

Am anderen Ende der Endlosschleife

Alan Turing: Mathematikgenie und Ideenkatalysator

Können Maschinen denken? Könnte eine Maschine Emotionen haben, sich verlieben, frustriert sein und sich am Ende sogar selbst zerstören? Solche Fragen beschäftigten den britischen Mathematiker Alan Mathison Turing, seit er 1933 in Cambridge mit seinem Studium begann. Am 23. Juni wäre er 90 Jahre alt geworden. Die ETH Lausanne organisierte ein Seminar, das prominente Forscher, die sich von Turing inspirieren liessen, zusammenbrachte.

Am Anfang stand die Idee einer Maschine, die anhand wohl definierter Regeln von einem Zustand zum nächsten springen und so je nach Ausstattung eine bestimmte Aufgabe erledigen könnte: Schach spielen, mathematische Wahrheiten produzieren, Poesie schreiben usw. Später zeigte Turing, dass ein sehr komplexer Apparat dieses Typs, die sogenannte «universale» Turing-Maschine, sogar imstande wäre, die Rolle jeder anderen Turing-Maschine zu übernehmen – dazu müsste man ihr lediglich die entsprechende Codenummer eingeben.

Unerfüllbarer Traum

Doch die ursprüngliche Aussicht, die Welt durch eine solche Mechanisierung vollständig in den Griff zu bekommen, erwies sich schon bald als unerfüllbarer Traum. Und das kam so: 1931 hatte der österreichische Logiker Kurt Gödel mit einem intellektuellen Geniestreich bewiesen, dass es selbst in der Mathematik, der Königsdisziplin der exakten Wissenschaften, Aussagen gibt, die man mit den ureigenen Methoden der Mathematik weder beweisen noch widerlegen kann. Diese unentscheidbaren Aussagen basieren auf Paradoxien der Logik, die schon den Griechen Kopfzerbrechen bereitet hatten; ein typisches Beispiel dafür ist der Satz «Ich lüge».

Turing nahm Gödels Gedankengänge auf und kam zum Schluss, dass selbst eine universelle Turing-Maschine nie imstande sein würde, die unentscheidbaren Aussagen zu erkennen. Mit andern Worten: Nicht einmal die streng aufgebaute Mathematik lässt sich vollständig mechanisieren – egal, wie raffiniert die dabei verwendete Maschine auch sei.

Menschen intelligenter als Maschinen?

Der naheliegende – und vielen Leuten sicher willkommene – Gedanke, diese Unzulänglichkeit der Maschinen zeige die Überlegenheit des

menschlichen Denkens, erweist sich allerdings als Trugschluss: Wendet man nämlich Turings Beweisführung auf den Menschen an, so kommt man zum genau gleichen Resultat.

Douglas Hofstadter nennt dafür als erläuterndes Beispiel die folgende Ja-Nein-Frage: «Wenden Sie auf diese spezielle Frage mit «Nein» antworten?» Der blosser Versuch, die Frage mit «Ja» oder «Nein» zu beantworten, führt sofort in eine endlose, nicht auflösbare Schleife – egal, ob er von einer Turing-Maschine oder einem Menschen durchgeführt wird.

Diese Tatsache bringt Hofstadter auf einen gewagten Gedanken: «Turings Beobachtung, dass Maschinen in endlose Schleifen übergehen, wenn sie versuchen, ihr eigenes Verhalten vorherzusagen, lässt vermuten, dass eine hinreichend komplexe Maschine vielleicht ebenfalls unter dem scheinbar unvermeidlichen Wahn des Menschen leiden könnte: nämlich zu glauben, dass er einen freien Willen habe und fähig sei, nach Belieben Entscheidungen zu treffen und physikalische Grenzen zu überschreiten.»

