



Die Rechenricks
der Künstlichen Intelligenz

The Computing Tricks of
Artificial Intelligence

MVA
Theta BPF



LFP
HG RPF
Theta Ph $p(z - \mu | z)$
 $p(z < 0)$



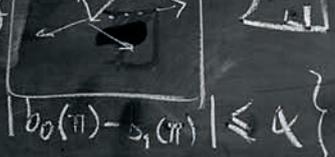
$P(Y_k | z, D)$



$e^{in} (a_n)^B$

$\max_{\pi \in \Pi} \{u(\pi, c)\}$

$\max_{\pi \in \Pi} \{u(\pi, c)\}$



W_2



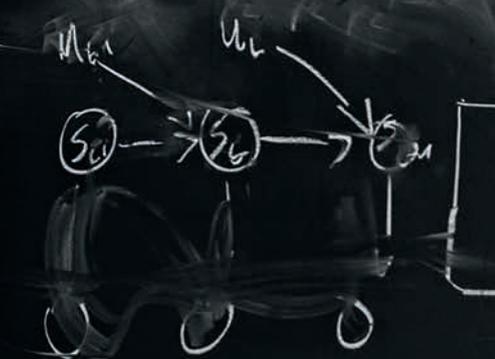
$|X|$



$\|f(x) - f(y)\|$

$\|f_D(z) - f_{D'}(z)\| \leq \epsilon$

for all z class
 $f_D(z) = W^T$
 $w(D)$



β, θ

Körper-Preis für die Europäische Wissenschaft 2019

Körper European Science Prize 2019

- 04** Vorwort
Preface
- 12** Das Projekt
The Project
- 36** Der Preisträger
The Prize Winner
- 38** Martin Stratmann über Wissenschaftsfreiheit,
Verantwortung und Kommunikation
Martin Stratmann on the Freedom of Science,
Responsibility, and Communication
- 40** Die Gremien
The Committees
- 42** Körper-Preise seit 1985
Körper Prizes Since 1985

Schweigen ist Silber, Reden ist Gold

Silence Is Silver, Talking Is Golden

Vermutlich war das, was man heute landläufig Wissenschaftskommunikation nennt, noch niemals davor und auch danach nie wieder so erfolgreich wie im Juli 1969: »Ein kleiner Schritt für einen Menschen, aber ein gewaltiger Sprung für die Menschheit«, dieser Satz ist ins globale Menschheitsgedächtnis eingeebnet und wird vielleicht der sein, der vom 20. Jahrhundert übrigbleibt. Er ist Ausdruck einer Epoche auf der Höhe ihrer Möglichkeiten: Wissenschaftlich-technische Visionen beflügeln die Phantasie der Menschheit, und nahezu alles scheint dank Wissenschaft und Technik erreichbar – unerschöpfliche Energie dank Atomkraft, Überwindung aller Krankheiten dank der Fortschritte in Medizin und Pharmazie, Beseitigung des Hungers dank der Agrarchemie und die Abschaffung schwerer und monotoner Arbeit dank Automatisierung und Robotik. Was noch wie purer Triumph klingt, kann aber auch schon als Rechtfertigung gegenüber ersten leise auftauchenden Zweifeln verstanden werden: War die Landung auf dem Mond wirklich ein entscheidender Schritt für die Menschheit? Oder sollten Energie und Erfindergeist nicht besser auf die Lösung ganz irdischer Probleme wie Armut und Ungleichheit gerichtet werden?

Fünfzig Jahre später jedenfalls ist der Glaube, Wissenschaft und Technik würden quasi automatisch einen Fortschritt zum Besseren bewirken, bestenfalls noch eine fromme Hoffnung. Immer offenkundiger wird, dass jede Technologie und jeder Fortschritt auch ihren Preis haben. Und damit befinden wir uns in einer Situation, in der offene Kommunikation über Wissenschaft und Technik wichtiger ist denn je, und zwar nicht eine, die in Hochglanzmanier von Segnungen und Erfolgen berichtet, sondern eine, die Chancen und Risiken wissenschaftlich-technischer Entwicklungen einer gesellschaftlichen Debatte zugänglich macht. Beteiligung, nicht Überredung heißt das Gebot der Stunde.

Derzeit droht weltweit die Stimme der Wissenschaft immer mehr zu einer bloßen Meinung unter vielen möglichen degradiert zu werden. Umso wichtiger ist es, sich entschieden auf die Seite der Vernunft zu stellen und darauf zu beharren, dass gesellschaftliche Aushandlungsprozesse rational, sprich auf der Basis wissenschaftlicher Befunde, stattfinden sollten.

Nicht zuletzt deshalb nehmen wir das Jubiläum des sechzigjährigen Bestehens der Körber-Stiftung zum Anlass, unserer Überzeugung der Unverzichtbarkeit von Spitzenforschung in Europa auch materiell Ausdruck zu verleihen, indem wir die Dotierung des Körber-Preises für die Europäische Wissenschaft ab diesem Jahr auf eine Million Euro erhöhen. Mit dieser Anerkennung für die Leistungen der

Presumably the activity which we commonly refer to as science communication had previously never been as successful as in July, 1969, nor has it since: »One small step for a man, one giant leap for mankind.« This sentence has been etched into the global memory of mankind and may be the one that is left of the twentieth century. It is an expression of that epoch at the summit of its possibilities: scientific and technological visions inspire the fantasies of mankind, and science and technology seem to make nearly everything possible: inexhaustible energy thanks to atomic power, surmounting all illnesses thanks to advances in medicine and pharmacy, and the elimination of hunger thanks to agrochemistry, and the elimination of hard and monotonous labor thanks to automatization and robotics. Yet what still sounds like pure triumph can also be understood as a justification in response to the first slight doubts that have appeared. Was the landing on the moon really a decisive step for mankind? Or shouldn't our energy and ingenuity be better turned toward the solution of completely mundane problems such as poverty and inequality?

Fifty years later, at any rate, the belief that science and technology would quasi-automatically lead to advances for the better is at best just a pious hope. It is becoming more and more evident that every technology and every advance has its price. This puts us in a situation in which open communication about science and technology is more important than ever. Such communication should not be one that reports about blessings and successes in a glossy presentation but one that makes the chances and risks of scientific-technological developments accessible to a social debate. Participation, not persuasion is the order of the day.

Currently the threat that the voice of science will be degraded into simply another opinion among many is becoming stronger and stronger. This makes it all the more important that we resolutely take the side of reason and insist that social processes of negotiation should take place rationally, i.e., on the basis of scientific results.

Not least for this reason we take the occasion of the sixtieth anniversary of the founding of the Körber-Stiftung as the opportunity to demonstrate support in material form for our conviction that cutting-edge research is indispensable in Europe. We do this by raising the funding that accompanies the Körber European Science Prize to one million euros, effective this year. This acknowledgement of the achievements of researchers is accompanied by the challenge that future prize winners use 5% of the Prize money in

Forscherinnen und Forscher geht die Herausforderung einher, fünf Prozent der Preissumme künftig für Belange der Wissenschaftskommunikation einzusetzen. Denn gerade diejenigen, deren Arbeit die jeweilige Spitze des wissenschaftlichen Fortschritts auf ihrem Feld markiert, sollten sich der Verpflichtung stellen, so früh wie möglich ihre Erkenntnisse öffentlich darzustellen und diskutierbar zu machen.

Unser diesjähriger Preisträger, der Informatiker und Pionier des maschinellen Lernens Bernhard Schölkopf, stellt sich dieser Aufgabe jetzt schon aus Überzeugung, denn sein Forschungsgebiet, die Künstliche Intelligenz, sorgt wie vielleicht sonst nur noch die Gentechnik für kontroverse gesellschaftliche Debatten. Im Gegensatz zu früheren technologischen Sprüngen findet diese Diskussion zu einem Zeitpunkt statt, zu dem nicht faktisch schon alles entschieden ist: Noch können wir die Arten und Weisen und auch die Grenzen des Einsatzes dieser Technologie gestalten.

Dass ein Forscher auf diesem Gebiet den Preis erhält, ist übrigens ein Beleg für die Wandlungsfähigkeit des Preises, denn seit zwei Jahren richten unsere Search Committees europaweit ihren Blick auch auf das Feld der sogenannten computational sciences, einen Bereich, in dem zukünftig massive wissenschaftliche Sprünge zu erwarten sind. Ihnen, den Gremien des Preises und dem Vorsitzenden unseres Kuratoriums, Professor Martin Stratmann, gilt unser Dank, denn Sie tragen nicht nur maßgeblich zum Erfolg und Renommee des Preises bei, sondern bereichern ihn auch immer wieder mit neuen Impulsen zu seiner Entwicklung. Unsere Gratulation aber gilt Bernhard Schölkopf – sowohl für seine wissenschaftlichen Durchbrüche in der Künstlichen Intelligenz als auch für sein Bestreben, diesem Feld in Europa einen weltweit konkurrenzfähigen Status zu verschaffen. Dass wir uns mit dem Preisträger und unseren Gremien einig wissen, welche zentrale Rolle dabei einer offenen und auf allen Seiten lernbereiten Kommunikation zukommt, halten wir für einen Glücksfall. In Abwandlung des Mottos dieses Editorials könnte man also angesichts des in Rede stehenden Forschungsgebiets sagen: Rechnen ist Silber, Reden ist Gold!



the interest of science communication. It is precisely those whose work marks the respective peak of scientific progress in their field who should confront their obligation to present their insights in

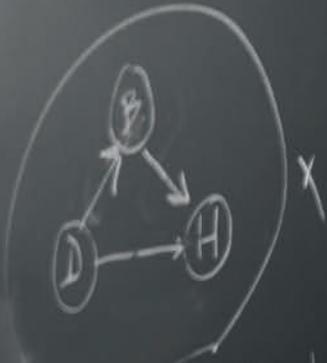
public as early as possible and to make them available for discussion.

The Prize winner this year, the computer scientist and pioneer in machine learning Bernhard Schölkopf, already faces up to this task out of personal conviction. This is all the more important since his field of research—artificial intelligence—has been a source of controversial social debates, matched perhaps only by genetic engineering. In contrast to earlier technological leaps, these discussions are taking place at a point in time when de facto everything has not already been decided. We can still arrange the modalities of this technology and the limitations to its use.

That a researcher in this field is the recipient of the Prize is, by the way, evidence for the ability of the Prize to adapt. For two years our Search Committees have had their eyes on the field called the computational sciences, a field in which massive scientific leaps are to be expected in the future. Both the committees associated with the Prize and the Chairman of the Trustee Committee of the Körber Prize, Professor Martin Stratmann, deserve our thanks because they not only make a significant contribution to the success and prestige of the Prize but also enrich it over and over again by providing new impulses for its development. Our congratulations however go to Bernhard Schölkopf, both for his scientific discoveries in artificial intelligence as well as for his efforts to give this field in Europe a globally competitive status. We consider it our good fortune that we know we are in agreement with the Prize winner and our Committees with regard to the central role to be accorded to communication that is open and willing to learn on all sides. In a variation of the motto of this editorial, considering the field of research that is our topic today, one could say, »Computing is silver, talking is golden!«

Matthias Mayer

Leiter des Bereichs Wissenschaft der Körber-Stiftung | Head of the Department of Science at Körber-Stiftung

