem dort, wo sie keine Zielkonflikte mit Menschen haben.

In einem determinierten Universum wäre ja auch die KI vorgesehen. Maschinenstürmen wäre keine gute Idee?

Schmidhuber: Auch die Maschinenstürmer wären Teil des ablaufenden Programms. Kein wesentlicher, vermute ich – Maschinenstürmer zu Zeiten der Industrialisierung haben den Lauf der Entwicklung jedenfalls kaum aufgehalten.