Wäre Alan Turing mit dieser These einverstanden gewesen? Hofstadter ist überzeugt davon: «Turings Traum war es immer, sich den Geheimnissen des Bewusstseins auf mechanischem Weg zu nähern. Spätestens Ende der dreissiger Jahre glaubte er wahrscheinlich auch, dass eine Maschine Intelligenz, Bewusstsein und freien Willen haben könnte – wenigstens so weit, wie es dem Menschen oder jedem andern physikalischen Objekt gegeben ist.»

Verschmähter Vordenker

Turings Karriere als mathematischer Logiker wurde durch den Zweiten Weltkrieg unterbrochen – er wurde jetzt vom britischen Geheimdienst gebraucht, um den Code zu knacken, mit dem die deutsche Wehrmacht ihre Nachrichten verschlüsselte. In all den Jahren als Codeknacker konnte Turing reichlich Erfahrung sammeln im Umgang mit elektromechanischen und elektronischen Apparaten, und so waren seine Ideen, wie Maschinen das menschliche Denken nachahmen könnten, nach dem Krieg ziemlich konkret und ausgereift.

Doch Turing fehlte das Geld, um die Vision zu verwirklichen. Und daran war er gemäss Douglas Hofstadter nicht ganz unschuldig: «Seine Tendenz, in Gesprächen kurzfristige praktische Ziele mit langfristigen philosophischen zu vermischen, und sein kauziges Verhalten schreckten potenzielle Geldgeber ab.» Schliesslich wollten nicht mal mehr Fachkollegen auf ihn hören. Zwar wurde Ende der vierziger Jahre an der Universität

Manchester ein Computer gebaut, aber nicht nach den Richtlinien, die Turing vorgeschlagen hatte.

So wandte er sich denn eben vermehrt philosophischen Problemen zu. Ein Resultat dieser Anstrengungen ist seine Publikation über «Maschinelle Rechner und Intelligenz» (1950), mit der er den sogenannten «Turing-Test» vorstellte: Eine Maschine gilt dann als intelligent, wenn ein menschlicher Tester auf schriftlichem Weg nicht feststellen kann, dass er mit einem Apparat statt mit einer Person kommuniziert. Ein solches Imitationsspiel schien Turing, der Maschinenintelligenz für möglich hielt, weit unverfänglicher und überzeugender zu sein als noch so kluge Antworten auf emotionsgeladene Fragen wie «Kann eine Maschine denken?».

Mysteriöses Orakel

Ein Störfaktor waren allerdings nach wie vor die oben erwähnten unentscheidbaren Aussagen im formalen System der Mathematik, die Mensch wie Turing-Maschine endlos ins Rotieren bringen. Als Ausweg hatte Turing 1938 eine Erweiterung mit der Bezeichnung «Orakel» vorgeschlagen. Damit, so seine Idee, sollte sich bei Bedarf jede endlos rotierende Turing-Maschine stoppen und zum Ausspucken eines Resultates bewegen lassen. Turings Orakel war sozusagen das Pendant zur Intuition eines begabten Mathematikers, der damit selbst bei formal unbeweisbaren Aussagen die Wahrheit erkennt.

Die entscheidende Eigenschaft eines solchen Orakels ist, dass es nichtmechanische Schritte ausführt – «es kann kein Teil einer Maschine sein», schrieb Turing und liess es mit dieser reichlich schwammigen Charakterisierung bewenden. Eine physikalische Interpretation sucht man in seinen Schriften ebenso vergeblich wie einen Bezug seines Orakels zum menschlichen Gehirn. Dabei wäre die Frage durchaus erlaubt, was sich denn Turings Ansicht nach in einem Moment der Intuition im Gehirn abspielt.

Abenteuerliche Spekulationen

In der Fachwelt hat Turings Orakel gehörig für Aufruhr gesorgt. Die grosse Verlockung, in jenes Gebiet vorzustossen, das den Turing-Maschinen verschlossen bleibt, hat zu teilweise abenteuerlichen Spekulationen geführt.