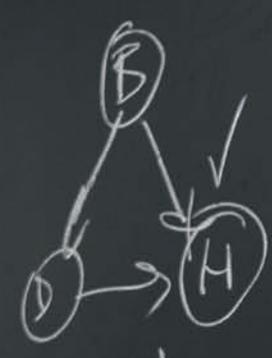


$$P(y|z) \mathbb{1}_{Ay \leq b \leq b - Aw}$$

$$P(y|z) \mathbb{1}_{Ay \leq b - Aw}$$

Small wt (w)
- calculate

$$L_{rad} - L_{all} \quad L_{rad}$$



$$\{x_i, y_i, u_i\}_{i=1}^d$$



$$p(t)$$



$$E \{ P(\text{priority} \leq \text{threshold}, w) \}$$

$$E \{ w(u, z) l(f(u, z), y) \}$$

$$P \{ E \{ w(u, z, t) l(f(u, z), y) \} \}$$

$$l(f(u, z), y) P(y|t, u, z)$$

$$l(f(u, z), y) P(y|t, u, z) P(t) P(u, z)$$

$$L_w$$

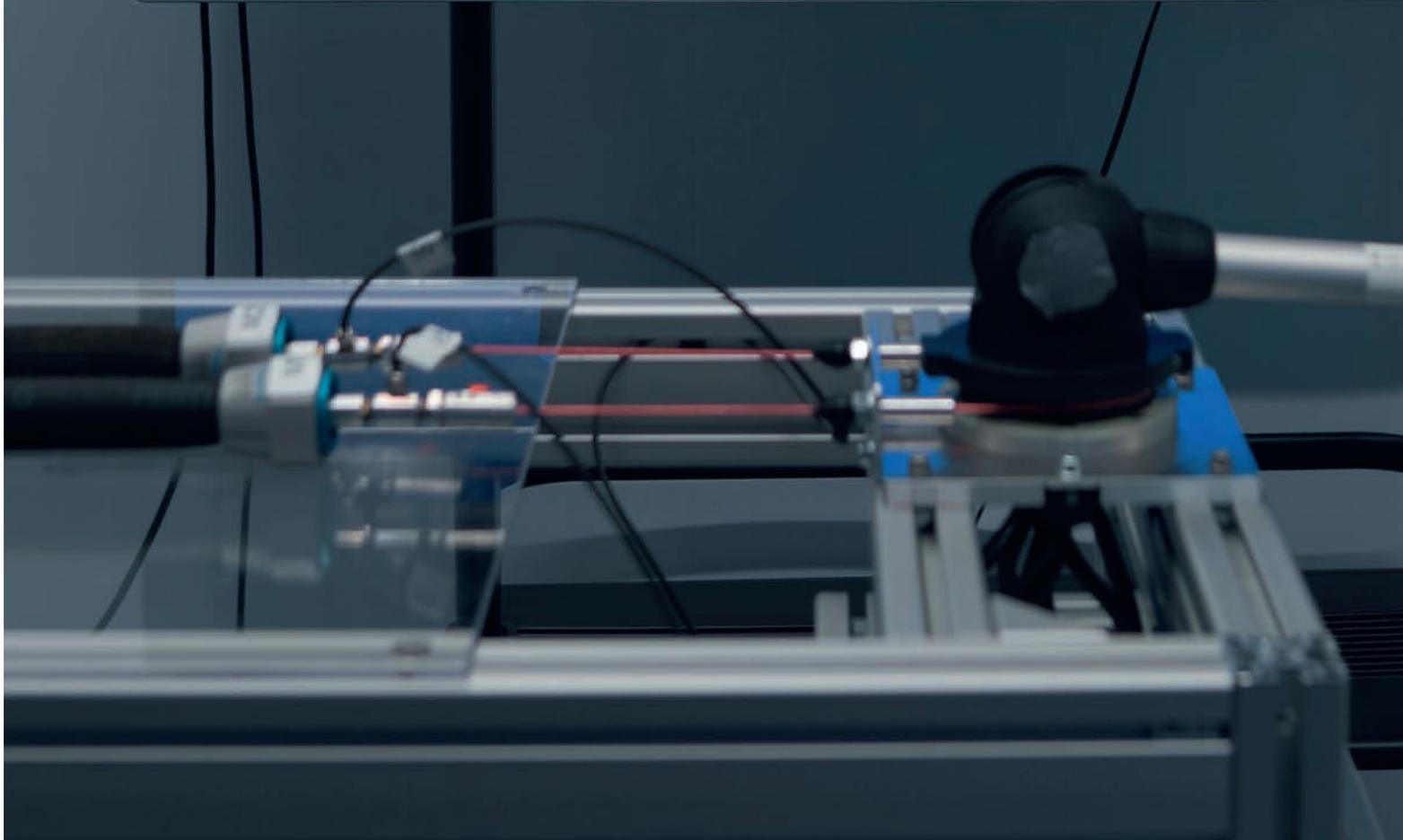
$$E \{ P(t) \}$$

any m
← w

»Zukünftige KI-Systeme sollten auch Kausalität verstehen: Denken ist laut Konrad Lorenz nichts anderes als Handeln im vorgestellten Raum.

Die Repräsentationen, die wir lernen, sollten also ein Verständnis abbilden, wie die Welt auf unser Handeln reagiert – dies geht über die statistischen Methoden hinaus, die den derzeitigen Methoden zugrunde liegen.« BERNHARD SCHÖLKOPF

»Future AI systems should also understand causality: Thinking is, according to Konrad Lorenz, nothing but acting in an imagined space. The representations that we learn should reflect an understanding of how the world reacts to our actions. This goes beyond the statistical methods that are the foundation of the present methods.«



A robotic hand is shown holding a bright red ping-pong ball. The hand is black and appears to be part of a robotic arm. The background is a solid dark blue color. The text is overlaid on the right side of the image.

»Wir werden die Computer mit einer Lernsoftware füttern, die sie befähigt, beim Tischtennis aus ihren eigenen Fehlern zu lernen und die richtigen Schlüsse zu ziehen. Damit können sie dann die ganze Nacht üben, und am nächsten Morgen werden sie schon viel besser spielen.« BERNHARD SCHÖLKOPF

»We will feed the computers with educational software that will enable them to learn from their own mistakes in table tennis and make the right conclusions so that they can practice all night and the next morning they will play much better.«





»Wenn in einer geschlossenen Ortschaft ein Tempo-30-Schild so überklebt wurde, dass es wie ein Tempo-120-Schild aussieht, dann muss das KI-System eines selbstfahrenden Autos aus dem Kontext erschließen können, dass dieses Schild zu ignorieren ist.«

BERNHARD SCHÖLKOPF

»If a 30 speed limit sign within the city limits has been altered to look like a 120 sign, then the AI system of a self-driving car must be able to conclude that the sign is to be ignored.«



Die Rechentricks der Künstlichen Intelligenz

The Computing Tricks of Artificial Intelligence

Bernhard Schölkopf hat mathematische Verfahren entwickelt, die maßgeblich dazu beitragen, der Künstlichen Intelligenz (KI) zu ihren jüngsten Höhenflügen zu verhelfen. Weltweites Renommee erlangte der deutsche Physiker, Mathematiker und Informatiker mit sogenannten Support-Vektor-Maschinen und Kern-Methoden. Dies sind keine Maschinen im klassischen Sinne, sondern raffinierte Algorithmen (Programmanweisungen), mit denen Computer hochkomplizierte KI-Berechnungen schnell und präzise erledigen können.

Bernhard Schölkopf developed mathematical processes that constituted a significant contribution to helping artificial intelligence (AI) soar to new levels recently. The German physicist, mathematician, and computer scientist achieved worldwide renown with what are called support vector machines and kernel methods. These are no machines in a classical sense but sophisticated algorithms (program instructions) with which computers can perform highly complicated AI calculations quickly and precisely.

*Die Computer im Server-Raum des MPI für Intelligente Systeme in Tübingen liefern die Power für die oft sehr rechenaufwendige KI-Software.
The computers in the server room of the MPI for Intelligent Systems in Tübingen provide the power to run the AI software, which is often very CPU intensive.*



TEXT: CLAUD-PETER SESÍN

FOTOS: FRIEDRUN REINHOLD

O bwohl fast alle tagtäglich damit in Kontakt kommen, weiß rund die Hälfte der Deutschen nicht, was unter dem Begriff Künstliche Intelligenz zu verstehen ist. »KI ist im Spiel, wenn das Smartphone abgespeicherte Fotos automatisch nach Gesichtern und Themen wie Urlaub gruppiert oder Texte von einer Sprache in eine andere übersetzt«, erklärt Schölkopf. Auch digitale Sprachassistenten wie Alexa, Siri oder Cortana, die intelligent auf gesprochene Sprache reagieren, nutzen dazu KI-Algorithmen.

Künstliche Intelligenz erlebt zurzeit einen weltweiten Boom, nicht zuletzt wegen ihrer stark wachsenden wirtschaftlichen Bedeutung. Die USA und China investieren Milliarden in diese Technologie, die weltweit das Arbeitsleben grundlegend verändern wird. Bereits vor der Jahrtausendwende sind intelligente Roboter in großem Stil in die Fabriken eingezogen, etwa in der Autoindustrie. Künftig werden intelligente Systeme auch zunehmend Routinearbeiten in Büros übernehmen.

Bernhard Schölkopf, 51, ist ein Pionier dieser ›dritten industriellen Revolution‹ – wie er sie nennt. »Die erste basierte auf Energie aus Wasser- und Dampfkraft, die zweite auf Energie aus Elektrifizierung. Die gegenwärtig laufende dritte ersetzt Energie durch den Begriff der Information.«

EXPERTENSYSTEME LEGTEN DEN GRUNDSTEIN FÜR DAS FACH INFORMATIK

Für intelligente Computersysteme gibt es viele unterschiedliche Ansätze. Bereits in den 1950er Jahren forschten US-Wissenschaftler an KI. Sie simulierten die Denkweise menschlicher Experten in sogenannten Expertensystemen, die mit Wenn-Dann-Regeln gefüttert wurden. Aus den gespeicherten Regeln »Wenn es regnet, ist die Straße glatt« und »Wenn die Straße glatt ist, geraten Autos leicht ins Schleudern« konnten Expertensysteme eigenständig schlussfolgern: »Wenn es regnet, geraten Autos leicht ins Schleudern.« Das war freilich ein rein formallogischer Akt computerisierter Datenverarbeitung. Davon, was eine Straße oder ein Auto ist, hatten die Systeme keinen Schimmer. Trotzdem begleitete ihre Entwicklung ein enormer Hype. KI-Legende Marvin Minsky vom Massachusetts Institute of Technology behauptete damals: »Wir Menschen können froh sein, wenn uns intelligente Roboter in 50 Jahren noch als ihre Haustiere akzeptieren.« Von all dem war ein halbes Jahrhundert später wenig zu sehen. Immerhin entwickelten

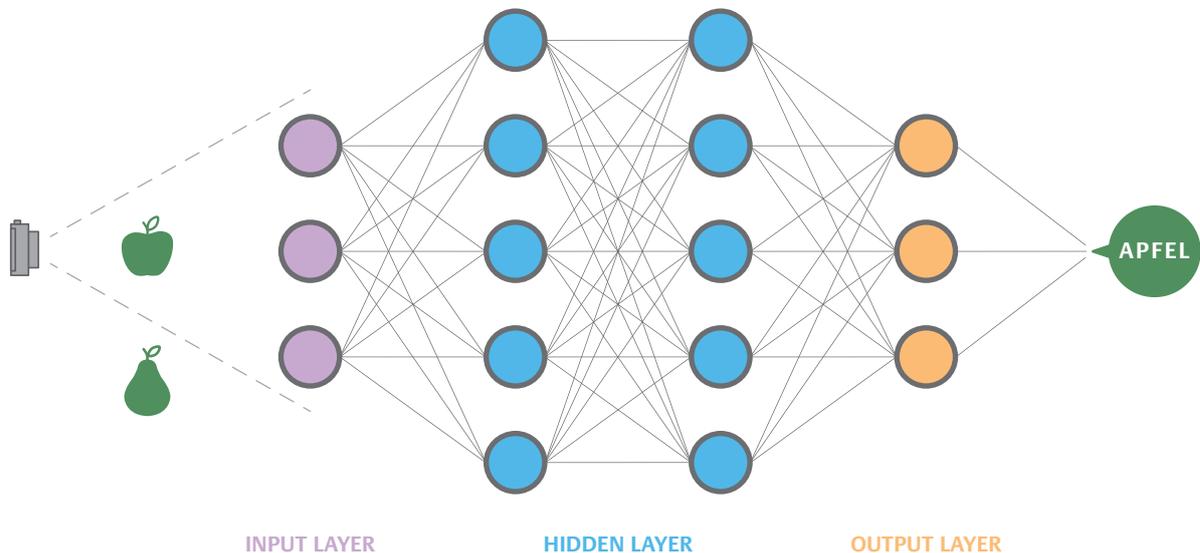
A lthough almost everyone has daily contact with it, about half of the Germans do not know what is meant by the concept artificial intelligence. »AI is at play when the smartphone automatically groups the stored photos according to faces and topics such as vacation or translates texts from one language into another,« Schölkopf explains. Digital language assistants such as Alexa, Siri, and Cortana that respond intelligently to spoken language also utilize AI algorithms.

AI is currently experiencing a worldwide boom, not the least because of its strongly growing economic significance. The USA and China are investing billions in this technology, which will fundamentally change working life. Intelligent robots moved into factories, such as in the automobile industry, on a large scale even before the turn of the century. In the future, intelligent systems will increasingly perform routine tasks in offices.

Bernhard Schölkopf, 51, is a pioneer in this ›third industrial revolution‹, as he refers to it. »The first was based on energy stemming from water power and steam, and the second on energy from electrification. The third and present one replaces energy with the concept of information.«

EXPERT SYSTEMS PROVIDED THE FOUNDATION FOR THE DISCIPLINE OF COMPUTER SCIENCE

There are many different approaches for intelligent computer systems. As early as in the 1950s US scientists were conducting research on AI. They simulated the thought processes of human experts in what were called expert systems, which were fed if-then rules. From the stored rules »If it rains, the street is slick« and »If the street is slick, it is easy for cars to skid,« the expert systems were able to derive independently »If it rains, it is easy for cars to skid.« This was, of course, a purely formally logical act of computerized data processing. The systems did not have any idea what a street or a car is. Nonetheless, the development was accompanied by an enormous amount of hype. The AI legend Marvin Minsky from the Massachusetts Institute of Technology asserted at the time: »We humans will be lucky if intelligent robots still keep us as their pets in 50 years.« Little was left of all this half a century later. Nonetheless, AI researchers did develop the first



Neuronale Netze ähneln vom Aufbau her entfernt dem menschlichen Gehirn. Dank ihrer vernetzten »Neuronen« sind sie lernfähig. Zeigt ein Programmierer dem Netz nacheinander viele tausend Fotos unterschiedlicher Äpfel und Birnen, kann es nach Abschluss des Trainings auch auf unbekanntem Fotos Äpfel von Birnen unterscheiden. The structure of neural networks remotely resembles that of the human brain. They are capable of learning thanks to their networked »neurons.« If a programmer successively shows the network many thousands of photos of different apples and pears, it will also be able after the conclusion of training to distinguish apples and pears in unfamiliar photos.

japanischen Brettspiel Go besiegte 2016 ein von der Google-Firma DeepMind entwickeltes System namens »AlphaGo«, das auf einem mit Meisterpartien trainierten neuronalen Netz basierte.

