

**Spektrum**  
der Wissenschaft

**KOMPAKT**

# KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

## **Expertensysteme**

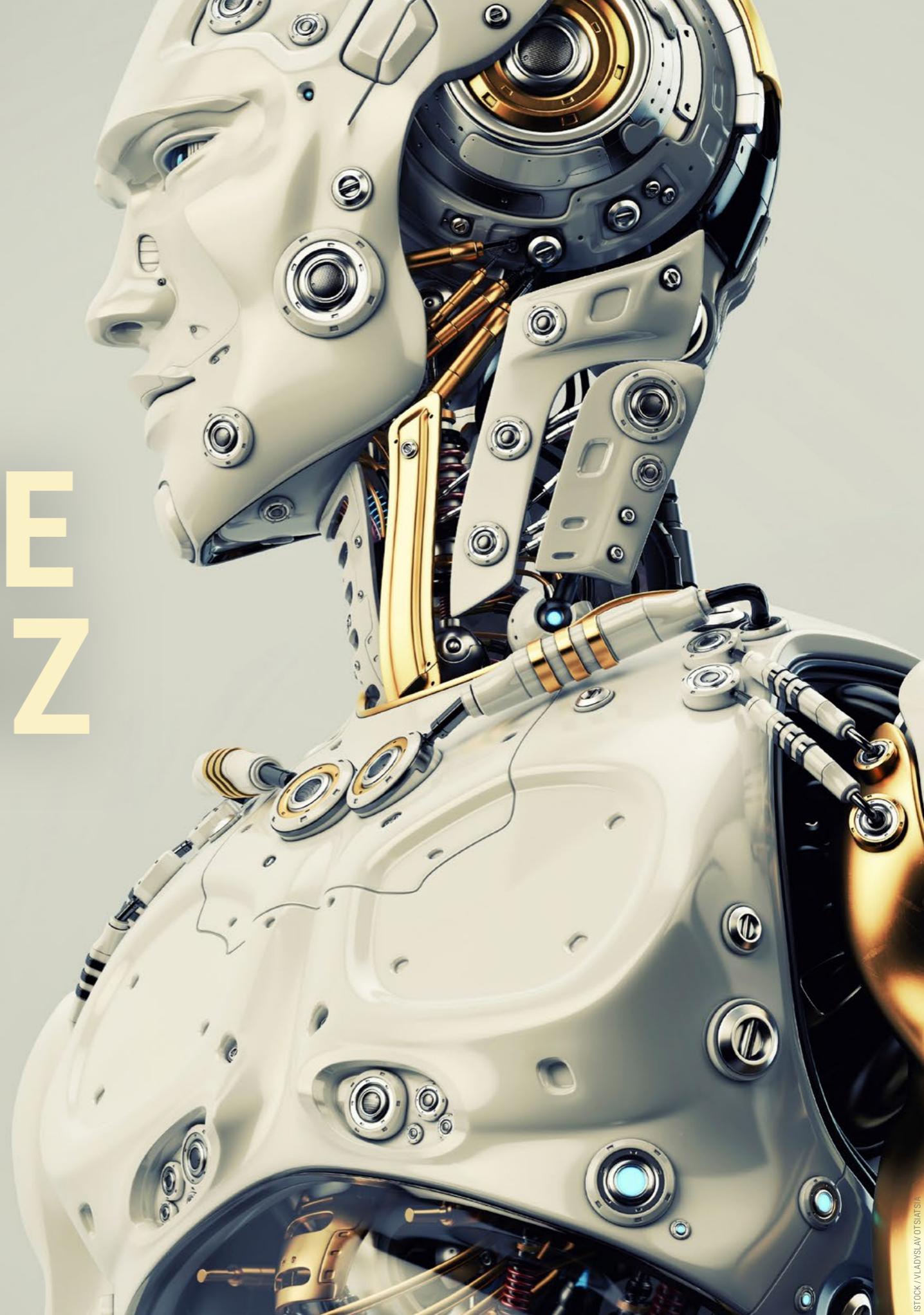
Arbeiten mit Kollege KI

## **Computerlinguistik**

Interview mit einem Cog

## **Entwicklung**

Wie gefährlich ist die Künstliche Intelligenz?