Der britische Philosoph Jack Copeland zum Beispiel – er reiste für die Konferenz eigens aus Neuseeland nach Lausanne – sieht das Orakel als Komponente einer neuen Art von Maschine, die mächtiger ist als eine Turing-Maschine. Zusammen mit seiner Kollegin Diane Proudfoot machte er in der amerikanischen Wissenschaftszeitschrift

«Scientific American» (April 1999) auch einen konkreten Vorschlag, wie diese Erweiterung funktionieren könnte: Indem man die Kapazität eines elektrischen Kondensators unendlich genau messe. Wenn die dabei festgestellte Quantität eine unberechenbare Zahl sei, könne diese als Orakel gebraucht werden.

«Erst hielt ich das für einen Aprilscherz», sagte der von der Universität Oxford angereiste Mathematikprofessor und Turing-Biograph Andrew Hodges, «aber Copeland und Proudfoot meinten es wirklich ernst!» Dann legte Hodges den «ausgekochten Unsinn» offen: «Selbst wenn eine unendlich genaue Messung möglich und das Resultat eine unberechenbare Zahl wäre, könnte man diese durch eine berechenbare Zahl beliebig genau annähern. Und dies wäre erneut ein mechanistischer Zugang – also genau das, was Turing explizit ausgeschlossen hat.»

Andere Forscher wiederum suchten die Lösung bei neuronalen Netzwerken, die analog statt digital arbeiten (zum Beispiel Hava Siegelmann in ihrem Buch «Neural Networks and Analog Computation – Beyond the Turing Limit»), oder in der Quantentheorie, wo der Zufall eine Rolle spielt. «Alles vergeblich», sagt Douglas Hofstadter, «neuronale Netzwerke sind nichts anderes als eine andere Art und Weise, ein Computerprogramm zu organisieren. Das Prinzip ist einfach, dass Neuronen untereinander Signale austauschen. Diese Vorgänge lassen sich aber auch mit einem ganz normalen Programm beschreiben!»

Wir müssen uns bescheiden

Und wenn man ein Zufallselement ins Spiel bringt – wäre das allenfalls eine Möglichkeit, um die Grenzen eines normalen Programms zu überschreiten? Auch hier winkt Hofstadter ab: «Da werden falsche Hoffnungen geweckt – Zufallselemente sind überhaupt nichts Aussergewöhnliches. Es gibt ja eine ganze Reihe von kalkulierbaren mathematischen Prozessen, die Zufallszahlen generieren – zum Beispiel jener, der die Ziffern der Kreiszahl Pi berechnet. Obschon diese nicht im strengen Sinne zufällig sind, steckt darin eben doch praktisch alles, was man von einer zufälligen Ziffernfolge erwarten kann.»

Heisst das, dass die erhoffte Grenzüberschreitung («Going beyond the Turing limit») gar nicht gelingen kann? «Genau so ist es», sagt der Professor der Kognitions- und Computerwissenschaft, «es gibt in der realen Welt kein Orakel im Sinne von Turing. Damit müssen wir uns einfach abfinden – genauso wie mit der Tatsache, dass Pi eine irrationale Zahl ist.»



Ein Mac genügt nicht

Dass uns das Unentscheidbare und Unberechenbare ein für allemal verschlossen bleibt, ist für Douglas Hofstadter auch kein Grund, um den Kopf hängen zu lassen: «Schliesslich bleibt uns die universelle Turing-Maschine, und die kann irgendetwas tun, was mit Denken zu tun hat.»

Und er präzisiert: «Im Prinzip ist Denken nichts anderes als Rechnen. Um das Gehirn getreu nachzuahmen, braucht man einfach eine genug grosse und leistungsfähige Struktur, die sehr rasch sehr viel rechnen kann.» In der Praxis, räumt Hofstadter ein, seien wir von einem solchen Universalcomputer aber noch weit entfernt: «Die Maschine müsste ebenso komplex sein wie unser Hirn. Ein Macintosh – selbst einer der übernächsten Generation – wird dafür sicher nicht genügen!»

Felix Weber