

# Noch antworten sie nur, bald stellen sie Fragen

Mit einem Forschungszentrum in Zürich baut Google seine weltweite Spitzenposition in der Künstlichen-Intelligenz-Forschung aus. Das Ziel ist eine Suchmaschine, die auf alles eine Antwort hat.

Die ultimative Suchmaschine würde alles in der Welt verstehen“, erklärte Google-Chef Larry Page vor zehn Jahren am Rande der Londoner Konferenz „Zeitgeist“. „Sie könnten sich erkundigen: ‚Was soll ich Larry fragen?‘ – und sie würde es Ihnen sagen.“ Es ist nicht ganz einfach, sich eine solche Suchmaschine vorzustellen. Aber Google arbeitet beständig an ihrer Entwicklung, nicht nur im Silicon Valley, sondern mitten in Europa.

Auf dem Gelände einer ehemaligen Brauerei in Zürich, nur wenige Tramhaltestellen von der Bahnhofstrasse entfernt, sitzt Googles größte Abteilung für Softwareentwicklung außerhalb der Vereinigten Staaten. Hunderte Fahrräder stehen vor den modernen Glasfassaden, vor allem Single-Speed-Räder in grellen Farbtönen. Fast zweitausend Entwickler, Programmierer und Produktmanager arbeiten hier. Seit einigen Monaten gibt es eine neue Abteilung, „Google Research Europe“. Ein Team von derzeit rund achtzig Forschern arbeitet daran, Maschinen noch klüger zu machen.

In der Sky Lounge im sechsten Stock sitzt Emmanuel Mogenet, der Leiter des neuen Teams. Mit Ende vierzig, in Jeans und blauem Hemd, wirkt er hier fast ein wenig altmodisch. Hinter ihm flätzt sich ein Mann im Iron-Maiden-T-Shirt, der mit seinem wilden Vollbart aussieht wie der Kapitän der isländischen Fußballmannschaft. Maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz waren bis vor zehn Jahren Nischenfächer. Mogenet selbst bastelte an Spezialeffekten für Hollywood-Filme, bevor Google ihn 2006 aus Los Angeles nach Zürich holte.

Jetzt soll der Franzose für Google das größte Forschungsteam außerhalb der Vereinigten Staaten aufbauen. Anders als die Softwareentwickler, die ständig Google Maps, You Tube und Gmail verbessern, wird sein Team Forschung für mittelfristige Entwicklungen betreiben. Das erste Ziel ist ein künstlicher Assistent, der in wenigen Jahren in jedem Smartphone stecken soll. Er soll Fragen beantworten wie: „Wird es dunkel sein, wenn ich nach Hause komme?“ Für einen Computer, erklärt Mogenet, sind das keine einfache Frage, denn es gibt kein Schlüsselwort. Zunächst müsse die Maschine die Frage verstehen, dann müsse sie die relevanten Informationen identifizieren: den Stand der Sonne, die Entfernung zum Zielort, die geplante Route, um diese schließlich zu einer Antwort zusammenzuführen.

Um die Maschinen an solche Fragen heranzuführen, muss Mogenets Team dem Computer als Erstes mitbringen, menschliche Sprache, die oft keinen klaren Regeln folgt, korrekt zu interpretieren. Ein zweites Team arbeitet an der akustischen und visuellen Wahrnehmungsfähigkeit des Computers. Experten für maschinelles Lernen sind das Bindeglied. Sie implementieren die Erkenntnisse. Die Herausforderung besteht darin, Computer all jene Selbstverständlichkeiten zu lehren, die wir in Gesprächen voraussetzen. Dass Giraffen nicht fliegen können, weiß jedes Kind. Aber im Internet steht es nicht. Ein kluger



„Wer sind die beiden Schwestern, die sich stets gegenseitig erzeugen?“ Darauf hat die moderne Sphinx der künstlichen Intelligenz noch keine Antwort.

Foto AKG

Computer würde auf Grundlage der Fotos im Netz erkennen, dass Giraffen stets auf dem Boden stehen, und daraus ableiten, dass sie wahrscheinlich nicht fliegen können.

Zu Mogenets Team zählen Linguisten und Experten für Computer-Vision, vor allem aber Fachleute für maschinelles Lernen, die Programme so anlegen, dass sie selbst dazulernen. Sie alle haben Großraumbüros in einer in kühlen Farben gehaltenen Etage im Google-Haus bezogen, einer Art Eiswelt. Jedes Stockwerk im Google-Haus hat ein Thema. Weiter oben, im Dschungel, kauert ein Plastik krokodil vor einem Zimmerpflanzenwald. Hier steht eine ausrangierte Schweizer Berg-Gondel; wer telefonieren möchte oder etwas Rückzugsräume braucht, kann es sich bequem machen.