SUPPORT-VEKTOR-MASCHINEN LIEFERN BESONDERS PRÄZISE ERGEBNISSE

Die von Schölkopf mitentwickelten Support-Vektor-Maschinen ähneln der Arbeitsweise von neuronalen Netzen, liefern jedoch bei einigen Aufgaben präzisere Ergebnisse. Darüber hinaus basieren sie auf soliden mathematischen Grundlagen, was ihre Arbeitsweise transparenter macht.

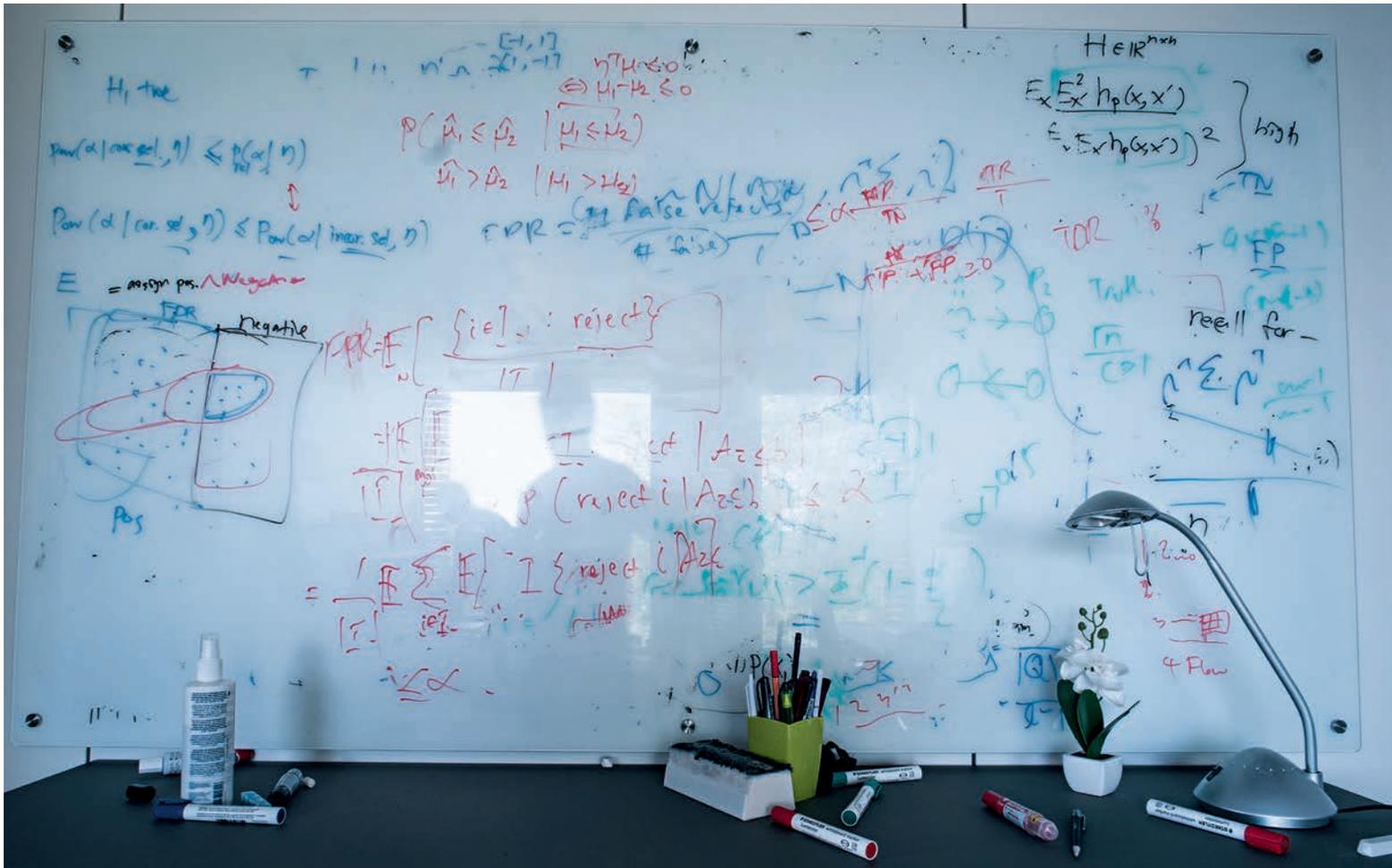
»Eine einfache Aufgabe für eine Support-Vektor-Maschine wäre zum Beispiel, nach Eingabe von Körpergröße und Gewicht zu bestimmen, ob eine Person ein Mann oder eine Frau ist«, erklärt Matthias Bauer, Doktorand in Schölkopfs Tübinger MPI-Team. Die Ergebnisse stellt das System mathematisch als Vektoren dar, die man sich als zwei Wolken von Punkten (eine für Frauen, eine für Männer) in einem zweidimensionalen Koordinatensystem vorstellen kann. Idealerweise lassen sich beide Wolken durch eine gerade Linie trennen. Eine Gerade ist eine sogenannte lineare Lösung, die sich besonders schnell berechnen lässt. Da es jedoch auch kleine, leichte Männer und schwere, große Frauen gibt, landen einige Punkte in der falschen Wolke.

complex Japanese board game Go was defeated by a system named AlphaGo that was developed by the Google firm DeepMind and that was based on a neural network trained on championship matches.

SUPPORT VECTOR MACHINES PROVIDE PARTICULARLY PRECISE RESULTS

The support vector machines that Schölkopf helped to develop work similarly to neural networks but provide more precise results for some tasks. Furthermore, they are based on a solid mathematical foundation, which makes their functioning more transparent.

»A simple task for a support vector machine would be, for example, to determine on the basis of entries for body size and weight whether a person is a man or a woman,« explains Matthias Bauer, a doctoral candidate in Schölkopf's MPI team in Tübingen. The system presents the results mathematically as vectors, which you can imagine as two clouds of dots (one for women, one for men) in a two-dimensional coordinate system. Ideally, the two clouds can be separated by a straight line. A straight line is referred to as a linear solution, which can be calculated particularly quickly. Yet since there are also some small, light men and heavy, large women, a few of the points land in the wrong cloud.



Um die Wolken dennoch zu trennen, müsste eine nicht-lineare Schlangenlinie verwendet werden, die jedoch viel komplizierter zu berechnen ist.

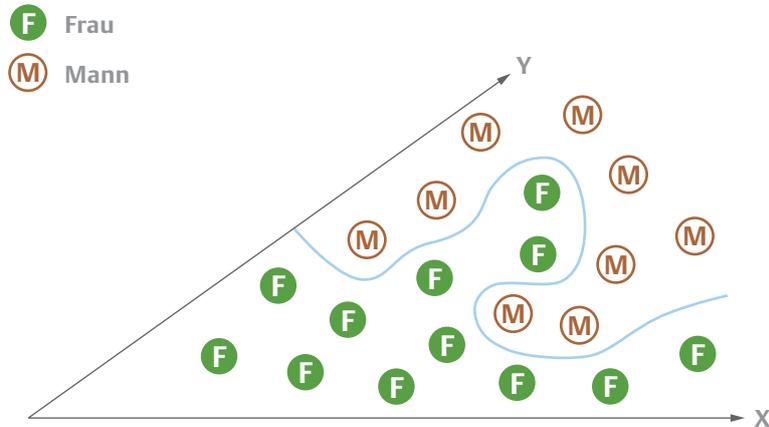
Als Abhilfe geht der Programmierer zur Trennung nun gleichsam in die dritte Dimension: Mit Hilfe eines mathematischen Algorithmus – einer frei wählbaren »Kernfunktion« – hebt oder senkt er die zuvor in der 2-D-Ebene liegenden Punkte, sodass sie nunmehr unterschiedlich hoch in einem 3-D-Raum schweben. »Als Stellgröße für die Höhe könnte man beispielsweise ein Drittel des Gewichts plus viermal die Größe nehmen«, erklärt Bauer. Bei geschickter Wahl dieser Kernfunktion lassen sich die im 3-D-Raum schwebenden Punkte anschließend durch eine Fläche trennen, die – bezogen auf den 3-D-Raum – ebenfalls eine lineare Lösung darstellt. Diese Vorgehensweise lässt sich beliebig steigern: Die Punkte (Vektoren) können auch in einen multidimensionalen (oder sogar unendlichdimensionalen) Raum transformiert werden. Die zu suchende lineare »Hypertrennebene« liegt dann jeweils eine Dimension tiefer.

Die Trennebene ist jeweils durch einige ausgewählte Vektoren definiert, die dieser möglichst nahe liegen. Daher werden sie auch »Supportvektoren« genannt. Man kann sie sich bildlich als Stelzen vorstellen, die die Trennebene von beiden Seiten stützen (aber nicht ganz berühren). Wird in das obige Beispielsystem nun ein Wertepaar für Größe und Gewicht aus unbekannter Quelle eingespeist, vergleicht die Support-Vektor-Maschine den aus diesen Werten erzeugten Vektor mit den Stützvektoren, die die Mann-Frau-Grenze markieren, und kann so schnell das Geschlecht bestimmen.

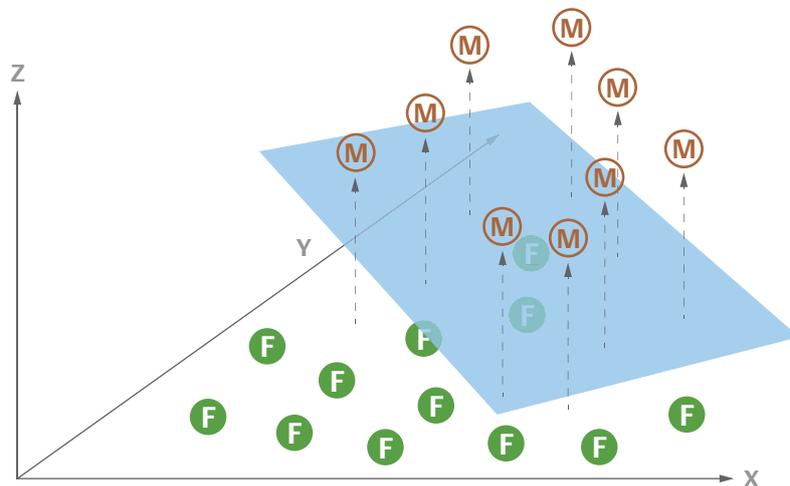
To be able to separate the clouds anyway, a nonlinear wavy line would have to be used, which however is much more complicated to calculate.

The remedy employed by the programmer to separate them is to go into the third dimension, as it were. With the aid of a mathematical algorithm—a kernel function that can be chosen at will—he raises or lowers the points in the two-dimensional level so that they now float at different heights in three-dimensional space. »As a control value for the height, one can for example take one third of the weight plus four times the size.« Bauer explains. A skillful selection of this kernel function makes it possible subsequently to use a plane to separate the points floating in three-dimensional space. With regard to three-dimensional space, the plane represents a linear solution. This procedure can be enhanced at will. The points (vectors) can also be transformed into a multidimensional space (or even an infinitely dimensional one). The linear »separating hyperplane« is then in each case one dimension lower.

Every separating plane is defined by several selected vectors, i.e., by those that are nearest to it. For this reason they are also called »support vectors.« You can visually imagine them as stilts that support the separating plane from both sides (without actually touching it). Referring back to the previous sample system, if a pair of values for size and weight is now fed from an unknown source, the support vector machine compares the vector derived from these values with the support vectors that identify the male–female border, in this way quickly determining the sex.



Eine Support-Vektor-Maschine bildet Frauen und Männer, deren Größe und Gewicht eingegeben wurde, als Punkte in einer 2-D-Ebene ab. Die »Punktwolken« der Männer und Frauen lassen sich jedoch nicht linear – mittels einer Trenngerade – trennen, sondern nur per Schlangenlinie. A support vector machine represents men and women whose height and weight has been entered as points in a 2-D level. The clouds of points representing men and women cannot be separated linearly using a separating line but only with a wavy line.



Abhilfe schafft ein mathematischer Algorithmus (Kernfunktion), mit dem die zuvor in der 2-D-Ebene liegenden Punkte unterschiedlich hoch in einen 3-D-Raum gehoben werden. Dort können sie nun sauber mit einer zweidimensionalen Grenzfläche (blau) getrennt werden, die – bezogen auf den 3-D-Raum – eine lineare Lösung darstellt. Remedy is provided by a mathematical algorithm (kernel function) with which the points that were previously in the 2D level are raised varying amounts in 3D space. There it is possible to cleanly separate them using a 2D separating plane (blue) that—relative to the 3D space—represents a linear solution.



