

Der Mann, der den Computer erfunden hat

Konrad Zuse hat mit dem ersten funktionstüchtigen, programmgesteuerten Allzweckrechner die Welt verändert. Heute sind Milliarden von Menschen von seiner Erfindung abhängig.

Jürgen Schmidhuber

Dieses Jahr feiern wir den 80. Geburtstag von Konrad Zuses krönender Errungenschaft, der Z3. Die Z3 war der weltweit erste funktionsfähige programmgesteuerte Allzweckrechner. Heute sind Computer allgegenwärtig, und Milliarden von Menschen hängen von ihnen ab. Zuse (1910–1995) schuf diese Errungenschaft, welche die Welt derart veränderte, zwischen 1935 und 1941; die entsprechende Patentanmeldung des «Vaters des Computers» stammt aus dem Jahr 1936. 1946 gründete er auch das erste Computer-Start-up: das Zuse Ingenieurbüro, Hopferau. IBM lieferte damals Wagniskapital für eine Option auf Zuses Patente.

Als wäre dies nicht genug, um Zuses Vermächtnis als Wegbereiter der Informatik zu zementieren, entwarf er in den frühen 1940er Jahren auch noch «Plankalkül», die erste höhere Programmiersprache. Populär ausgedrückt: zur Hardware die Software. 1945 wandte Zuse Plankalkül auf Schach an, 1948 aufs Beweisen von Theoremen. Im Jahr 1967 sodann stellte er «Zuse's These» auf: dass die Physik selbst berechenbar sei und dass eine Art zellulärer Automat die Evolution des Universums berechne.

Welche Rolle spielt die Z3 in der Geschichte der Informatik? Die Konstruktion von Automaten begann bereits in der Antike. Das Antikythera-Getriebe, eine astronomische Uhr, entstand vor über 2000 Jahren. Eineinhalb Jahrtausende später baute Peter Henlein immer noch konzeptionell ähnliche Maschinen – wenn auch kleiner: die ersten miniaturisierten Taschenuhren (1505). Aber diese Geräte berechneten immer das Gleiche. So teilten sie zum Beispiel die Zahl der Minuten durch 60, um die Zahl der Stunden zu erhalten.

Universell im modernen Sinne

Die 1600er Jahre brachten flexiblere Maschinen, die Antworten in Reaktion auf Eingabedaten berechneten. Wilhelm Schickard, Anwärter auf den Titel «Vater des automatischen Rechnens», baute 1623 die erste automatische, getriebebasierte, Daten verarbeitende Rechenmaschine für einfache



Wissenschaft und Philosophie: Ingenieur Zuse mit dem Z3.

Arithmetik, dann folgte Blaise Pascals überlegene Pascaline (1642).

Im Jahr 1673 konstruierte Gottfried Wilhelm Leibniz die erste Maschine, die alle vier Grundrechenarten ausführen konnte (den sogenannten Schrittzähler), und auch die erste mit internem Speicher. 1686 schuf Leibniz seine formale Algebra des Denkens, welche aus deduktiver Sicht der viel späteren Booleschen Algebra von 1847 äquivalent ist. Leibniz als «Vater der Informatik» wurde oft als «erster Computerwissenschaftler» bezeichnet und sogar als «klügster Mann, der je gelebt hat». Er war nicht nur der Erste, der die Integralrechnung veröffentlichte, sondern er verfolgte auch das überaus ehrgeizige Projekt der Klärung aller möglichen Fragen durch Rechnen (characteristica universalis und calculus ratiocinator).

In den frühen 1930er Jahren versetzte Kurt Gödel dem leibnizschen Projekt der universellen Fragenbeantworter allerdings einen Schlag. Mit seiner universellen Sprache zur Kodierung beliebiger formalisierbarer Pro-

zesse (1931–34) zeigte er, dass es fundamentale Beschränkungen dessen gibt, was entscheidbar oder berechenbar ist. Seine bahnbrechende Arbeit von 1931 legte die Grundlagen der modernen theoretischen Informatik und der Theorie der künstlichen Intelligenz (KI).

Der pragmatische Konrad Zuse interessierte sich offenbar nicht besonders für derartige theoretische Arbeiten. Im Jahr 1936, fünf Jahre nach Gödels berühmter Veröffentlichung, reichte er seine Patentanmeldung für einen höchst praktischen realen Rechner an. Sie beschreibt digitale Schaltungen, die für programmierbare physikalische Hardware erforderlich sind, basierend auf den leibnizschen Prinzipien binärer Computer, die durch Lochkarten gesteuert werden. Die Anmeldung geht auch Claude Shannons 1937er Arbeit zum digitalen Schaltungsentwurf voraus.