Im Vergleich zur Forschung von Deep Mind, Googles Tochterfirma für KI-Grundlagenforschung, ist Mogenets Arbeit stärker anwendungsorientiert. „Wir sind wie Alchemisten. Wir experimentieren, entdecken Neues und schreiben die Rezepte auf“, sagt er über das maschinelle Lernen. „Es gibt eine Menge empirisches Wissen, aber noch keine Chemie. Uns fehlt eine Theorie, die erklärt, wie das alles funktioniert.“

Dass Google das neue Team für maschinelles Lernen in Europa ansiedelt, hat pragmatische Gründe. Einige der führenden Hochschulen und Forschungsinstitute sitzen hier, und nicht alle Absoluten zieht es auf einen anderen Kontinent. Auch historisch ist Europa auf diesem Feld führend. Der ukrainische Mathematiker Alexey Grigoryevich Ivakhnenko entwickelte vor einem hal-

ben Jahrhundert den ersten Algorithmus, der selbständig dazulernte. Und der deutsche KI-Pionier Jürgen Schmidhuber, der heute Kodirektor des Schweizer Forschungsinstituts für Künstliche Intelligenz bei Lugano ist, erfand vor zwanzig Jahren rekurrente neuronale Netze, die sich effektiv trainieren lassen. Die LSTM genannte Technologie ist Grundlage jeder Software zur Spracherkennung.

Die Verzahnung zwischen universitärer und privater Forschung hat in den vergangenen Jahren stark zugenommen. Amir Sariri, Doktorand an der University of Toronto, hat das quantitativ für jenen Bereich des maschinellen Lernens untersucht, der „Deep Learning“ heißt und zuletzt die größten Erfolge erzielte. Grundlage ist eine sorgfältig ausgewählte Stichprobe von 3416 Artikeln, die zwischen 2006 und 2014 publiziert wurden. Nach Zitationen gewichtet, war bei fast vierzig Prozent der Artikel im Jahr 2014 mindestens einer der Autoren mit einem Unternehmen verbunden. 2006 lag der Wert noch nahe null. In der Hälfte der Fälle, also bei zwanzig Prozent der nach Zitationen gewichteten Forschungsarbeiten, gab es 2014 einen Kontakt zu Google, so Sariri gegenüber dieser Zeitung: „Wenn es um Forschung zu maschinellem Lernen geht, dann ist Google quasi eine Hälfte der Unternehmenswelt.“

Google hat gleich ein ganzes Bündel an Programmen entwickelt, um auf Wissen und Talente der Hochschulen zuzugreifen. Es gibt Stipendien für Doktoranden, die bei Google forschen. Hochschulteams können Zuschüsse für spezielle Projekte erhalten, einige Institute erhalten sogar Zuwendungen, die an keinerlei Vorge-

ben geknüpft sind. Außerdem haben Wissenschaftler die Möglichkeit, für einige Monate ins Unternehmen zu kommen und anschließend auf ihre Lehrstühle zurückzukehren. Der britische Starinformatiker Geoffrey Hinton arbeitet seit Jahren halbtags als Professor an der University of Toronto und die andere Hälfte für Google. Es stellt sich damit auch die Frage, ob finanzstarke Technologiefirmen die öffentliche Forschungsagenda bestimmen und wem diese Forschung letztlich dient.

Neben der Nähe zur Wissenschaft hat die Standortwahl noch einen zweiten Grund. Maschinelles Lernen, so Mogenet, sei eine Technologie, die alle Industriebereiche betreffen werde, von der Robotik über den Autobau bis zum Recycling. Um das Potential zu verdeutlichen, verweist Mogenet auf Deep Mind. Die Firma hat ihre klugen Algorithmen kürzlich auf den Energieverbrauch in Google Rechenzentren angesetzt. Um vierzig Prozent konnten sie den Strombedarf der Kühlsysteme reduzieren, der Gesamtenergieverbrauch sank um fünfzehn Prozent.

Optimierte Ressourcennutzung, effektivere Mülltrennung, ein Taschenkompanion für jeden. Die Welt soll durch die vielen klugen Maschinen ein besserer und einfacher Ort werden. So stellen sie das bei Google gerne dar. Die Vorteile liegen auf der Hand. Aber was es für unsere Erfahrung der Welt bedeutet, wenn wir ständig mit künstlichen Assistenten reden, die voraussagen können, welche Bars wir besuchen und wann wir zur Toilette müssen, scheint in ihren

Überlegungen kein Thema zu sein. Von der Macht derer, die jenes Heer der künstlichen Assistenten kontrollieren, einmal ganz zu schweigen.