Der entscheidende Trick der Support-Vektor-Maschinen ist, dass die Trennung der Punkte zwar sauber im multidimensionalen Raum erfolgt, der Computer dazu aber gar nicht die zugehörigen komplizierten und aufwendigen Vektor-Berechnungen vornehmen muss. Denn die Systeme arbeiten mit den Skalarprodukten dieser Vektoren, die per Definition Zahlen sind und vom Computer entsprechend einfach verrechnet werden können.

»Wenn unser Beispielsystem immer noch zu viele Fehler macht, also zu viele Frauen als Männer und umgekehrt einstuft, muss der Programmierer Anpassungen an der Kernfunktion vornehmen«, erklärt Bauer. »Das Schöne an der Kernfunktion ist, dass es sich um eine mathematisch exakt definierte Größe handelt – und somit um eine präzise Stellschraube.« Ein neuronales Netz ist im Vergleich dazu eine intransparente »Black Box«, bei der die während des Trainings rein statistisch erzeugten Parameter irgendwo in den Netz-Gewichtungen verborgen liegen.

BERNHARD SCHÖLKOPF IST DER AM HÄUFIGSTEN ZITIERTER DEUTSCHE INFORMATIKER

Ihre größten Erfolge verzeichneten Support-Vektor-Maschinen in den 1990er Jahren. In den »Bell Labs« entwickelten Schölkopf und Vladimir Vapnik gemeinsam ein System, das handgeschriebene Ziffern auf Briefen fast so gut erkennen konnte wie ein Mensch – und besser war als alle konkurrierenden Systeme inklusive neuronalen Netzen. 1997 gelang es einer Support-Vektor-Maschine, 21.450 News-Meldungen der Agentur Reuters automatisch auszuwerten und in 135 thematische Kategorien wie Sport, Wirtschaft und Politik zu unterteilen.

Support-Vektor-Maschinen gaben der Informatik und speziell deren Unterabteilung »Maschinelles Lernen« wegen ihres systematischen mathematischen Ansatzes einen deutlichen Schub. Bernhard Schölkopf ist der am häufigsten zitierte deutsche Informatiker und zählt gemäß dem US-Forschungsmagazin »Science« zu den zehn einflussreichsten Computerwissenschaftlern der Welt.

»Entscheidend für die großen Fortschritte im Maschinellen Lernen sind vor allem die ungeheuer gewachsenen Datenmengen, in den USA Big Data genannt«, sagt Schölkopf – und erklärt dies am folgenden Beispiel: Eine Support-



Humanoide Roboter namens Nao warten im Ersatzteilregal der Robotics-Gruppe darauf, von den Forschern programmiert zu werden. A humanoid robot named Nao is waiting in the spare parts cabinet of the robotics group for researchers to program it.

The decisive trick behind support vector machines is that while the separation of the points takes place cleanly in multidimensional space, the computer does not need to conduct the associated complicated and cumbersome vector calculations. The reason is that the systems work with the scalar products of these vectors, which by definition are numbers and can be easily calculated by the computer.

»If our sample system continues to make too many mistakes, such as classifying too many females as males and vice versa,

the programmer has to make adjustments to the kernel function,« Bauer explains. »The beautiful part of the kernel function is that it is a mathematically precisely defined value and thus a precise setscrew.« In comparison to it, a neural network is an intransparent black box whose parameters—created in a purely statistical manner during the training—lie hidden somewhere in the network weightings.

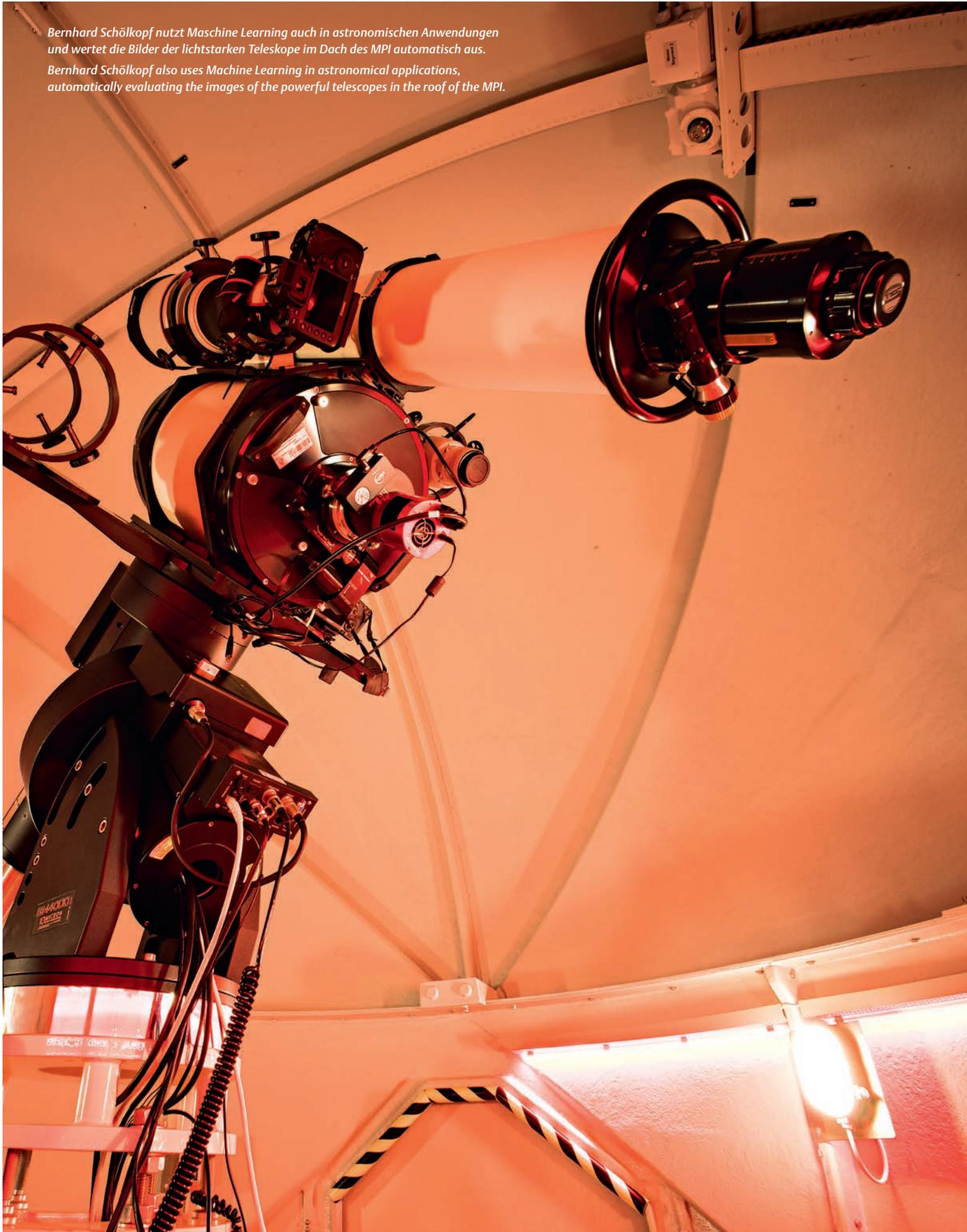
BERNHARD SCHÖLKOPF IS THE MOST FREQUENTLY CITED GERMAN COMPUTER SCIENTIST

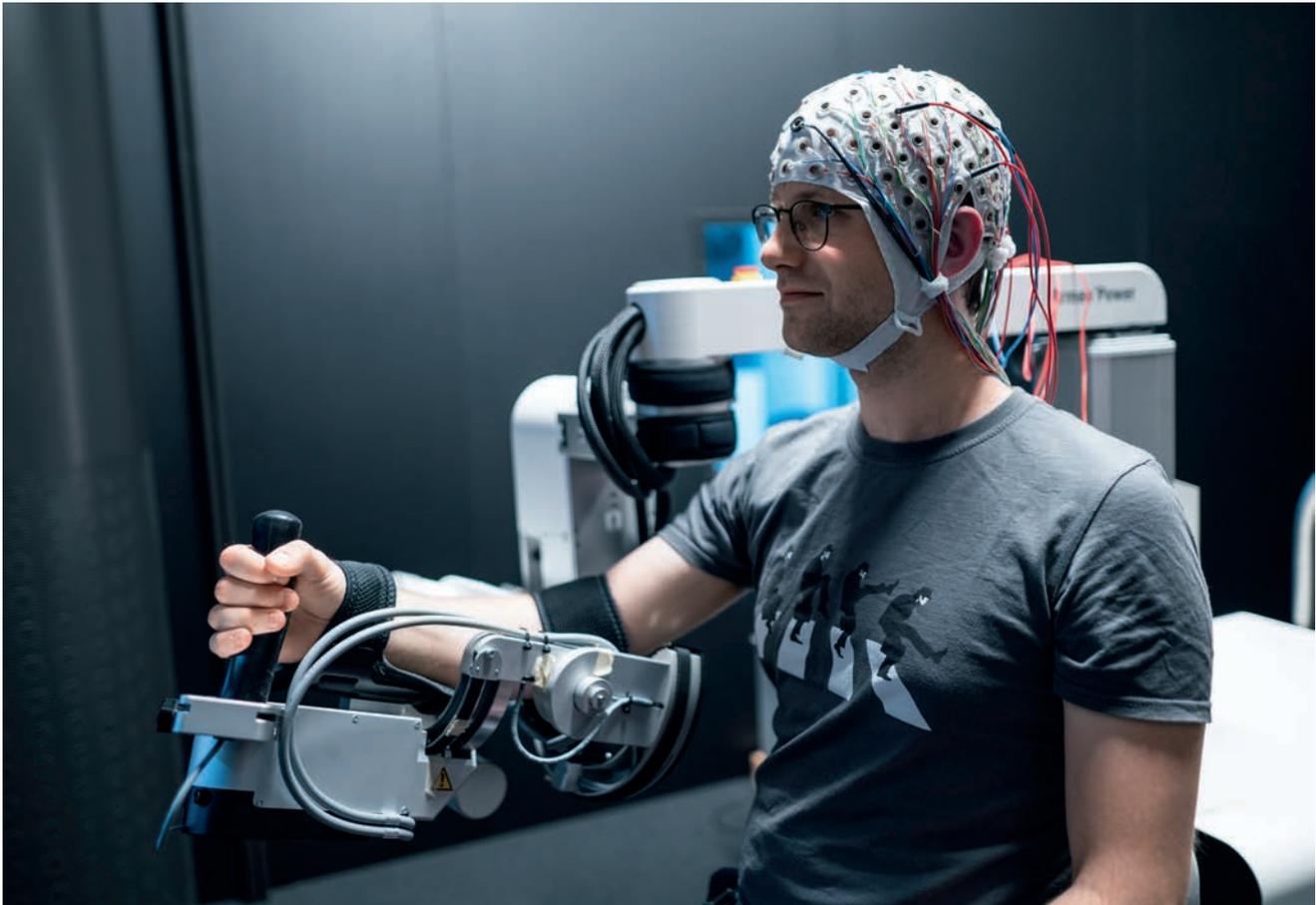
Support vector machines had their greatest successes during the 1990s. At the Bell Labs, Schölkopf and Vladimir Vapnik together developed a system that could recognize hand-written numbers on letters almost as well as a human—and better than all the competing systems including neural networks. In 1997, a support vector machine succeeded in automatically evaluating 21,450 news reports from the Reuters News Agency and classifying them into 135 categories such as sports, business, and politics.

As a result of their mathematical approach, support vector machines gave computer science and especially its sub-discipline machine learning a significant boost. Bernhard Schölkopf is the most frequently cited German computer scientist and belongs, according to the American research journal Science, to the ten most influential computer scientists in the world.

»Decisive for the great advances made in machine learning are, above all, the immensely increased amounts of data, called big data in the US,« Schölkopf says and explains this by referring to the following example.

Bernhard Schölkopf nutzt Maschine Learning auch in astronomischen Anwendungen und wertet die Bilder der lichtstarken Teleskope im Dach des MPI automatisch aus.
Bernhard Schölkopf also uses Machine Learning in astronomical applications, automatically evaluating the images of the powerful telescopes in the roof of the MPI.





*Simon Guist, Doktorand im MPI Tübingen, bringt einem künstlichen Arm bei, virtuelle Bälle zurückzuspielen.
Simon Guist, a doctoral candidate at the MPI Tübingen, trains an artificial arm to return virtual balls.*

derem, KI-Systeme robuster gegen Störeinflüsse zu machen. »Wenn in einer geschlossenen Ortschaft ein Tempo-30-Schild so überklebt wurde, dass es wie ein Tempo-120-Schild aussieht, dann muss das KI-System eines selbstfahrenden Autos aus dem Kontext erschließen können, dass dieses Schild zu ignorieren ist«, erklärt Schölkopf. Tatsächlich haben selbstfahrende Autos in den USA bereits mehrere tödliche Unfälle verursacht.