Zuses Z3 fehlte zwar die bei Programmierern beliebte explizite bedingte Sprunganweisung «IF ... THEN GOTO ADDRESS ...». Sie wurde später mit geringem Aufwand hinzugefügt bei einer Variante namens Z4 für die ETH

Zürich. Dies hinderte die Z3 natürlich nicht daran, ein Universalrechner zu sein. Einfache arithmetische Tricks (z. B. Multiplikation mit 0) lassen sich verwenden, um vorübergehend aus jeder Anweisung, die nicht ausgeführt werden soll, weil eine Bedingung nicht erfüllt ist, eine Leerinstruktion zu machen. Ignoriert man die unvermeidlichen Speicherbeschränkungen eines jeden realen Computers, war die physikalische Hardware der Z3 tatsächlich universell im modernen Sinne der rein theoretischen, unpraktikablen Konstrukte von Gödel (1931–34), Alonzo Church (1935), Alan Turing (1936) und Emil Post (1936) – die übrigens auch nicht zu «modernen» bedingten Sprüngen fähig waren; sie hatten ja nicht einmal nummerierte Speicheradressen, zu denen ein Befehlszähler hätte springen können.

Wo stand Zuse mit Blick auf die Schaltungstechnik? Die Z3 verwendete sichtbar bewegliche Schalter: elektromagnetische Relais. Die erste elektronische Spezialrechenmaschine, mit unsichtbaren Elektronen als bewegte Teile, war der binäre ABC (USA, 1942) des bulgarischstämmigen John Atanasoff, des «Vaters des röhrenbasierten Rechnens». Im Gegensatz zu den getriebebasierten Maschinen der 1600er verwendete der ABC Vakuumröhren – heutige Maschinen beruhen auf dem von Julius E. Lilienfeld 1925 patentierten Transistorprinzip. Doch im Gegensatz zu Zuses Z3 war der ABC nicht frei programmierbar. Ebenso wenig traf das zu für Tommy Flowers' elektronische Colossus-Maschine (Grossbritannien, 1943–45), die zum Knacken des Nazicodes verwendet wurde.

Dampfgetriebene Flöte

Das grundlegende Konzept der Programme war zu diesem Zeitpunkt allerdings längst bekannt. Die vielleicht erste praktische programmierbare Maschine war im 1. Jahrhundert ein automatisches Theater von Heron von Alexandria, der anscheinend auch die erste bekannte funktionierende Dampfmaschine baute – die Aeolipile. Die Energiequelle seines programmierbaren Automaten bestand aus einem Fallgewicht, das eine Schnur zog, die um die Stifte eines drehbaren Zylinders gewickelt war. Komplexe Befehlssequenzen zur Steuerung von Türen und Puppen über mehrere Minuten hinweg wurden durch komplexe Umwicklungen kodiert. Der aus dem 9. Jahrhundert stammende Musikautomat der Brüder Banu Musa in Bagdad war vielleicht die erste Maschine mit gespeichertem Programm. Stifte auf einem rotierenden Zylinder stellten Anweisungen für eine dampfgetriebene Flöte dar.

Die ersten kommerziellen programmgesteuerten Maschinen waren Lochkartenbasierte Webstühle, sie entstanden in Frankreich um 1800 durch Joseph-Marie Jacquard und andere – vielleicht die ersten «modernen» Programmierer, welche die erste indus-

trielle Software der Welt schrieben. Sie inspirierten Ada Lovelace und ihren Mentor Charles Babbage (Grossbritannien, um 1840). Er plante vergeblich, einen programmierbaren Universalrechner zu bauen; nur seine nicht-universelle Spezialrechenmaschine führte zu einem funktionierenden Nachbau im 20. Jahrhundert. Im Gegensatz zu Babbage verwendete Zuse das leibnizsche Binärrechnerprinzip anstelle der traditionellen dezimalen Arithmetik. Dies vereinfachte die Hardware sehr. Heute sind die meisten Computer binär wie die Z3.

In diesem Zusammenhang erscheint es angebracht, auf den Unterschied zwischen Programmen und den oben erwähnten begrenzteren benutzerdefinierten Eingabedaten des 17. Jahrhunderts hinzuweisen. Program-

Was einst in den Köpfen von Titanen lebte, wurde zum unverzichtbaren Teil der modernen Gesellschaft.

me sind auf einem Medium (z. B. Lochkarten) gespeicherte Befehlssequenzen. Sie lassen sich immer wieder ausführen, ohne dass ein Mensch eingreifen muss. Die zum Speichern benötigten physikalischen Objekte wurden im Lauf der Jahrhunderte leichter. Antike Maschinen speicherten Programme auf rotierenden Zylindern; Jacquard speicherte sie auf Pappe; Zuse speicherte sie auf 35-mm-Film; heute speichern wir sie oft mit Hilfe von Elektronen und magnetisierbarem Material.