Sogar Technikpioniere sehen die Entwicklung bei Google mittlerweile mit Sorge. Sie fürchten eine Art „intellektuelles Monopol“. Der Tesla-Tycoon Elon Musk hat letztes Jahr die Stiftung „Open AI“ ins Leben gerufen, um zu verhindern, dass ein einziges Unternehmen einen uneinholbaren Vorsprung in der KI-Forschung erreicht. Da eine echte Künstliche Intelligenz die bei weitem mächtigste Technologie wäre, die Menschen je entwickelt haben, sieht er darin eine große Gefahr. Zwar betont Google stets die Transparenz der eigenen Forschung, doch dafür gibt es einen guten Grund. Wissenschaftler arbeiten oft nur dann für Firmen, wenn sie ihre Forschung publizieren können. Doch Google veröffentlicht nicht alles und hat ein geheimnisumwittertes Forschungsteam „X“.

Die ultimative Suchmaschine, die Page vorschwebt, wird Google nicht über Nacht erfinden. Das Programm wird langsam klüger. Längst versucht die Suchmaschine, die Absicht des Nutzers zu erkennen, und macht ihm während der Eingabe Vorschläge, wie er sie vollenden könnte. Bald wird sie vielleicht anfangen, ihm Rückfragen zu stellen. Irgendwann könnte sie sich mit dem persönlichen Assistenten verschmelzen, der vorausschauend und selbständig sucht. Und dann? So genau wissen sie das bei Google wohl selbst noch nicht. Erst einmal wollen sie expandieren. In Zürich bezieht das Unternehmen bis 2020 neue Büroflächen, 50 000 Quadratmeter direkt neben dem Hauptbahnhof. FRIEDEMANN BIEBER

## Wer das Rad erfand

Atlas der Innovationen zeichnet Umbrüche nach

Wo rollte das Rad zuerst? Wer auf Ägypten oder Mesopotamien tippt, liegt ausnahmsweise falsch. „Ex oriente lux“ gilt zwar für viele Errungenschaften, aber Rad und Wagen gab es beispielsweise im heutigen Norddeutschland bereits Mitte des vierten Jahrtausends vor Christus und damit einige Jahrhunderte früher als im ansonsten viel höher entwickelten Nahen Osten. Die Geschichte der technischen Erfindungen ist für manche Überraschung gut. Ihre Dynamik und ihre räumlichen und zeitlichen Verläufe am Computerbildschirm sichtbar zu machen und dadurch auch neue Einblicke zu gewinnen ist das Ziel des „Atlas der Innovationen“. Er soll zeigen, wo und wann bahnbrechende Techniken erfunden wurden, in welchen Gebieten sie verfügbar waren, welche interregionalen Verbindungen und Einflüsse es gab, aber auch wo Techniken und das mit ihnen verknüpfte Wissen wieder verschwanden.

Die Archäologen und Historiker in diesem Projekt, das gemeinsam vom Deutschen Archäologischen Institut, dem Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte und dem Exzellenz-Cluster „Topoi“ getragen wird, führen große Mengen weit verstreuter archäologischer und historischer Funde zusammen und bereiten sie geographisch und chronologisch auf. Zu den menscheitsgeschichtlich bedeutsamen Innovationen, die der Atlas in den Fokus stellt, zählen neben Rad und Wagen der Einsatz des Pflugs und der Waage, die Metallverarbeitung, die Herstellung von Glas und der Gebrauch von Stabdolchen – hellebardenähnliche Waffen, die vor etwa 6500 Jahren aufkamen und wohl die erste speziell für die Tötung von Menschen entwickelte Technologie darstellen.

Aus dem technikgeschichtlichen Rahmen fallen die großen menschenähnlichen Steinstele, die als Medien religiöser und politischer Botschaften dienten und deren Ausbreitung Mitte des vierten Jahrtausends vor Christus in Europa der Atlas ebenfalls verzeichnet. „Wir wollen in der Tradition Max Webers auch die ideologischen Umbrüche und Kommunikationsverläufe studieren, die mit technischen Neuerungen einhergingen“, erläutert Florian Klimscha vom Deutschen Archäologischen Institut, der das Einpflegen der Daten organisiert.