KI-Technologie arbeitet aber noch längst nicht perfekt. »Ein neuronales Netz kann zum Beispiel eine Kuh auf den meisten Bildern problemlos erkennen«, sagt Schölkopf. »Es bekommt aber Probleme, wenn das Bild einer Kuh am Meeresstrand gezeigt wird. Dies liegt an den Trainingsdaten, die Kühe meist auf Wiesen zeigen. Das System wird durch das zu Kuh unpassende Umfeld Strand gleichsam in die Irre geführt und erkennt die Kuh nicht, da es nur auf Korrelationen achtet und Kausalität ignoriert. Zukünftige KI-Systeme«, so Schölkopf, »sollten auch Kausalität verstehen: Denken ist laut Konrad Lorenz nichts anderes als Handeln im vorgestellten Raum. Die Repräsentationen, die wir lernen, sollten also ein Verständnis abbilden, wie die Welt auf unser Handeln reagiert – dies geht über die statistischen Methoden hinaus, die den derzeitigen Methoden zugrunde liegen.«

Fehler treten unter anderem auch bei der automatischen Bearbeitung von Online-Kreditanträgen auf. Immer wieder kommt es vor, dass KI-Systeme Kredite verweigern, obwohl der Kreditnehmer beste Bonität vorweisen kann. Ganz auszumerzen werden solche Fehler nach Expertenmeinung wohl niemals sein, weil Informatiker oft unterschiedlicher Meinung sind, welcher Algorithmus sich für welche Anwendung am besten eignet. Außerdem können beispielsweise bei autonomen Fahrzeugen die Sensoren altern oder verschmutzen.

NEUE KI-SYSTEME BRINGEN SICH SOGAR DAS LERNEN SELBER BEI

Der neueste Trend im Maschinellen Lernen geht dahin, die Systeme nicht mehr aufwendig mit teils Millionen Trainingsdaten zu trainieren, sondern sie vollkommen eigenständig Gesetzmäßigkeiten, Strukturen und Regeln erkennen zu lassen. Nach dem »überwachten Lernen« (mit Training) kommt also nun das »unüberwachte Lernen«.

Einen aufsehenerregenden Erfolg auf diesem Teilgebiet erzielte 2015 die Google-Firma DeepMind. (DeepMind ist ein 2010 in London gegründetes KI-Start-up, das Google im Januar 2014 aufgekauft hat.) Die DeepMind-Forscher hatten ein neuronales Netz kreiert, das eigenständig lernte, gegen 49 klassische, auf der Konsole Atari 2600 laufende Computerspiele aus den 1980er Jahren zu spielen. Das Team

One of its goals is to make AI systems more robust against interference. »If a 30 speed limit sign within the city limits has been altered to look like a 120 sign, then the AI system of a self-driving car must be able to conclude that the sign is to be ignored,« Schölkopf explains. Self-driving cars in the US have in fact already caused several deadly accidents.

AI technology works but is clearly not yet perfect. »A neural network can for example recognize a cow on most images without any difficulty,« Schölkopf says. »But it has problems if the image of a cow is shown on an ocean beach. This is a result of the training data, which usually show cows on meadows. The system is led astray, as it were, by the fact that the cow is in an inappropriate environment, and the system does not recognize the cow since it only pays attention to correlations, ignoring causality.« According to Schölkopf, future AI systems »should also understand causality: Thinking is, according to Konrad Lorenz, nothing but acting in an imagined space. The representations that we learn should reflect an understanding of how the world reacts to our actions. This goes beyond the statistical methods that are the foundation of the present methods.«

Mistakes also occur, for instance, in the automatic processing of online credit applications. Over and over again it happens that AI systems refuse credits although the borrower shows he is fully creditworthy. Experts believe that such mistakes will never be completely eliminated because different computer scientists often have different opinions as to which algorithm is best suited for which application. Furthermore, the sensors in autonomous vehicles can, for example, age or get dirty.

NEW AI SYSTEMS EVEN TRAIN THEMSELVES

The direction of the newest trend in machine learning is for the systems not to be trained elaborately, sometimes employing millions of data. On the contrary, they are to recognize patterns, structures, and rules completely independently. Following supervised learning (with training) we now have unsupervised learning.

The Google firm DeepMind achieved a spectacular success in this subdiscipline in 2015. (DeepMind is a startup grounded in London in 2010, which Google purchased in January, 2014.) The DeepMind researchers had created a neural network that independently learned to play against 49 classical computer games from the 1980s that ran on an Atari 2600 console. To do this, the team used the so-called deep learning procedure, in

»Die DeepMind-Forscher speicherten die bereits gesammelten Erfahrungen des Systems und nutzten diese, um es im Spiel gegen sich selbst weiter zu trainieren. Dies ähnelt Prozeduren, die im Hippocampus des Gehirns im Schlaf auftreten.«

»The DeepMind researchers saved the experience the system had already gained and used this in a game against itself to train further. This is similar to procedures that take place in the brain's hippocampus during sleep.« BERNHARD SCHÖLKOPF

```
010101101101001011011001011010010110110100101101101001011011010110011101010110
110100101101100101100101100101100101101100101101100101101101001011011010010110
11010110010101011011010010110110010110010110010110010110010110
```

nutzte dazu das sogenannte Deep-Learning-Verfahren, bei dem ein neuronales Netz mit besonders vielen Neuronen und Schichten verwendet wird. Als Input erhielt dieses Netz die farbigen Pixel des jeweiligen Videospiele sowie den angezeigten Spielstand. Als Output erzeugte das Netz Joystick-Bewegungen. Der Algorithmus war so programmiert, dass Joystick-Bewegungen, die den Spielstand erhöhten, »belohnt« wurden. Anfangs bewegte das Netz den Joystick zufällig – und oft falsch. Nach und nach lernte es jedoch, die Bewegungen so zu optimieren, dass sich die Zahl der Gewinnpunkte erhöhte. Nach vielen tausend Spielen war das Netz derart gut, dass es vergleichbar gut spielte wie menschliche Meisterspieler. Die Regeln dafür hatte es sich selber beigebracht.

Bernhard Schölkopf schrieb dazu auf Einladung des renommierten britischen Wissenschaftsmagazins »Nature« den Fachartikel »Learning to see and act«. Besonders beeindruckte ihn, dass die DeepMind-Forscher das Netz nach der ersten Lernphase auch gegen sich selber spielen ließen: »Sie speicherten die bereits gesammelten Erfahrungen des Systems und nutzten diese, um es im Spiel gegen sich selbst weiter zu trainieren. Dies ähnelt Prozeduren, die im Hippocampus des Gehirns im Schlaf auftreten.« In der Tat hatten die Hirnforscher May-Britt und Edvard Moser, die den Körber-Preis 2014 und kurz darauf den Nobelpreis erhalten hatten, bei Experimenten mit Ratten, die tagsüber durch ein Labyrinth liefen, herausgefunden, dass die Nager nachts im Schlaf in ihrem Hippocampus die Erkundungsläufe des Tages noch einmal rekapitulierten. Diese geträumten Wiederholungen führen zu einer synaptischen Konsolidierung des Gelernten. In der KI-Forschung wird dieser Vorgang als »reinforcement Learning« – verstärkendes Lernen – bezeichnet.

which a neural network is used that has a particularly large number of neurons and layers. As input, the network was given the color pixels of the respective video game and the score as displayed. As output, the network produced joystick movements. The algorithm was programmed so that joystick movements that raised the score were rewarded. At the beginning, the network moved the joystick at random, and often wrongly. Little by little it learned, however, to optimize the movement so that the number of winning points increased. After many thousands of games the network was good enough that it played as well as human competitors. It had taught itself the rules.

At the invitation of the prestigious British science journal Nature, Bernhard Schölkopf wrote about this in an article entitled »Learning to see and act.« What especially impressed him was that the DeepMind researchers had the network play against itself after the initial learning phase. »They saved the experience the system had already gained and used this in a game against itself to train further. This is similar to procedures that take place in the brain's hippocampus during sleep.« The brain researchers May-Britt and Edvard Moser, who were awarded the Körber Prize in 2014, shortly before receiving the Nobel Prize, had indeed determined in experiments with rats—that ran through a labyrinth during the daytime—that during sleep at night the rodents recapitulated once again in their hippocampus the daytime trial runs. Such dreamed recapitulations result in a synaptic consolidation of what has been learned. In AI research, this process is designated »reinforcement learning.«





Ein Schöllkopf-Team arbeitet an einem Tischtennis-Roboter, der seine Spielfertigkeit durch Nachahmung und Training ständig optimiert. Eines Tages soll er menschlichen Spielern Paroli bieten können.

A Schöllkopf team is working on a table tennis robot, which continuously improves its playing proficiency as a result of imitation and training. One day it should be able to hold its own against human players.



Auch mehrere Schölkopf-Teams arbeiten an der neuen Forschungsrichtung ›verstärkendes Lernen‹: Im Keller des Tübinger Instituts steht eine Tischtennisplatte mit zwei Roboterarmen. Zunächst können die Arme lediglich den Schläger halten. Sie haben keine Ahnung, wie Tischtennis zu spielen ist, sollen dies aber ebenfalls eigenständig nach der Versuch-Irrtum-Methode lernen. »Wir werden sie mit einer Lernsoftware füttern, die sie befähigt, aus ihren eigenen Fehlern zu lernen und die richtigen Schlüsse zu ziehen«, sagt Schölkopf. »Damit können sie dann die ganze Nacht üben, und am nächsten Morgen werden sie schon viel besser spielen.« Das Team hofft, dass der Tischtennis-Roboter eines Tages so leistungsfähig wird, dass er menschliche Spieler besiegt.

DER KI-STANDORT DEUTSCHLAND MUSS SICH GEGEN HARTE KONKURRENZ AUS DEN USA UND CHINA BEWÄHREN

Dank der rasanten Fortschritte hat KI in den letzten Jahren auch deutlich an wirtschaftlicher Relevanz gewonnen. »Hiesige Forscher sind in großer Sorge, dass Länder wie China und die USA stärker in KI investieren und viel stärker strategisch denken«, sagt Schölkopf. Er setzt sich engagiert dafür ein, Deutschland als KI-Standort zu stärken und in der harten internationalen KI-Konkurrenz zu einer Spitzenstellung zu verhelfen. Schölkopf ist Mitgründer des inzwischen weltweit renommierten ›Cyber Valley‹ in der Region Stuttgart-Tübingen – eines vom Land Baden-Württemberg geförderten KI-Kompetenzzentrums, das neben großen deutschen Technologiekonzernen auch große IT-Firmen aus den USA einbinden konnte.

Gemessen an der Zahl wissenschaftlicher Publikationen zum Thema KI ist Deutschland im internationalen Vergleich bereits ins Hintertreffen geraten. »Nur noch drei bis vier Prozent der Artikel bei Top-Konferenzen haben deutsche Co-

There are even several Schölkopf teams working in this new field of research on reinforcement learning. In the basement of the Tübingen Institute there is a table tennis table with two robotic arms. Initially the arms cannot do more than hold the paddles. They have no idea how to play table tennis, but are supposed to learn this on their own by the trial-and-error method. »We will feed it with learning software that enables them to learn from their own mistakes and to draw the right conclusions,« Schölkopf says. »Then they can practice all night, and the next morning they will already play much better.« The team hopes that the table tennis robot will one day be so powerful that it can beat human players.

AS AN AI LOCATION, GERMANY HAS TO PROVE ITSELF AGAINST TOUGH COMPETITION FROM THE USA AND CHINA

Thanks to the rapid advances, AI has also gained significantly in economic relevance in the last few years. »Researchers here are very concerned that countries such as China and the USA invest more in AI and put much more emphasis on strategic thinking,« Schölkopf says. He is actively involved in strengthening Germany as a location for AI and helping it achieve a top position despite the stiff international competition in AI. Schölkopf is a cofounder of the Cyber Valley in the Stuttgart-Tübingen region of Germany. This is a competence center supported by the state of Baden-Württemberg which has managed to enroll large IT companies from the USA in addition to German technology corporations and which has already attained worldwide renown.

As measured by the number of scientific publications on the topic of AI, Germany has already fallen behind in international comparison. »There are German coauthors for only 3% to 4% of the articles presented at top confer-

CyberValley

Cyber Valley ist eine der größten Forschungsk Kooperationen Europas auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz (KI) mit Partnern aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft. Cyber Valley is one of the largest research cooperations in Europe in the field of artificial intelligence (AI) with partners from politics, science, business and society.



