

Konrad Zuses Rechenmaschine: sechzig Jahre Computergeschichte (Auszug aus Spektrum der Wissenschaft, Mai 1997)

Die Computer Z1 und Z3, die Konrad Zuse zwischen 1936 und 1941 gebaut hat, bestehen noch heute durch ihre Eleganz. Beide hatten denselben logischen Aufbau; sie waren die ersten vollautomatischen, programmgesteuerten Rechner der Welt.

Dr. Raúl Rojas

Bis heute ist heftig umstritten, wann und wo das erste Gerät in Betrieb ging, das den Namen Computer verdient. In den USA sprach man 1995 mancherorts von einem runden Jubiläum, weil fünfzig Jahre zuvor der ENIAC (Electronical Numerical Integrator and Computer) an der Universität von Pennsylvania in Philadelphia offiziell eingeweiht worden war. Dieser schnellste Rechner seiner Zeit war für die Presse jahrelang der Inbegriff des ersten Computers der Welt. Die Arbeiten anderer Forscher wie John Atanasoff (1939 bis 1955) in den USA oder Konrad Zuse (1936 bis 1941) in Deutschland wurden dagegen weithin ignoriert.

In diesem Artikel möchte ich näher auf den Aufbau seiner Maschinen eingehen. Vor allem will ich zeigen, daß die Struktur zweier seiner Rechner, der Z1 und der Z3, sehr modern im heutigen Sinne war. Wesentliche Quelle ist Zuses Patentanmeldung für die Z3 von 1941. Expert:innen erkennen darin viele Konzepte und Strukturen, die in Computer-Architekturen mittlerweile fast selbstverständlich geworden sind, insbesondere die Trennung von Prozessor und Speicher.

Es kann nur erstaunen, daß Zuse dies alles bereits 1936 im Ansatz erdacht hatte. In jenem Jahr wurde der mechanische Speicher seines ersten Rechners fertig. Im gleichen Jahr stellte der britische Mathematiker Alan M. Turing (1912 bis 1954) den ersten Entwurf eines bahnbrechenden Aufsatzes fertig. Darin machte er den intuitiven Begriff der Berechenbarkeit von Zahlen mit Hilfe einer fiktiven Maschine handhabbar: Nur was mit ihrer Hilfe berechnet werden kann, gilt als überhaupt berechenbar. Eine solche Turing-Maschine besteht aus einem unendlichen Speicher und einem kleinen Prozessor, der lediglich einfachste Umwandlungen von Nullen und Einsen vollführen kann. Turing gelang es zu zeigen, daß eine so primitive Maschine gleichwohl als Universalrechner arbeiten kann. Der Speicher sollte dafür zwei Arten von Angaben enthalten: die Daten des zu lösenden Problems und das, was man inzwischen das Programm nennen würde. Im Jahre 1936 ist demnach zwar nicht der Computer im heutigen Sinne des Wortes entstanden, wohl aber dessen Konzept.

Zuse war kein Mathematiker und hatte sich mit dem Berechenbarkeits-Begriff in seiner mathematischen Fassung nie auseinandergesetzt; erst viel später lernte er Turing's Arbeiten kennen. Aus der Praxis kommend, suchte er eher eine Möglichkeit, lange Ketten langweiliger Rechenschritte vollständig zu automatisieren. Dank seiner Ausbildung als Bauingenieur sowie seiner Fähigkeit, komplexe Systeme aus einfachsten Teilen herzustellen, kam er sehr früh auf die Idee eines programmierbaren Automaten. Sein erster Versuch war die Z1 (Abb. 1), ein praktisch vollständig mechanisches Gerät, das die vier arithmetischen Operationen Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division in beliebiger Reihenfolge und mit gespeicherten Zahlen ausführen sollte. Die Z1 wurde 1938 fertiggestellt. Bald erwies sich aber, daß die mechanischen Bauteile – bewegliche Bleche – nicht zuverlässig genug waren, so daß Zuse auf Relais-technik umstieg.