Nach dem Atlas voraussichtlich Anfang nächsten Jahres online ist, kann der Nutzer ihn nach Regionen und Zeiträumen ebenso befragen wie nach den unterschiedlichen Kategorien der archaischen Funde. Kartenbilder zeigen die Fundorte und „Histogramme“ führen auf, wie viele Funde in welchen Gebieten und Zeitabschnitten vorliegen. Hinzu kommen, soweit es das Urheberrecht erlaubt, Abbildungen der archaischen Überreste. Der Informations-Fokus lässt sich nach Bedarf einstellen: Wer sich beispielsweise nicht für Wagen generell interessiert, sondern nur für zweirädrige, von Rindern gezogene Wagen mit starrer Achse in Mitteleuropa, kann seine Anfrage entsprechend verfeinern. Nutzer können auch eigene Daten einspeisen und mit den Atlas-Informationen verknüpfen, allerdings nur auf ihrem eigenen Rechner. Ein unbegrenzt offenes Kollaborationsprojekt nach Wikipedia-Art soll der Atlas nicht werden.

Bislang liegt der Schwerpunkt noch auf Eurasien, aber schrittweise sollen alle Weltregionen einbezogen und die zeitliche Schiene bis in die frühe Neuzeit ausgedehnt werden. Wesentliche Impulse erhält das Projekt durch die in den vergangenen Jahrzehnten immer präziser gewordenen Datierungsmethoden und die Fülle neuer archäologischer Erkenntnisse, die seit dem Fall des Eisernen Vorhangs zur Verfügung stehen. Beides taucht viele Aspekte der Technik- und Wissenschaftsgeschichte in ein neues Licht. Immer deutlicher wird, dass innovative Durchbrüche unter gesellschaftlichen Vorzeichen stattfanden, die unserer von Forschungs- und Entwicklungsabteilungen geprägten Gegenwart eher fremd sind.

Vielfach war weniger der alltagspraktische Nutzen für eine Innovation entscheidend als ihre kulturelle „Passung“ und das Prestige, das sich mit ihr verknüpfen ließ: Die prähistorischen Gesellschaften zum Beispiel, die Rad und Wagen einführten, taten das nicht nur, um den Transport zu erleichtern, sondern vor allem, weil sich der Wagen zum Statussymbol erheben ließ, einschließlich der Zugtiere, die sogar eigene Begräbnisse erhielten. Völlig fremd sind solche Status-Motive allerdings auch uns Heutigen nicht, wie die erst kurze Geschichte des Automobils zeigt. WOLFGANG KRISCHKE

## Bouvard und Pécuchet

„Da man ihnen den Vorwurf der Praxisferne machte und sie zudem beschuldigte, zur Nivellierung und zum Immoralismus anzuleiten, entwickelten sie den folgenden Dreistufenplan. Ersatz des Familiennamens durch eine Matrikelnummer. Hierarchische Gliederung aller Franzosen – und zur Aufrechterhaltung seines Ranges habe jedermann von Zeit zu Zeit ein Examen abzulegen. Keine Strafen, keine Belohnungen mehr, aber in allen Dörfern eine genaue Chronik der individuellen Lebensläufe, die der Nachwelt überliefert werden sollte. Man verabscheute ihr System.“ Aus Gustav Flaubert: Bouvard und Pécuchet. Übersetzt von Hans-Horst Henschen. Frankfurt/M. 2003, S. 402.

## Kleine, aber messbare Fortschritte

Eine Studie berechnet den Einfluss der Exzellenzinitiative auf die Spitzenforschung

Die Exzellenzinitiative der deutschen Wissenschaftspolitik war von Beginn an von einer intensiven öffentlichen Debatte begleitet. Im Zuge der anstehenden Verlängerung der Initiative hat sich diese Auseinandersetzung in den vergangenen Monaten nochmals verstärkt – auch in dieser Zeitung. Kritiker wie Befürworter können sich dabei bereits auf eine Vielzahl erster Bilanzierungsversuche stützen. Dabei fällt auf, dass bislang allerdings keine detaillierte Analyse des tatsächlichen wissenschaftlichen Outputs der Initiative durchgeführt wurde. Diese Lücke ist jetzt geschlossen worden.

Die Wissenschaftssoziologen Stefan Hornbostel und Torger Möller vom Berliner Institut für Forschungsinformation und Qualitätssicherung (iFQ) haben dazu eine erste bibliometrische Wirkungsanalyse der Initiative vorgelegt (*Die Exzellenzinitiative und das deutsche Wissenschaftssystem. Eine bibliometrische Wirkungsanalyse, hg. von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, Berlin 2015*). Sie präsentieren darin gewissermaßen eine vorläufige Rechnung und fragen, was die Initiative qualitativ eigentlich gebracht hat. Hat sie ihre Ziele erreicht, also die Steigerung des weltweiten Anteils wissenschaftlicher Spitzenpublikation aus Deutschland? Denn das war und ist ja die Absicht der Exzellenzinitiative, zur „Ver-

besserung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit des Wissenschaftsstandortes Deutschland“ beizutragen.