*Kreative Arbeitsatmosphäre: Die Doktoranden Chaochao Lu und Arash Mehrjou programmieren in ihrem Büro komplexe Algorithmen.
Creative working atmosphere: The doctoral candidates Chaochao Lu and Arash Mehrjou program complex algorithms in their office.*

Köpfe.« Deshalb werde die Firma mit den besten selbstfahrenden Autos »nicht die mit den besten Patenten oder dem besten Geheimwissen sein, sondern diejenige mit den besten Ingenieuren, den besten Machine-Learning-Leuten.«

LOKALE KI-HOTSPOTS IN EUROPA MÜSSEN GESTÄRKT WERDEN

Europa hat bislang vor allem personell das Nachsehen, weil große IT-Firmen und Elite-Universitäten, vor allem aus den USA, konsequent die besten Talente abwerben. Google finanziert zurzeit über 250 Forschungsprojekte im Bereich »Deep Learning«. Am stärksten betroffen sind hiesige öffentliche Forschungseinrichtungen. Schölkopf: »Viele unserer angehenden Doktoranden haben Angebote von amerikanischen Firmen oder Elite-Universitäten. Dort arbeiten Professoren aus Europa, die in den USA zu Superstars und erfolgreichen Unternehmern aufgestiegen sind. Und Nachwuchswissenschaftler wollen halt dort lernen, wo die Besten forschen.« Es sei daher entscheidend, lokale Hotspots in Europa – wie das neue deutsche Cyber Valley – zu stärken, Zugpferde der Zunft zu halten oder nach Europa zurückzuholen. Zum Glück habe die Max-Planck-Gesellschaft frühzeitig in die KI-Zukunft investiert und 2011 das inzwischen weltweit anerkannte MPI für Intelligente Systeme gegründet.

Im Rahmen des geplanten ELLIS-Programms (European Laboratory for Learning and Intelligent Systems) will Schölkopf »führende europäische Standorte besser miteinander vernetzen, gemeinsame Programme aufsetzen und Doktoranden ausbilden. Junge Spitzenforscher sollten nicht in die USA gehen müssen, um auf dem höchsten Niveau zu arbeiten.« Die Mittel des Körber-Preises will Schölkopf unter anderem in seinem neuen Fachgebiet Kausale Inferenz und für Workshops zur Förderung des ELLIS-Projekts verwenden.

Schölkopf sieht aber auch die Schattenseiten der KI: Einige Wissenschaftler arbeiten an intelligenten Kampfmaschinen, die im Krieg autonom Menschen töten könnten. Schölkopf ächtet diese militärischen KI-Anwendungen entschieden und organisiert gemeinsam mit vielen anderen KI- und Robotik-Forschern den Protest dagegen.

Die verbreitete Angst vieler Menschen vor KI hält Schölkopf dagegen für übertrieben: »Die Systeme funktionieren nur in thematisch jeweils sehr eng begrenzten Spezialgebieten. Selbst Deep-Learning-Netze sind verglichen mit dem Gehirn recht simple Strukturen.« Sein Fachkollege Wolfgang Wahlster, Gründungsdirektor des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz, pflichtet ihm bei: »Von der menschlichen Alltagsintelligenz ist die KI immer noch Lichtjahre entfernt. Gesunden Menschenverstand kann sie nur äußerst beschränkt erwerben.«

with the best self-driving cars will »not be the one with the best patents or the best secrets, but that with the best engineers, the best machine-learning people.«

LOCAL AI HOTSPOTS IN EUROPE MUST BE STRENGTHENED

Until now Europe has lagged behind because large IT companies and elite universities, especially from the USA, have consistently attracted the most talented. Google is currently financing over 250 research projects in the area of deep learning. Most strongly affected by this are our public research institutions. Schölkopf: »Many of our prospective Ph.D.s have offers from American companies or elite universities. That is where professors from Europe are working who have become superstars and successful entrepreneurs in the USA. And young scientists want to learn where the best are doing research.« It is therefore decisive to strengthen local hotspots in Europe—such as Germany's new Cyber Valley—and to keep the stars of tomorrow in Europe or to get them to come back. Fortunately, the Max Planck Society invested in the future of AI at an early point in time and founded the MPI for Intelligent Systems in 2011, which in the meantime has gained global recognition.

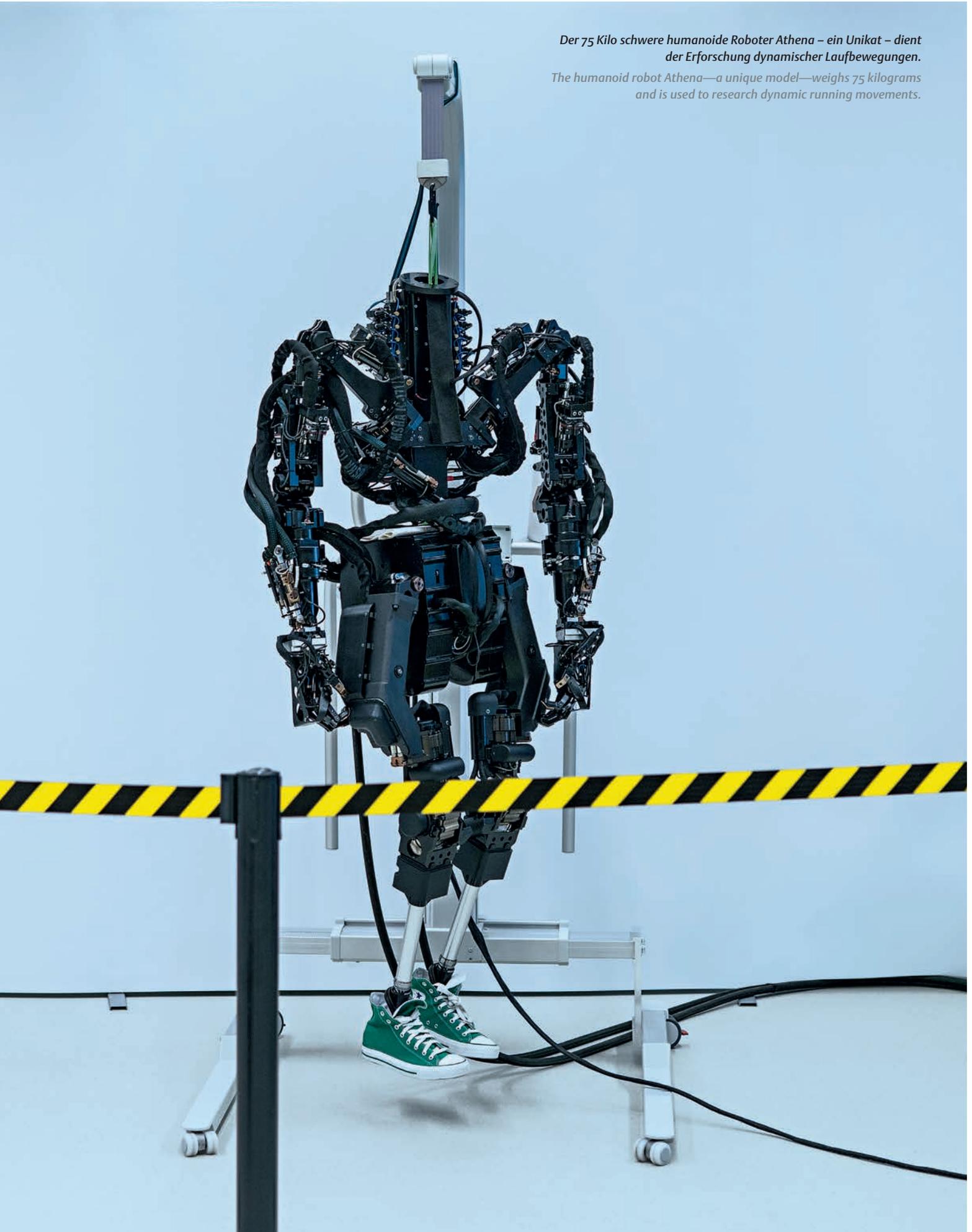
In the framework of the planned ELLIS program (European Laboratory for Learning and Intelligent Systems) Schölkopf wants »to improve the networking between leading European locations, start joint programs, and educate Ph.D. candidates. Young top scientists should not have to go to the USA to work at the highest level.« Schölkopf wants to employ some of the funds from the Körber Prize in the new field of causal inference and for workshops to promote the ELLIS project.

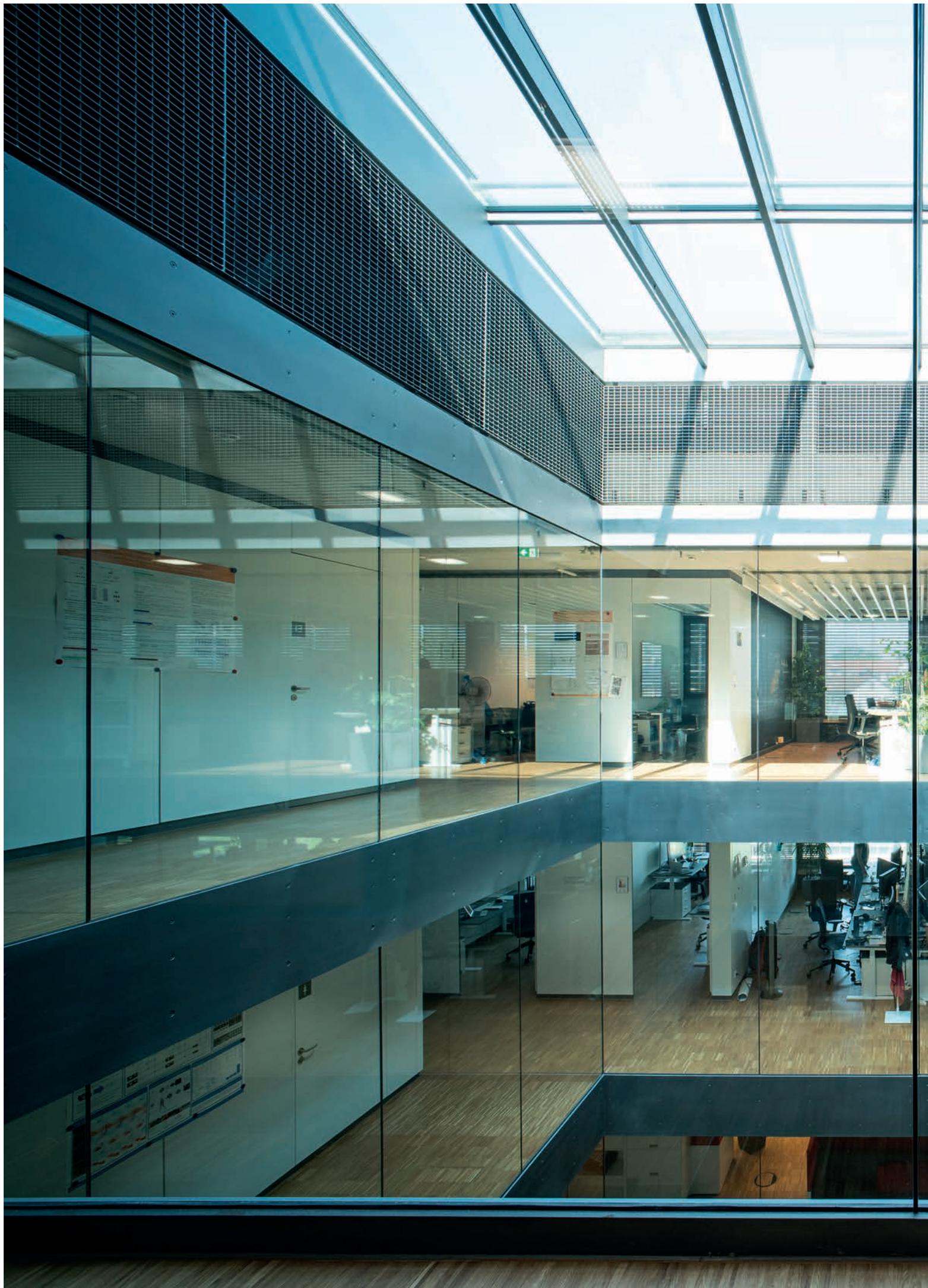
Schölkopf does however see the downsides posed by AI. Some scientists work on intelligent fighting machines that in a war could kill humans autonomously. Schölkopf rejects these military applications of AI energetically and, together with many other AI and robotics researchers, organizes the protest against them.

Schölkopf does think, however, that the widespread anxiety of many people toward AI is exaggerated. »The systems only function in thematically very narrowly specialized areas. Even deep learning networks are quite simple structures compared to our brain.« His colleague Wolfgang Wahlster, founding director of the German Research Center for Artificial Intelligence, agrees with him: »AI is still light years away from ordinary human intelligence. It can acquire common sense only to an extremely limited degree.«

Der 75 Kilo schwere humanoide Roboter Athena – ein Unikat – dient der Erforschung dynamischer Laufbewegungen.

The humanoid robot Athena—a unique model—weighs 75 kilograms and is used to research dynamic running movements.







Professor Dr. Bernhard Schölkopf

Bernhard Schölkopf, 51, wuchs in Filderstadt nahe Stuttgart auf. Sein Vater war Maurermeister und später Bauunternehmer, die Mutter Hausfrau. Freunde der Eltern bezeichneten den eher zurückhaltenden Jungen als ›kleinen Professor‹. Bereits in der Schulzeit entdeckte Schölkopf seine Liebe zu den Zahlen. Nach dem Abitur (1987) studierte er in Tübingen und London Physik, Mathematik und Philosophie. 1997 promovierte er in Computerwissenschaften an der TU Berlin.