Antje Findekleer  
E-Mail: [findekleer@spektrum.de](mailto:findekleer@spektrum.de)

## Liebe Leserin, lieber Leser,

»wann übernehmen die Maschinen?« lautet der Untertitel eines aktuellen Buchs des Springer-Verlags zum Thema »künstliche Intelligenz«. Die Frage scheint nicht ganz unberechtigt angesichts der Fortschritte in der Lernfähigkeit von technischen Systemen. Kognitive Computerprogramme verstehen inzwischen nicht nur Sprache, sondern zunehmend auch Emotionen und Motive; Roboter finden sich in unbekanntenen Situationen selbst zurecht, indem sie verschiedene Verhaltensweisen durchspielen; und mit Hilfe ausgeklügelter Algorithmen analysieren Forscher riesige Datenmengen, die sie früher nicht bewältigt hätten. Was leistet die künstliche Intelligenz, wo liegen Chancen und Risiken?

Eine spannende Lektüre wünscht Ihnen

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 17.10.2016

Folgen Sie uns:



**CHEFREDAKTEURE:** Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.), Dr. Uwe Reichert  
**REDAKTIONSLEITER:** Christiane Gelitz, Dr. Hartwig Hanser, Dr. Daniel Lingenhöhl  
**ART DIRECTOR DIGITAL:** Marc Grove  
**LAYOUT:** Oliver Gabriel  
**SCHLUSSREDAKTION:** Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle  
**BILDREDAKTION:** Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe  
**PRODUKTMANAGERIN DIGITAL:** Antje Findekleer  
**VERLAG:** Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600, Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114, UStd-Id-Nr. DE147514638  
**GESCHÄFTSLEITUNG:** Markus Bossle, Thomas Bleck  
**MARKETING UND VERTRIEB:** Annette Baumbusch (Ltg.)  
**LESER- UND BESTELLSERVICE:** Helga Emmerich, Sabine Häusser, Ute Park, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)

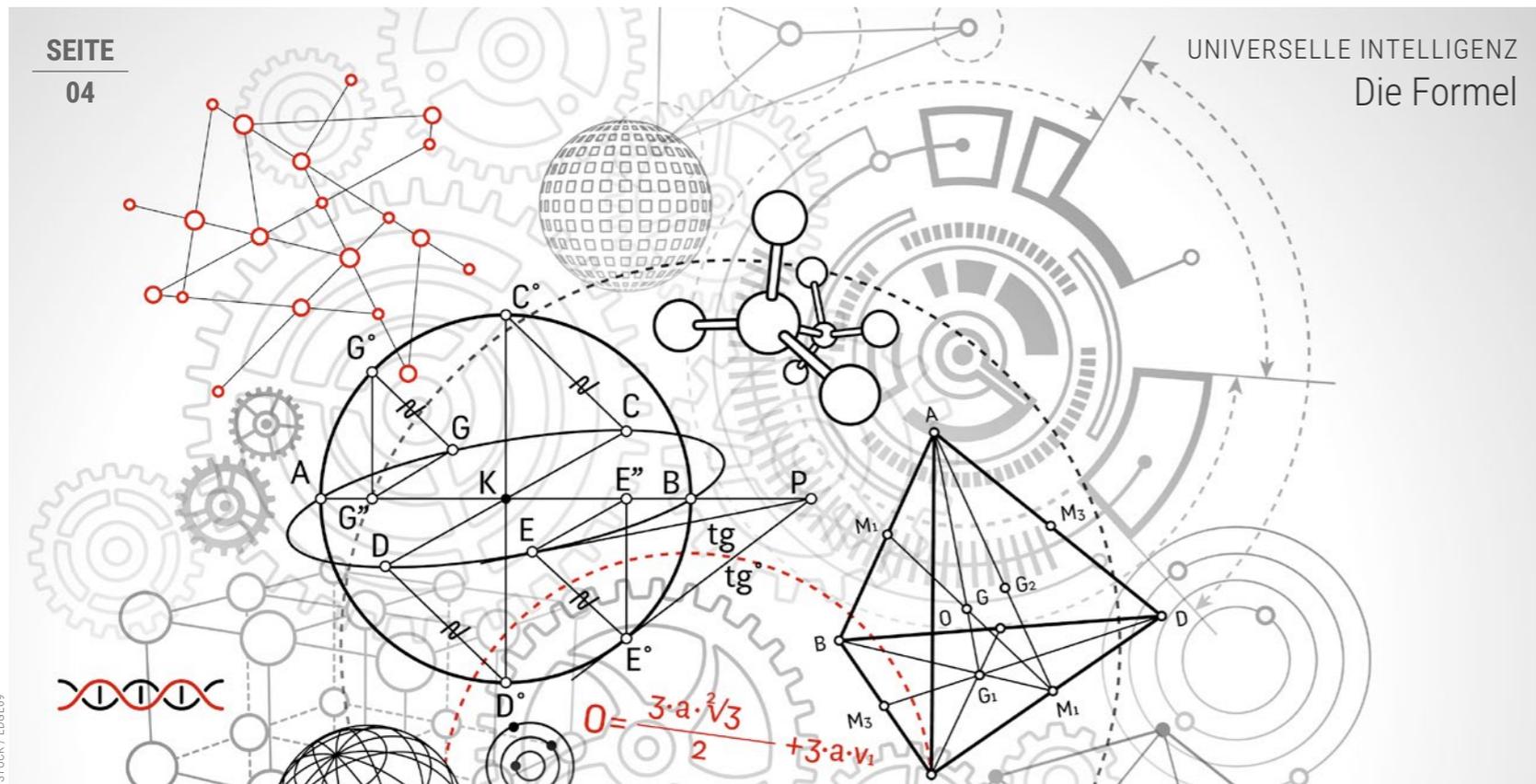
Die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH ist Kooperationspartner des Nationalen Instituts für Wissenschaftskommunikation gGmbH (NaWik).