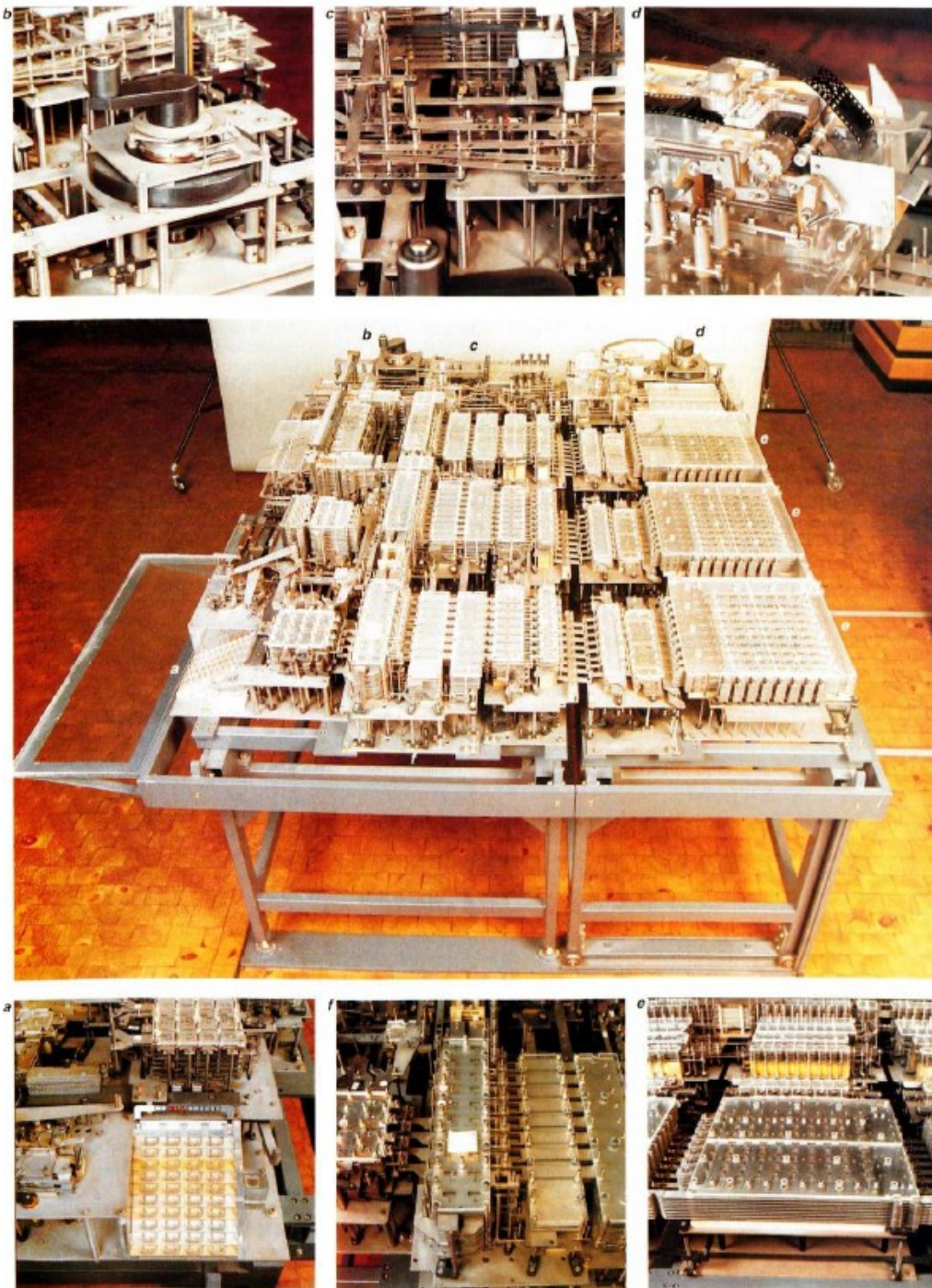


Abb. 1. Der mechanische Computer Z1 von Konrad Zuse (Details in Spektrum der Wissenschaft, Mai 1997).