Prägend für Schölkopfs Karriere war ein Stipendium der Studienstiftung des deutschen Volkes, das ihn an die amerikanischen Bell Labs brachte. Dort half er seinem späteren Doktorvater Vladimir Vapnik, sogenannte Support Vector Machines zur Anwendungsreife zu entwickeln. Nach der Promotion arbeitete Schölkopf für Microsoft Research im britischen Cambridge. Dort lernte er auch seine spätere Frau, eine spanische Illustratorin, kennen, mit der er drei Kinder hat. Sie hat zu einer seiner Ideen – einem Jungen, der auf einem Kometen reitet und Sternschnuppen über unserem Planeten verstreut – einen Bildband veröffentlicht.

Nach weiterer Tätigkeit beim New Yorker Biotech-Start-up Biowulf wurde Schölkopf 2001 zum Direktor des Max-Planck-Instituts (MPI) für biologische Kybernetik in Tübingen berufen. 2011 zählte er zu den Gründungsdirektoren des Tübinger MPI für intelligente Systeme. Mit seinen stark mathematisch geprägten Arbeiten zum Thema Maschinelles Lernen hat Schölkopf Weltruhm erlangt. Er ist in wissenschaftlichen Publikationen zu diesem Thema der am häufigsten zitierte deutsche Forscher und zählt zu den zehn weltweit bedeutendsten Computerwissenschaftlern. Schölkopf wurde bereits mit zahlreichen renommierten Preisen ausgezeichnet – darunter 2018 mit dem Leibniz-Preis.

Weiterhin setzt er sich stark dafür ein, Deutschland als KI-Standort zu fördern: Schölkopf ist Mitgründer des ›Cyber Valley‹ im Raum Stuttgart-Tübingen – ein KI-Hotspot, an dem inzwischen auch große IT-Firmen aus den USA Forschungszentren errichtet haben. Im geplanten ELLIS-Programm (European Laboratory for Learning and Intelligent Systems) will er führende europäische Standorte besser miteinander vernetzen. Zu Schölkopfs Hobbys zählt die Musik, er spielt Klavier und singt im Chor. Sein Lieblingskomponist ist Johann Sebastian Bach.

Bernhard Schölkopf, 51, grew up in Filderstadt, a city near Stuttgart. His father was a master mason and later a building contractor, and his mother a housewife. Friends of his parents would call the rather reticent boy ›the little professor‹. It was already as a schoolboy that Schölkopf discovered his love of numbers. After graduating from school (Abitur) in 1987, he studied physics, mathematics, and philosophy in Tübingen and London. He was awarded a Ph.D. in computer science by the TU Berlin in 1997.

Formative for Schölkopf's career was a stipend he received from the German Academic Scholarship Foundation, which enabled him to go to the Bell Labs in the USA. There, he helped his later doctoral supervisor Vladimir Vapnik develop what are referred to as support vector machines to the point that they were ready for use. After receiving his Ph.D. Schölkopf worked at Microsoft Research in Cambridge in Great Britain. That is where he met his later wife, a Spanish illustrator, with whom he has three children. She has published an illustrated book based on one of his ideas, namely about a boy who rides a comet and scatters shooting stars on our planet.

Following a period at the New York startup Biowulf, Schölkopf was appointed Director of the Max Planck Institute (MPI) for Biological Cybernetics in Tübingen in 2001. In 2011 he was one of the founding directors of the Tübingen MPI for Intelligent Systems. His strongly mathematically oriented studies on the topic of machine learning have earned Schölkopf world renown. He is the German researcher who is most frequently cited in scientific publications on this topic and has been counted among the ten most important computer scientists in the world. Schölkopf has already been awarded numerous prestigious prizes, such as the Leibniz Prize in 2018.

Furthermore, Schölkopf is a strong promoter of enhancing Germany's position as a location for artificial intelligence (AI). He is a cofounder of the AI hotspot ›Cyber Valley‹ in the Stuttgart-Tübingen region, where in the meantime research centers have also been established by large American IT companies. In the planned ELLIS program (short for the European Laboratory for Learning and Intelligent Systems), he wants to improve the networking between leading European locations. Schölkopf's hobbies include music; he plays piano and sings in a choir. His favorite composer is Johann Sebastian Bach.



Wissenschaftsfreiheit, Verantwortung und Kommunikation

Freedom of Science, Responsibility, and Communication

Wissenschaft folgt dem menschlichen Bedürfnis, »wissen zu wollen«. Sie kann den Drang, neue Erkenntnisse zu gewinnen, am besten erfüllen, wenn sie frei ist: frei von inhaltlichen Vorgaben, frei von Begrenzungen, frei von staatlichen Vorgaben, frei von Verwertungsansprüchen. Unter diesen Bedingungen kann sie sich entfalten und die Grenzen des Wissens überschreiten. Das Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland, das 2019 sein 70-jähriges Jubiläum feiert, garantiert in Artikel 5 nicht nur die freie Meinungsäußerung und die Pressefreiheit, sondern auch die Wissenschaftsfreiheit: »Kunst und Wissenschaft, Forschung und Lehre sind frei«, heißt es hier. Aber auch andere europäische Länder ebenso wie die Grundrechtecharta der EU schützen die Freiheit der Kunst und der Wissenschaft.

Auf diesem Boden gedeihen nun jene Forschungsarbeiten, die der Körber-Preis für die Europäische Wissenschaft alljährlich auszeichnet. Es sind einzelne herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die für ihre zukunftssträchtige Forschung zukünftig das Preisgeld von einer Million Euro erhalten, nachdem sich die Stiftung in diesem Jahr für eine Aufstockung des Preisgeldes entschieden hat. Sie hat den Preis darüber hinaus mit der Auflage versehen, dass fünf Prozent des Preisgeldes für Wissenschaftskommunikation zu verwenden sind. Und dafür gibt es gute Gründe.

Denn die Freiheit der Wissenschaft steht immer auch in engem Zusammenhang mit der Verantwortung der Wissenschaft. Dies wird besonders in einer Zeit deutlich, in der Wissenschaft und technisch-wirtschaftliche Praxis immer enger zusammenrücken. Das kann man eindrucksvoll beobachten bei der rasanten Entwicklung des Genome Editing durch CRISPR-Cas9 oder aber den Fortschritten in der Künstlichen Intelligenz. Bei beiden zeichnen sich ethische Herausforderungen und mögliche Gefahren oder gar Missbrauchspotenziale ab, die einer ethischen Reflexion der Wissenschaft bedürfen. Dabei geht es nicht um eine Einschränkung der Wissenschaftsfreiheit, sondern um zusätzliche Wege, dieser Wirkung zu verschaffen.

Science follows the human need »to want to know.« It can best satisfy this compulsion to acquire new knowledge when it is free: free from content-related guidelines, free from restrictions, free from government requirements, and free from claims to its utilization. These are conditions under which it can flourish and transcend the limits of our knowledge. Article 5 of the Basic Law of the Federal Republic of Germany, whose seventieth anniversary is being celebrated in 2019, guarantees not only freedom of expression (e.g., speech) and of the press but also the freedom of science: »Art and science, research and teaching are free,« according to the constitution. Other European countries also protect the freedom of art and science, as does the EU Charter of Fundamental Rights.

This is the basis on which the research activities thrive that the Körber European Science Prize honors each year. Excellent individual scientists of both sexes are the recipients and will from now on be awarded a Prize money of one million euros for their promising research. This year the Körber-Stiftung has decided to increase the amount of the Prize money. It has furthermore added a condition that 5% of the Prize money is to be utilized for science communication. And there are good reasons for this.

The freedom of science is always closely linked to the responsibility of science. This fact becomes clear particularly in a period in which science and technological-economic activity are moving closer and closer together. This can be observed in impressive manner in the rapid development of genome editing using CRISPR-Cas9 or in the advances made in artificial intelligence. Looming in both cases are ethical challenges and possible dangers or even the potential for misuse that make ethical reflection by science necessary. At issue is not a restriction of the freedom of science, but additional ways to enable the freedom of science to have an impact.

Forschungsorganisationen müssen ethische Prinzipien offenlegen, auf Basis derer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in der Meinungsbildung und Entscheidungsfindung zum Umgang mit Forschung unterstützt werden, die den Menschen oder die Umwelt, in der er lebt, gefährden kann. So hat die Max-Planck-Gesellschaft im Mai 2019 in einem Positionspapier ihren Standpunkt

zum Genom Editing formuliert. Sie lehnt darin unter anderem die Veränderung der menschlichen Keimbahn auf Basis des gegenwärtigen Wissensstandes ab. Und auf EU-Ebene befassen sich Experten mit der Frage nach den ethischen Leitlinien für die Entwicklung einer vertrauenswürdigen Künstlichen Intelligenz. Egal, um welche Technik es geht – die Lösungen für die Zukunft können wir nur gemeinsam mit allen gesellschaftlichen Akteuren entwickeln.

Wissenschaftsfreiheit kann daher auch nicht unbegrenzt sein. Dem Recht auf freie Forschung können andere schützenswerte Rechte entgegenstehen. Insofern muss Wissenschaftsfreiheit unter sich wandelnden Bedingungen immer wieder neu ausgehandelt werden. Dieser Aushandlungsprozess bedarf eines lebendigen und offenen Diskurses. Der Wissenschaftskommunikation kommt hier eine besondere Bedeutung zu. Die mit dem Körber-Preis vergebenen Mittel sollten daher klug eingesetzt werden. Die Wissenschaft muss als Hauptakteur die Wissenschaftsfreiheit im demokratischen Diskurs selbst verteidigen. Sie hat größtes Interesse daran, dass ihr Publikum nicht nur zuhört, sondern ihr auch vertraut. Deshalb muss Wissenschaft in der Kommunikation ihre Rolle und auch die ethische Selbstreflexion sichtbar machen.



Research organizations must disclose the ethical principles on the basis of which scientists are given support in forming opinions and in decision making concerning research that could pose a danger to people or the environment in which they live. The Max Planck Society, for example, formulated its position on genome editing in a paper in May,

2019. There, it rejects among other things modification of the human germ line on the basis of our current state of knowledge. And at the EU level, experts are occupied with the issue of creating ethical guidelines for the development of trustworthy artificial intelligence. Regardless of which technology is at issue, we can only develop solutions for the future jointly with all the social actors.

Freedom of science can thus not be unlimited. Other rights worthy of our protection may be conflict with the right to be free to conduct research. To this extent, the freedom of science must be renegotiated over and over again under changed conditions. This process of renegotiation requires a vital and open discourse. In this context, science communication takes on special importance. The funds awarded with the Körber European Science Prize should therefore be used wisely. As a main actor, science itself must defend the freedom of science in the democratic discourse. It has a major interest in the public not just listening to it but also trusting it. For this reason, science must make both its role and its ethical self-reflection visible in its communication.

Prof. Dr. Martin Stratmann

Präsident der Max-Planck-Gesellschaft | *President of the Max Planck Society*
 Vorsitzender des Kuratoriums des Körber-Preises | *Chairman of the Trustee Committee of the Körber Prize*

Auswahl und Entscheidung Selection and Decision

Der Körber-Preis für die Europäische Wissenschaft zeichnet jährlich herausragende und in Europa tätige einzelne Wissenschaftler aus. Prämiert werden exzellente und innovative Forschungsansätze mit hohem Anwendungspotenzial auf dem Weg zur Weltgeltung. Eine Bewerbung ist nicht möglich. Wie aber werden jedes Jahr die in Europa richtungweisenden Köpfe identifiziert?

Zunächst wählen renommierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus ganz Europa, zusammengefasst in zwei Search Committees, vielversprechende Kandidaten aus. Gesucht werden im jährlichen Wechsel geeignete Personen aus den Life oder Physical Sciences. Wer in die engere Wahl kommt, wird aufgefordert, einen detaillierten Vorschlag zu einem Forschungsprojekt einzureichen, das dann in zwei Bewertungsrunden vom Search Committee beurteilt wird. Unterstützt wird die Arbeit der Search Committees durch internationale Gutachter, die unabhängige Urteile über die Kandidaten und deren Projekte abgeben. Bis zu fünf Kandidaten werden abschließend dem Kuratorium vorgelegt, das in einer Gesamtschau von gutachterlicher Bewertung, bisher erbrachter Publikationsleistung und wissenschaftlichem Werdegang über die neue Preisträgerin oder den neuen Preisträger entscheidet.

The Körber European Science Prize is presented annually, honoring outstanding single scientists working in Europe. The Prize is awarded to excellent and innovative research projects that show great potential for possible application and international impact. A personal application is not allowed. But how are the most pioneering minds of Europe identified each year?

To begin with, renowned scientists from all over Europe, grouped into two Search Committees, select promising candidates. In alternate years, suitable individuals are sought from the field of life sciences and physical sciences respectively. Those who are shortlisted are then asked to submit a detailed proposal for a research project which is then judged in two rounds of assessment by the Search Committee. The work of the Search Committee is supported by international experts who give their independent opinions on the candidates and their projects. A maximum of five candidates are subsequently recommended to the Trustee Committee which, based on a summary of expert assessments, previous publications and scientific career history, decides on the new prize winner.