**BEZUGSPREIS:** Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer  
**ANZEIGEN:** Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an [anzeigen@spektrum.de](mailto:anzeigen@spektrum.de).

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2016 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

SEITE  
04

UNIVERSELLE INTELLIGENZ  
Die Formel

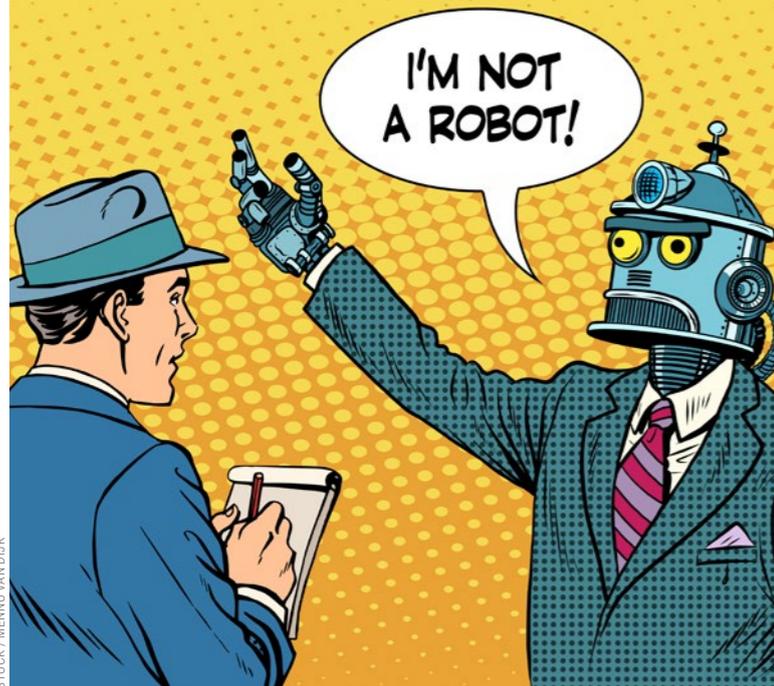


ISTOCK / EDGE69

- 25 EXPERTENSYSTEME  
Arbeiten mit Kollege KI
- 36 INDUSTRIEFORSCHUNG  
Die Stunde der KI-Firmen
- 41 ALGORITHMEN  
Die Grenzen der künstlichen Intelligenz
- 48 TURINGTEST  
Wer schweigt, bleibt Philosoph
- 51 SOFTWAREENTWICKLUNG  
Wie gefährlich ist die Künstliche Intelligenz?
- 54 EINGEBETTETE SYSTEME  
Dank generischer Steuerverfahren  
lernen Roboter selbstständig
- 57 MASCHINELLES LERNEN  
Algorithmen als Teilchenentdecker
- 64 FERNERKENNUNG  
Künstliche Intelligenz findet Armut  
per Satellit