Nach einigen Experimenten mit einer hybriden Maschine namens Z2 baute Zuse die Z3, die 1941 fertig und funktionsfähig war. Vom logischen Standpunkt aus war sie äquivalent zur Z1. Die numerischen Algorithmen und die Codierung der Zahlen waren dieselben – die Z3 war gleichsam eine zuverlässige Z1. In nur fünf Jahren hatte Zuse, gänzlich auf sich gestellt, seine Vision von 1936 realisiert. Diese Leistung ist um so erstaunlicher, wenn man bedenkt, daß der ENIAC und andere

Maschinen in den USA von Teams mit praktisch unbegrenzter Finanzierung entwickelt wurden. Die Originale beider Maschinen sind im Zweiten Weltkrieg verlorengegangen. Zuse hat später sowohl die Z3 (1966) als auch die Z1 (1987 bis 1989, mit fast achtzig Jahren) nachgebaut (Spektrum der Wissenschaft, Juni 1990, Seite 32). Beide Rekonstruktionen sind zur Zeit nur teilweise funktionsfähig; gleichwohl werde ich ihre Arbeitsweise im Präsens beschreiben: Die Idee ist unabhängig von der konkreten Realisierung.

Duale Gleitkomma-Notation

Mit einer ersten Grundsatzentscheidung nahm Zuse ein Prinzip heutiger Computer vorweg: Intern rechnen seine Maschinen im Zahlensystem zur Basis 2; in dieser Binärdarstellung (Zuse sprach vom Sekundalsystem) gibt es nur die Ziffern 0 und 1. Jedes Bauteil, das zwei wohl unterscheidbare Zustände annehmen kann, ist geeignet, eine Binärziffer darzustellen. Bei der Z1 sind es Bleche, die vor und zurück beweglich sind, bei der Z3 elektromechanische Relais – 600 für das Rechenwerk, 1400 für den Speicher (Abb. 2). Die Wahl der Basis 2, die uns inzwischen als so selbstverständlich erscheint, war damals keineswegs unangefochten. Die ungefähr zur gleichen Zeit in den USA entstandenen Rechner Mark I und ENIAC arbeiteten mit der Dezimaldarstellung. ENIAC war zwar vollelektronisch, verwendete jedoch jeweils eine Kette von 10 Vakuumröhren, um eine Dezimalziffer zu codieren; es wurde immer nur die zur aktuell gültigen Ziffer gehörige Röhre eingeschaltet. Für mechanische wie elektronische Elemente ist die Binärdarstellung jedoch um vieles einfacher. Zudem, argumentierte Zuse, sind in der Maschine die Zahlen "unter sich", und der Mensch braucht den einzelnen Berechnungsschritten nicht folgen zu können; es genügt, wenn das Resultat korrekt ist.

[...]