Search Committee Physical Sciences

Prof. Dr. Sir John O'Reilly, Vorsitz, Chairman
University College London, United Kingdom

Prof. Dr. Claudia Felser
Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe,
Dresden
Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids,
Dresden, Germany

Prof. Dr. Martin Wegener
KIT Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe
KIT Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe,
Germany

Prof. Dr. Alexander Wokaun
PSI Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland

Kuratorium Trustee Committee

Prof. Dr. Martin Stratmann, Chairman
Max Planck Society, Munich, Germany

Prof. Dr. Anthony K. Cheetham
University of Cambridge, United Kingdom

Prof. Dr. Richard Friend (*ab September 2019*)
Cavendish Laboratory, Cambridge, UK

Prof. Dr. Alain Fuchs (*ab September 2019*)
Université PSL, Paris, France

Prof. Dr. Jörg Hacker
German Academy of Sciences Leopoldina, Halle (Saale),
Germany

Prof. Dr. Edith Heard (*ab September 2019*)
EMBL Heidelberg, Germany

Prof. Dr. Urban Lendahl
Karolinska Institute, Stockholm, Sweden

Prof. Dr. Bert Meijer (*ab September 2019*)
Institute for Complex Molecular Systems, Eindhoven,
Netherlands

Prof. Dr. Felicitas Pauss
Institute for Particle Physics, ETH Zurich, Switzerland

Preisträger und Forschungsprojekte seit 1985

Prize Winners and Research Projects since 1985

- | | |
|---|--|
| <p>1985 Stoßwellen-Anwendungen in der Medizin
Applications of Shock Waves in Medicine
Walter Brendel, Michael Delius, Georg Enders,
Joseph Holl, Gustav Paumgartner,
Tilman Sauerbruch</p> | <p>1992 Ausbreitung und Wandlung von Verunreinigungen
im Grundwasser
The Spread and Transformation of Contaminants
in Ground Water
Philippe Behra, Wolfgang Kinzelbach,
Ludwig Luckner, René P. Schwarzenbach,
Laura Sigg</p> |
| <p>1985 Gegendruck-Gieß-Technologie
Back Pressure Casting Technology
Teodor Balevski, Rumen Batschvarov,
Emil Momtschilov, Dragan Nenov, Rangel Zvetkov</p> | <p>1993 Bionik des Laufens – Technische Umsetzung
biologischen Wissens
Bionics of Walking: The Technical Application of
Biological Knowledge
Felix Chernousko, François Clarac, Holk Cruse,
Friedrich Pfeiffer</p> |
| <p>1986 Retrovirus-Forschung (AIDS)
Retrovirus Research (AIDS)
Jean-Claude Gluckman, Sven Haahr,
George Janossy, David Klatzmann,
Luc Montagnier (Nobelpreis 2008), Paul Rác</p> | <p>1994 Moderne Pflanzenzüchtung – Von der Zelle
zur Pflanze
Modern Plant Breeding: From the Cell to the Plant
Dénes Dudits, Dirk Inzé, Anne Marie Lambert,
Horst Lörz</p> |
| <p>1987 Weiterentwicklung der Elektronenholographie
Further Development of Electron Holography
Karl-Heinz Herrmann, Friedrich Lenz,
Hannes Lichte, Gottfried Möllenstedt</p> | <p>1995 Gensonden in Umweltforschung und Medizin
Genetic Probes in Environmental Research
and Medicine
Rudolf Amann, Erik C. Böttger, Ulf B. Göbel,
Bo Barker Jørgensen, Niels Peter Revsbech,
Karl-Heinz Schleifer, Jiri Wanner</p> |
| <p>1987 Erzeugung von Ultratiefemperaturen
Creating Ultralow Temperatures
Riitta Hari, Matti Krusius, Olli V. Lounasmaa,
Martti Salomaa</p> | <p>1996 Lebensraum tropische Baumkronen
The Habitat of Treetops in the Tropics
Pierre Charles-Dominique, Antoine Cleef,
Gerhard Gottsberger, Bert Hölldobler,
Karl E. Linsenmair, Ulrich Lüttge</p> |
| <p>1988 Erweiterung des Hamburger Pyrolyseverfahrens
zur Vernichtung auch toxischer Abfallstoffe
Extending the Hamburg Pyrolytic Technique to
Destroy Toxic Wastes
Alfons Buekens, Vasilij Dragalov, Walter Kaminsky,
Hansjörg Sinn</p> | <p>1996 Computergesteuerte Gestaltung von Werkstoffen
Computer-Assisted Design of Materials
Michael Ashby, Yves Bréchet, Michel Rappaz</p> |
| <p>1989 Wirkstoffe pflanzlicher Zellkulturen
Active Substances from Plant Cell Cultures
Christian Brunold, Yury Y. Gleba, Lutz Nover,
J. David Phillipson, Elmar W. Weiler,
Meinhart H. Zenk</p> | <p>1997 Mausmutanten als Modelle für die klinische
Forschung
Mutant Mouse Models in Clinical Research
Pawel Kisielow, Klaus Rajewsky,
Harald von Boehmer</p> |
| <p>1990 Vorhersage kurzfristiger Klimaveränderungen
Forecasting Short-Term Changes in Climate
Lennart Bengtsson, Bert Bolin, Klaus Hasselmann</p> | <p>1998 Kernspintomographie mit Helium-3 – Neue Wege
in der Lungendiagnostik
Magnetic Resonance Tomography with Helium-3
Werner Heil, Michèle Leduc, Ernst W. Otten,
Manfred Thelen</p> |
| <p>1991 Erkennung und Verhütung von Krebserkrankungen
durch Umweltchemikalien
Recognizing and Preventing Cancer Caused by
Environmental Chemicals
Lars Ehrenberg, Dietrich Henschler, Werner Lutz,
Hans-Günter Neumann</p> | |

- 1998 Elektronische Mikronasen für mehr Sicherheit am Arbeitsplatz
Electronic Micronoses to Enhance Safety at the Workplace
Henry Baltés, Wolfgang Göpel, Massimo Rudan
- 1999 Hoch fliegende Plattformen für Telekommunikation
High-Altitude Platforms for Telecommunications
Bernd Kröplin, Per Lindstrand, John Adrian Pyle, Michael André Rehmet
- 2000 Gestaltwahrnehmung in der Technik mit Erkenntnissen aus der Natur
Perception of Shape in Technology with Insights from Nature
Rodney Douglas, Amiram Grinvald, Randolph Menzel, Wolf Singer, Christoph von der Malsburg
- 2001 Optimierte Nutzpflanzen dank Gentechnik
Optimised Crops through Genetic Engineering
Wolf-Bernd Frommer, Rainer Hedrich, Enrico Martinoia, Dale Sanders, Norbert Sauer
- 2002 Narbenlose Wundheilung durch Tissue Engineering
Scarfree Wound Healing Using Tissue Engineering
Mark W. J. Ferguson, Jeffrey A. Hubbell, Cay M. Kielty, G. Björn Stark, Michael G. Walker
- 2003 Ein mit Licht betriebener molekülgroßer Motor
Light-driven molecular walkers
Ben L. Feringa (Nobelpreis 2016), Martin Möller, Justin E. Molloy, Niek F. van Hulst
- 2004 Therapien für eine neue Gruppe von Erblichen
Therapies for a New Group of Hereditary Diseases
Markus Aebi, Thierry Hennet, Jaak Jaeken, Ludwig Lehle, Gert Matthijs, Kurt von Figura
- 2005 Mit Licht auf neuen Wegen
Taking Light onto New Paths
Philip St. John Russell
- 2006 Chaperone der Proteinfaltung in Biotechnologie und Medizin
Chaperones of the Protein Folding in Biotechnology and Medicine
F. Ulrich Hartl
- 2007 Automatische Synthese von Kohlenhydratimpfstoffen gegen Tropenkrankheiten
Automated Synthesis of Carbohydrate Vaccinations against Tropical Diseases
Peter H. Seeberger
- 2008 Medikamente gegen Krebs und das Altern
Drugs to Fight Cancer and Aging
Maria Blasco
- 2009 Graphen, das dünnste Material im Universum
Graphene, the Thinnest Material in the Universe
Andre K. Geim (Nobelpreis 2010)
- 2010 Auxin – Einsicht ins Pflanzenwachstum
Auxin – Understanding Plant Growth
Jiří Friml
- 2011 Lichtblicke in die Nano-Welt
Bright Spots in the Nano World
Stefan W. Hell (Nobelpreis 2014)
- 2012 Rasterfahndung nach Proteinen
Dragnet Investigation of Protein
Matthias Mann
- 2013 Quantengas im Laserkäfig
Quantum Gas in the Laser Cage
Immanuel F. Bloch
- 2014 Das Navigationssystem des Gehirns
The Brain's Navigation System
May-Britt Moser und Edvard I. Moser (Nobelpreis 2014)
- 2015 Aufbruch ins Oxid-Zeitalter
The Dawn of the Oxide Age
Nicola Spaldin
- 2016 Ersatzorgane aus der Petrischale
Replacement Organs from a Petri Dish
Hans Clevers
- 2017 Schwerkraftsignale aus den Tiefen des Alls
Gravity Signals from the Depths of the Universe
Karsten Danzmann
- 2018 Die Gene der Neandertaler
The Genes of the Neanderthals
Svante Pääbo

Gesellschaftliche Entwicklung braucht Dialog und Verständigung. Die **Körper-Stiftung** stellt sich mit ihren operativen Projekten, in ihren Netzwerken und mit Kooperationspartnern aktuellen Herausforderungen in den Handlungsfeldern »Innovation«, »Internationale Verständigung« und »Lebendige Bürgergesellschaft«. Die drei Themen »Technik braucht Gesellschaft«, »Der Wert Europas« und »Neues Leben im Exil« stehen derzeit im Fokus ihrer Arbeit.

1959 von dem Unternehmer Kurt A. Körper ins Leben gerufen, ist die Stiftung heute mit eigenen Projekten und Veranstaltungen national und international aktiv. Ihrem Heimatsitz Hamburg fühlt sie sich dabei besonders verbunden; außerdem unterhält sie einen Standort in Berlin.

www.koerber-stiftung.de

Der **Körper-Preis für die Europäische Wissenschaft** zeichnet jährlich herausragende und in Europa tätige Wissenschaftler für deren zukunftssträchtige Forschungsarbeiten aus. Prämiert werden exzellente und innovative Forschungsansätze mit hohem Anwendungspotenzial auf dem Weg zur Weltgeltung. Mit Spitzenwissenschaftlern aus ganz Europa besetzte Ausschüsse suchen nach geeigneten Preisträgerkandidaten, über die ein Kuratorium entscheidet. Über die Verwendung des Preisgeldes in Höhe von 1.000.000 Euro bestimmen die Preisträger eigenverantwortlich.

www.koerber-preis.de

Körper-Stiftung
Kehrwieder 12
20457 Hamburg
www.koerber-stiftung.de

Körper-Preis für die Europäische Wissenschaft

Matthias Mayer
Bereichsleiter Wissenschaft | Head of the Department of Science
Telefon +49 · 40 · 80 81 92-142
Telefax +49 · 40 · 80 81 92-305
E-Mail mayer@koerber-stiftung.de
Twitter @KoerberScience

IMPRESSUM

Herausgeber: Körper-Stiftung, Hamburg
V.i.S.d.P.: Dr. Lothar Dittmer
Redaktion: Matthias Mayer, Sabine Bornemann-Koch
Autor: Claus-Peter Sesín
Übersetzung: Dr. Michael Wilson
Fotos: Friedrun Reinhold, Seite 39: MPG/Axel Griesch
Konzeption und Gestaltung: Klötzner Company Werbeagentur GmbH
Visualisierung: S. 10/11 Robert Bosch GmbH
Litho: AlsterWerk MedienService GmbH
Druck: MPW Media-Print Witt GmbH

Social development needs dialogue and understanding. Through its operational projects, in its networks and in conjunction with cooperation partners, Körper-Stiftung takes on current social challenges in areas of activities comprising Innovation, International Dialogue and Vibrant Civil Society. At present its work focuses on three topics: Technology needs Society, The Value of Europe and New Life in Exile.

Inaugurated in 1959 by the entrepreneur Kurt A. Körper, the foundation is now actively involved in its own national and international projects and events. In particular, the foundation feels a special bond to the city of Hamburg. Furthermore, the foundation holds a site in the capital of Germany, Berlin.

www.koerber-stiftung.de

The Körper European Science Prize is presented annually, honoring outstanding scientists working in Europe for their promising research projects. The Prize is awarded to excellent and innovative research projects that show great potential for possible application and international impact. Search Committees with top scientists from all over Europe identify qualified candidates. The selection is then made by a Trustee Committee. The prize winners have the freedom and responsibility to determine how to use the 1,000,000 euro prize money.

www.koerber-prize.org



Körper-Stiftung
Kehrwieder 12
20457 Hamburg
www.koerber-stiftung.de



Jahre
Gesellschaft
besser machen