SEITE  
14

COMPUTERLINGUISTIK  
Interview mit einem Cog



ISTOCK / MENNO VAN DIJK

DEEP LEARNING  
Talent am  
Joystick

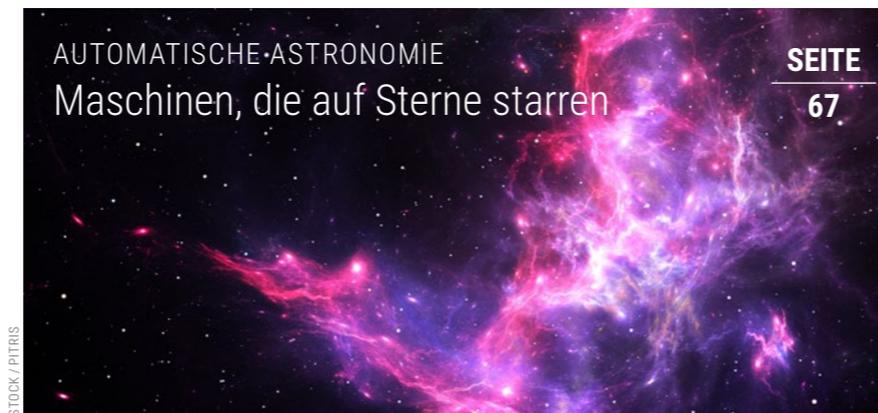
SEITE  
28



ISTOCK / KIRILLM

AUTOMATISCHE ASTRONOMIE  
Maschinen, die auf Sterne starren

SEITE  
67



ISTOCK / PITRIS



UNIVERSELLE INTELLIGENZ

# DIE FORMEL

von Jean-Paul Delahaye

Computer vollbringen eine Vielzahl intelligenter Leistungen – doch stets auf anderen Wegen als der Mensch. Forscher suchen nun nach einer universellen Beschreibung von natürlicher und künstlicher Intelligenz.

**W**as ist Intelligenz? Wie Psychologen schon lange wissen, ist dieser zentrale Begriff ihrer Wissenschaft schwer zu fassen, und die gängigen Intelligenztests fragen nach einer Mischung von Fähigkeiten. Der amerikanische Psychologe Howard Gardner ging in seinem Buch »Frames of Mind« (deutsch: »Abschied vom IQ«) von 1983 so weit zu behaupten, es gebe nicht eine einheitliche Intelligenz, sondern viele verschiedene Formen. Die Idee schmeichelt unserem Ego, vor allem wenn wir uns nicht eines hohen IQs rühmen können: Je mehr Spezialintelligenzen es gibt, desto größer ist unsere Chance, wenigstens in einer von ihnen zu glänzen. Gleichwohl stieß Gardners Konzept in der Fachwelt auf heftigen Widerspruch.

Die Diskussion um das Wesen der Intelligenz erhält neue Nahrung, da in jüngster Zeit Maschinen Leistungen vollbringen,

die bislang alle Welt ohne zu zögern als intelligent bezeichnet hätte. Als 1997 der Rechner »Deep Blue« den damaligen Schachweltmeister Garri Kasparow entthronte, galt das allgemein als epochales Ereignis. Damals wiesen einige Kommentatoren – quasi zum Trost – darauf hin, dass die Programme bei dem Brettspiel Go nur verblüffend mittelmäßige Leistungen zeigten. Aber inzwischen können es die Maschinen auch hier mit den Topspielern aufnehmen. Im Oktober 2015 gelang es einem von der Firma »DeepMind« entwickelten System, den amtierenden Go-Europameister zu schlagen, und kurz darauf, im März 2016, sogar den derzeit weltbesten Spieler Lee Sedol.