Der erste funktionstüchtige Allzweckrechner, der nicht von Zuse selbst (1941) stammte, war Howard Aikens dezimaler Mark I (USA, 1944). Danach folgte J. Presper Eckerts und John Mauchlys wesentlich schnellerer dezimaler Eniac (1945/46), der durch Umverkabelung programmiert wurde. Sowohl Daten als auch Programme liessen sich ablegen im elektronischen Speicher des Manchester Baby (Frederic Williams, Tom Kilburn und Geoff Tootill, Grossbritannien, 1948) und der Eniac-Aufrüstung von 1948, welche durch Eingabe numerischer Befehlscodes in den Festspeicher umprogrammiert wurde. Bereits im Zeitraum 1936–1938 dürfte Zuse jedoch als Erster vorgeschlagen haben, so-

wohl Programmanweisungen als auch Daten im Speicher abzulegen.

Ein Blick auf die Geschwindigkeit: Damals – 1941 – konnte Zuses Z3 ungefähr eine Elementaroperation (z. B. eine Addition) pro Sekunde ausführen. Seither wurde Rechenleistung alle fünf Jahre zehnmal billiger. Man beachte, dass dieses Gesetz viel älter ist als das bekannte mooresche Gesetz der 1960er, das besagt, dass sich die Anzahl Transistoren pro Mikrochip alle achtzehn Monate verdoppelt. Heute, achtzig Jahre nach der Z3, führen moderne Computer etwa 10 Millionen Milliarden Befehle pro Sekunde zum gleichen (inflationbereinigten) Preis aus. Die naive Extrapolation dieses exponentiellen Trends sagt voraus, dass es noch im 21. Jahrhundert billige Rechner mit dem Tausendfachen der rohen Rechenleistung aller menschlichen Gehirne zusammengekommen geben wird.

In den Köpfen der Titanen

Schon 1970, lange bevor Rechner allgegenwärtig waren, zählte Arno Peters' renommierter «Atlas der Weltgeschichte» Zuse zu den dreissig wichtigsten Persönlichkeiten des 20. Jahrhunderts, zusammen mit Einstein, Gandhi, Hitler, Lenin, Roosevelt, Mao, Picasso et cetera. Zuses historische Bedeutung hat sich mit dem exponentiellen Wachstum der Computertechnik seither nur weiter vergrössert. Bereits zur Jahrtausendwende trugen mehr als achtzig Strassen und Plätze seinen Namen. Eine Sammlung seiner Schriften samt Bildern seiner Maschinen findet sich im Konrad Zuse Internet Archive.

Im Jahr 2021 feiern wir nicht nur den 80. Jahrestag von Zuses Rechner, sondern auch den 90. Jahrestag von Kurt Gödels bahnbrechender Arbeit von 1931, welche die Grundlagen der theoretischen Informatik und der KI-Theorie legte. Gödel identifizierte die fundamentalen Grenzen des Theorembeweisens, des Rechnens, der KI, der Logik und der Mathematik selbst. Dies hatte enormen Einfluss auf Wissenschaft und Philosophie des 20. Jahrhunderts. Es scheint kaum glaubhaft, dass binnen nicht mal eines Jahrhunderts etwas, das einst nur in den Köpfen solcher Titanen lebte, zu einem unverzichtbaren Teil der modernen Gesellschaft geworden ist. Die Welt schuldet diesen Wissenschaftlern viel. Noch zehn Jahre bis zur Gödel-Hundert-Jahr-Feier 2031, zwanzig Jahre bis zur Zuse-Hundert-Jahr-Feier 2041, und ein Vierteljahrhundert bis zur vierten Leibniz-Hundert-Jahr-Feier, 2046. Genug Zeit, um entsprechende Paraden zu planen.

Jürgen Schmidhuber ist Professor an der Universität Lugano, wissenschaftlicher Direktor des Forschungsinstituts für Künstliche Intelligenz (IDSIA) in Lugano sowie Mitgründer und Chefwissenschaftler der Firma NNAISENSE. Text mit allen Referenzen auf: <https://people.idsia.ch/~juergen/zuse-1941-erster-computer.html>