Zunächst stellen Hornbostel und Möller fest, dass die Exzellenzinitiative dazu beigetragen hat, den Abbau von Personal und Ausgaben für die universitäre Forschung zu stoppen und leicht ins Positive zu wenden. Dies sei ein grundsätzlich positiver Effekt, auch wenn die dadurch gewachsene Drittittelabhängigkeit der universitären Forschung heftig kritisiert wird. Dennoch sind Ausgaben, Personal und Publikationen insgesamt gewachsen. Die methodische Herausforderung liegt allerdings darin, in diesem Wachstum die tatsächlichen Qualitätsfortschritte der deutschen Forschung auszumachen. Und innerhalb dieser auch noch die Fortschritte zu bestimmen, die sich ausschließlich Mitteln der Exzellenzinitiative verdanken.

Das geht nicht ohne Einschränkungen. Hornbostel und Möller konzentrieren sich für ihre Analyse auf die Publikationen der Exzellenzcluster, und zwar für einen Zeitraum vor der Förderung (2003–2006) und einen während der Förderung (2008–2011). Die Datengrundlage bildet die bibliometrische Web of Science-Datenbank. Die Geistes- und Sozialwissenschaften wurden wegen der geringen Zahl ihrer Publikationen in dieser Datenbank erst gar nicht berücksichtigt.

Was übrig bleibt, sind die Veröffentlichungen von 31 Exzellenzclustern aus den Lebens-, Ingenieur- und Naturwissenschaften. Haben diese Einrichtungen tatsächlich Spitzenforschung produziert?

Um diese Frage zu beantworten, konzentrieren sich die Autoren auf jene Publikationen, die in ihrem jeweiligen Fachgebiet zu den zehn Prozent der weltweit meistzitierten Aufsätze gehören. Man darf unterstellen, dass sich hierin ein belastbarer Respekt für echte wissenschaftliche Leistungen ausdrückt und nicht etwa nur die Referenz für das Label „deutscher Exzellenzwettbewerbsieger“.

Es gilt zunächst anzuerkennen, dass Deutschland im Beobachtungszeitraum die absolute Zahl der Publikationen in den besagten Fächern steigern konnte. Und auch der Anteil an den weltweit meistzitierten Publikationen ist in dieser Zeit von immerhin 13,4 auf 14,4 Prozent gewachsen. Das ist nicht gerade gewaltig.

Und trotzdem sank gleichzeitig der Anteil der deutschen Veröffentlichungen an allen weltweit meistzitierten Publikationen. Schuld an dieser Entwicklung sei der enorme Anstieg der Publikationen aus China. Das ist zwar nicht nur das Problem Deutschlands, auch die Vereinigten Staaten, Japan, Frankreich und Großbritannien stehen hier unter Druck. Aber kann der nationale Anstieg vielzitierten deutscher Publikationen als Effekt der Exzellenzinitiative identifiziert werden?

Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass sich tatsächlich mehr als die Hälfte des Anstiegs den Publikationen aus den Exzellenz-Clustern verdankt. Diese wiederum weisen die höchsten Anteile von hochzitierten Veröffentlichungen auf: 26 Prozent. Im Vergleich: Der Durchschnitt des gesamten deutschen Universitätssektors liegt hier bei 14 Prozent. Gegenüber der deutlichen Steigerung an Leistungsfähigkeit der Cluster-Universitäten fällt die Gruppe der nicht von der Initiative geförderten Universitäten also deutlich ab.

Bemerkenswert ist aber auch, welche Auswirkungen die Initiative auf die nicht-universitäre Forschung hatte. Die Analysen zeigen nämlich, dass die außeruniversitären Forschungsorganisationen in ganz besonderem Maße von der Exzellenzinitiative profitiert haben. Was überrascht, schließlich sei sie trotz ihrer Kooperationsziele ein primär universitäres Förderprogramm. So entstanden rund ein Drittel aller Publikationen von Forschern der Max Planck-Institute gemeinsam mit Koautoren aus der universitären Forschung. Insbesondere die MPG konnte so ihren Anteil an herausragenden Publikationen maßgeblich durch eine enge Kooperation mit den Exzellenzclustern steigern. Die Helmholtzgesellschaft konnte im Beobachtungszeitraum ihren Anteil von meistzitierten Veröffentlichungen an ihrer Gesamtpublikations-