Im Damespiel ist die künstliche Intelligenz (KI) mittlerweile unschlagbar. Seit 1994 ist es keinem Menschen gelungen, das kanadische Programm »Chinook« zu besiegen; es verfolgt eine optimale, nicht weiter verbesserungsfähige Strategie. Nach

AUF EINEN BLICK

## Wege zur universellen Intelligenz

- 1 Computer können nicht nur besser rechnen und Datenbanken durchsuchen als Menschen. Sie übertreffen uns auch bei Brett- und Ratespielen und fahren sogar selbstständig Auto.
- 2 Sie erbringen diese Leistungen jedoch auf völlig anderen Wegen als ein Mensch und können daher auch keinen Aufschluss über die menschliche Denkweise liefern.
- 3 Ein neues Konzept verbindet Intelligenz mit der Fähigkeit zur Datenkompression. Das soll menschliche und maschinelle Intelligenz leichter mess- und vergleichbar machen.



## GOOGLE-AUTO

**Das autonome Auto der Firma Google benötigt keinen Fahrer mehr. Der Sensor auf dem Dach erzeugt ein detailliertes 3-D-Abbild der Umgebung und verrechnet es mit bereits vorhandenen hoch aufgelösten Karten. Aus Sicherheitsgründen darf das Fahrzeug jedoch nicht schneller als 40 Stundenkilometer fahren.**

Mit diesen Fähigkeiten können Maschinen zwar Schachweltmeister werden, doch für komplexere Aufgaben, wie Auto fahren, reicht das bei Weitem nicht. Dennoch haben Roboterautos heute beachtliche Fähigkeiten. Aber auch hier wird der Unterschied zur menschlichen Intelligenz deutlich. Ein autonomes Auto »denkt« ganz anders als ein Mensch.

der Spieltheorie muss es eine solche Gewinnstrategie für alle Spiele dieser Klasse geben. Sie für Schach zu berechnen, scheint allerdings auf mehrere Jahrzehnte hinaus noch unmöglich zu sein.

Künstliche Intelligenz kann inzwischen viel mehr, als einfach nur eine große Zahl von Möglichkeiten zu durchmustern. Doch selbst bei so scheinbar simplen Aufgaben wie Brettspielen mussten die Forscher er-

fahren, wie schwierig es ist, menschliche Denkprozesse nachzubilden: Die Programme für Dame, Schach und Go können es zwar mit den besten menschlichen Spielern aufnehmen, sie funktionieren jedoch ganz anders als der menschliche Geist.

Große Mengen von Informationen speichern, schnell und systematisch symbolische Daten wie etwa die Positionen von Bauern auf einem Schachbrett auswerten:

## Computer am Steuer

Was wir völlig automatisch erledigen, während wir uns womöglich nebenbei noch unterhalten, ist für einen Computer undenkbar: Wir analysieren permanent rasch wechselnde Bilder und beurteilen blitzschnell ihre Bedeutung. Wo ist der Rand dieser mit Laub bedeckten Straße? Ist der schwarze Fleck in der Ferne ein Schlagloch

oder nur eine Pfütze? Eine so leistungsfähige Bildanalyse kann heute noch niemand programmieren. Daher setzen autonome Fahrzeuge ganz andere Mittel ein. Die Autos der Firma Google bestimmen ihren Ort auf der Erdoberfläche mit einer hoch präzisen Version des Satellitenortungssystems GPS. Dabei verwenden sie Karten, die unzählige Details anzeigen, etwa die Form und das Aussehen der Straßen, die Verkehrsschilder und wichtige Orientierungspunkte der Umgebung. Obendrein haben sie ein Radargerät an Bord, ein optisches System namens Lidar (light detection and ranging), das ein dreidimensionales Abbild der Umgebung erzeugt, sowie Sensoren an den Rädern.

Manche dieser Fahrzeuge sind bereits mehrere zehntausend Kilometer unfallfrei gefahren. Es besteht also kein Zweifel, dass sie in gewisser Weise intelligent sind, auch wenn sie nicht auf die Zeichen eines Polizisten reagieren können, gelegentlich vor einer Baustelle abrupt bremsen und aus Sicherheitsgründen nicht schneller als 40 Stundenkilometer fahren dürfen. Mit einem menschlichen Autofahrer können sie es allerdings bei Weitem nicht aufnehmen. Der kann auch eine ihm völlig unbekannte

Strecke bewältigen – ohne Karten, Radar oder Lidar und ohne an einem unerwarteten Hindernis zu scheitern.