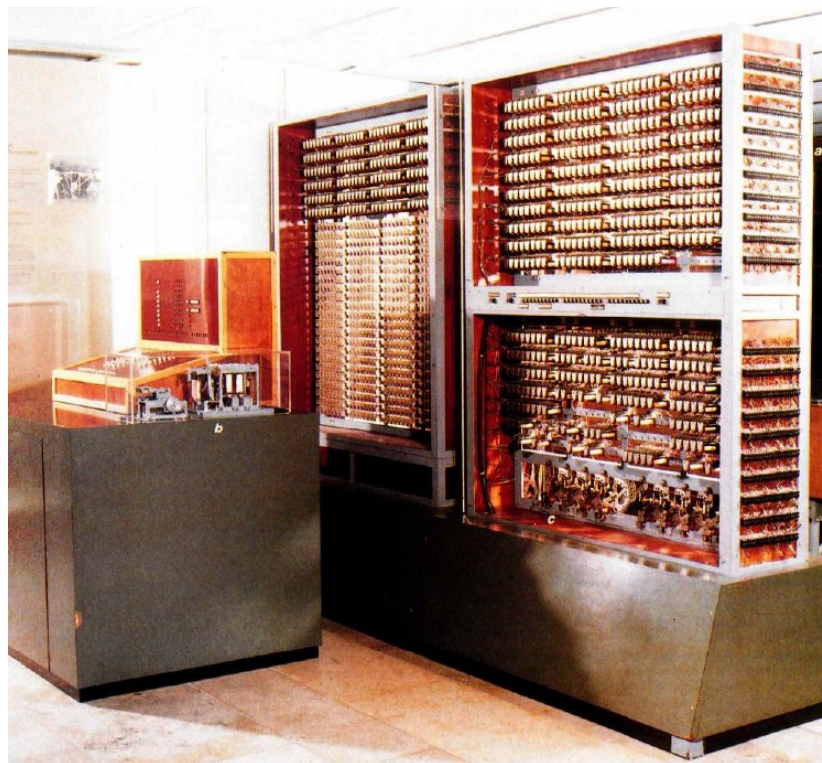


Abb. 2 Die Rechenmaschine Z3 ist aus Relais aufgebaut. Der linke Schrank enthält den Speicher, der rechte das Rechenwerks (Relais).

Zuse hat indes nicht nur das Binärsystem, sondern auch die Gleitkomma-Darstellung (floating point notation) für seine Maschinen verwendet. Ebenso wie die gewohnten Dezimalzahlen kann man binäre Zahlen mit Ziffern vor und nach dem Komma schreiben (→ Rechnerorganisation).

[...]

Vergleich mit anderen Rechnern

Ungefähr zur selben Zeit wie Zuse in Berlin bauten in den USA John Atanasoff am Iowa State College (der heutigen Universität des Bundesstaates Iowa) in Ames von 1938 bis 1942 den ABC (Atanasoff-Berry Computer), Howard Aiken an der Harvard-Universität in Cambridge (Massachusetts) von 1939 bis 1944 den Mark I sowie J. Presper Eckert und John W. Mauchly an der Universität von Pennsylvania von 1943 bis 1945 den ENIAC. Es ist interessant, die Eigenschaften der vier zu vergleichen. Ein wichtiges Merkmal heutiger Computer ist, wie erwähnt, die Trennung von Prozessor und Speicher. Bei Mark I und ENIAC war sie noch nicht vollzogen: Die Speicherzellen dienten zugleich als arithmetische Elemente; gemessen an ihrer Rechenleistung waren diese Maschinen darum viel zu komplex. Nur Z3 und ABC waren Binärmaschinen. Mark I und ENIAC benutzten eine Dezimalcodierung, obwohl sie intern teilweise mit binärer Arithmetik arbeiteten. Keine der Maschinen bot dem Programmierer einen bedingten Sprungbefehl – wesentliches Merkmal eines Universalrechners, weil man erst damit den Gang der Rechnung von Zwischenergebnissen abhängig machen kann. Der ENIAC konnte immerhin Schleifen abbrechen und den Kontrollfluß weiterleiten, aber dafür stand nur eine Kontrolleinheit zur Verfügung. Zuse hat Sprungbefehle erst in seinen späteren Rechnern eingeführt.

[...]

Die Erfindung des Computers

Der Erfolg hat bekanntlich viele Mütter und Väter, und im Falle des Computers kann man von einem langen Entwicklungsprozess bis zum heutigen Universalrechner sprechen. Seit der genialen Arbeit Turings bedurfte es vieler Ideen und Erfindungen. Dabei darf man auch Vorläufer wie Charles Babbage (1791 bis 1871) nicht vergessen, der mit seiner Analytischen Maschine bereits im 19. Jahrhundert als erster programmierbare Rechner zu entwerfen wagte (Spektrum der Wissenschaft, April 1993, Seite 78). In diesem Jahrhundert hat der ungarisch-amerikanische Mathematiker John von Neumann (1903 bis 1957) wesentlich dazu beigetragen, die konzeptionellen Grundlagen der Rechnerarchitektur abzusichern; obwohl er selbst keinen Computer baute, stand er an vorderster Stelle, wenn es darum ging, Berechenbarkeit theoretisch zu erfassen oder in die Praxis einzubringen.