Staubsaugen, Schachspielen, Autofahren: All das können Maschinen mehr oder weniger gut selbstständig erledigen. Aber was ist mit der komplexesten aller menschlichen Fähigkeiten, mit der Sprache? Lange Zeit hielt sich der Glaube, die geschriebene und gesprochene menschliche Sprache biete Computern ein unüberwindliches Hindernis. Aber auch diese Überzeugung bröckelt. So erreichen manche Programme beim Sprechen und Verstehen geradezu beunruhigende Leistungen. Manche Zeitungsredaktionen, etwa die »Los Angeles Times« und »Forbes«, sowie die Agentur »Associated Press« setzen inzwischen sogar Roboterjournalisten ein. Bislang beschränkten sich diese Programme darauf, Ergebnisse aus dem Sport oder Neuigkeiten aus dem Wirtschaftsleben in kurze Artikel zu fassen. Doch der Inhalt ihrer Texte wird zunehmend komplexer.

Am 17. März 2014 um 6.25 Uhr Ortszeit bebte in Kalifornien die Erde. Nur drei Minuten später erschien auf der Internetseite der »Los Angeles Times« ein etwa 20 Zeilen langer Artikel mit Informationen zum The-

ma: Lage des Epizentrums, Stärke, Zeitpunkt und ein Vergleich mit Erdstößen aus der jüngeren Vergangenheit. Das verfassende Programm nutzte Rohdaten des Informationsdienstes U.S. Geological Survey Earthquake Notification Service. Es stammt von dem Journalisten Ken Schwencke, der auch Programmierer ist. Nach seiner Aussage vernichten solche Methoden keine Arbeitsplätze, sondern machen im Gegenteil die Arbeit des Journalisten interessanter, weil er sich auf anspruchsvollere Themen konzentrieren kann.

Was die wenigsten wissen: Auch die Inhalte der freien Enzyklopädie Wikipedia sind nicht allesamt menschengemacht; erstaunlich viele Artikel wurden von Computern erzeugt. Der schwedische Physiker Lars Sverker Johansson hat ein Programm namens »Lsjbot« entwickelt, das täglich bis zu 10 000 Einträge produziert. Insgesamt hat es schon mehr als zwei Millionen Artikel geschrieben, und zwar auf Schwedisch sowie in Cebuano und Wáray-Wáray, zwei auf den Philippinen gesprochenen Sprachen. »Lsjbot« setzt Informationen über Tiere oder Städte, die bereits digitalisiert in Datenbanken vorliegen, in das von Wikipedia vorgegebene Format um. Mitte 2013

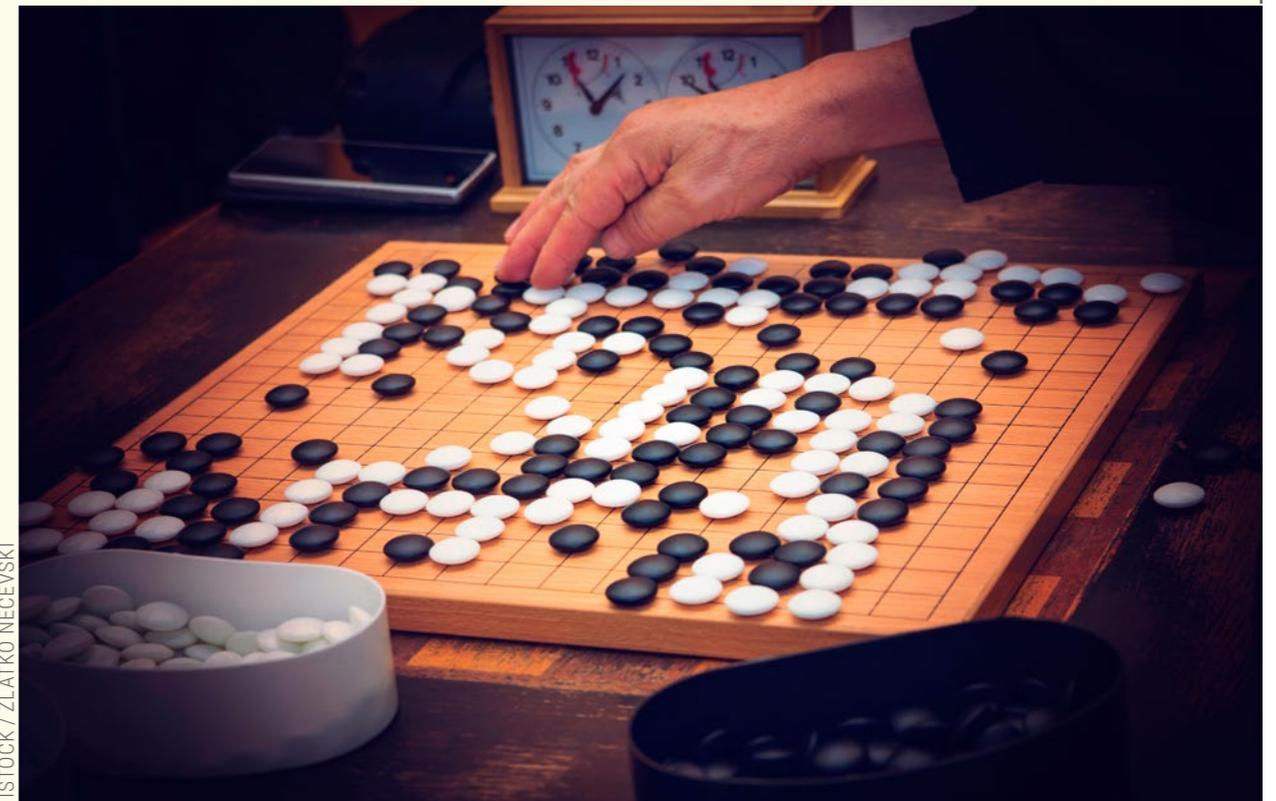
## Hinter den Schlagzeilen: Das Go-Spiel ist geknackt

Im März 2016 haben die Maschinen im Brettspiel eine ihrer letzten Hürden überwunden: das fernöstliche Spiel Go. In einem nach den klassischen Regeln gespielten Turnier gewann das Programm »Alpha-Go« mit 4 : 1 gegen den südkoreanischen Profi Lee Sedol, der als einer der derzeit besten Spieler gilt. Damit erreichten die Programmierer des Unternehmens Google DeepMind aus London ihr Ziel schätzungsweise zehn Jahre früher als erwartet.

Anders als Schach, bei dem heute selbst Großmeister keine Chance gegen die Computer haben, widersetzte sich Go bislang der künstlichen Intelligenz und galt darum als eine der letzten Bastionen menschlicher Überlegenheit im Spiel. Doch nun fand das Team um Demis Hassabis eine raffinierte Lösung in der Technik des so genannten Deep Learning.

Beim Go setzen Spieler nacheinander Steine ihrer Farbe (Schwarz oder Weiß) auf ein 19 mal 19 Felder großes Brett. Dabei gilt es, gegnerische Steine zu umzingeln und dadurch für sich zu erobern. Es gewinnt, wer mehr als die Hälfte des Bretts kontrolliert. Bei derartigen Spielen, in denen der Zufall nicht mitmischt, bietet es sich an, den Computer alle möglichen künftigen Züge im Voraus berechnen zu lassen – und zwar bis zum Ende der Partie. Das Ergebnis ähnelt einem Baum, der sich pro Zug um die Anzahl aller jeweils gültigen Folgezüge verästelt.

Lässt sich ein solcher Baum aufstellen, muss der Computer einfach nur solche Züge auswählen, die zu einem Gewinn der Partie führen. Leider ist es weder beim Schach und erst recht nicht beim Go möglich,



ISTOCK / ZLATKO NECEVSKI

Das Spiel Go hat sehr einfache Regeln, ist aber dennoch äußerst komplex. Das Ziel ist es, mit Steinen, die nacheinander auf das Spielfeld gelegt werden, möglichst viele gegnerische Steine zu umzingeln.

sämtliche Verästelungen dieses Suchbaums zu verfolgen. Ihre Anzahl übersteigt rasch die Grenzen jedweder Handhabbarkeit. Doch das Ganze lässt sich auch viel einfacher lösen, sofern man nur diejenigen Pfade betrachtet, die besonders lohnend erscheinen, und diese zweitens nur so lange Zug um Zug in die Zukunft verfolgt, bis man sicher genug weiß, ob sich die Partie in eine günstige Richtung entwickelt. Unnötige und aussichtslose Pfade werden einfach aussortiert. Die Schwierigkeit dabei ist nur: Woher weiß man, dass man Halt machen sollte? Und wie lassen sich überhaupt die lohnenden Züge finden?