

Horst Zuse

Der lange Weg zum Computer: Von Leibniz' Dyadik zu Zuses Z3

Für die Geschichte des Computers ist das Jahr 2016 ein ganz besonderes Jubiläumsjahr: Vor 75 Jahren, am 12. Mai 1941, stellte der Ingenieur Konrad Zuse (1910–1995) in der Methfesselstraße 7 in Berlin-Kreuzberg die Z3 vor – den ersten funktionsfähigen Computer der Welt. Damit setzte Konrad Zuse technisch (und in der Tat wesentlich umfassender konzipiert) das um, wofür knapp dreihundert Jahre zuvor Gottfried Wilhelm Leibniz (1641–1716) die ersten Denkanstöße gegeben hatte. Seit 1679 hatte Leibniz, der letzte große Universalgelehrte, dessen 370. Geburtstag und 300. Todestag wir 2016 ebenfalls feiern, die Idee einer auf dem dualen Zahlensystem basierenden „*Machina Arithmeticae Dyadicae*“ verfolgt und damit die theoretische Grundlage für die Konstruktion binärer Rechenmaschinen – den Vorläufern der heutigen Computer – geschaffen (Stein/Popp 2006: 63).

Wie Eberhard Knobloch im vorliegenden Band in seinem Beitrag über die Prioritätsstreitigkeiten zwischen Leibniz und Newton über den Ursprung der Differential- und Integralrechnung

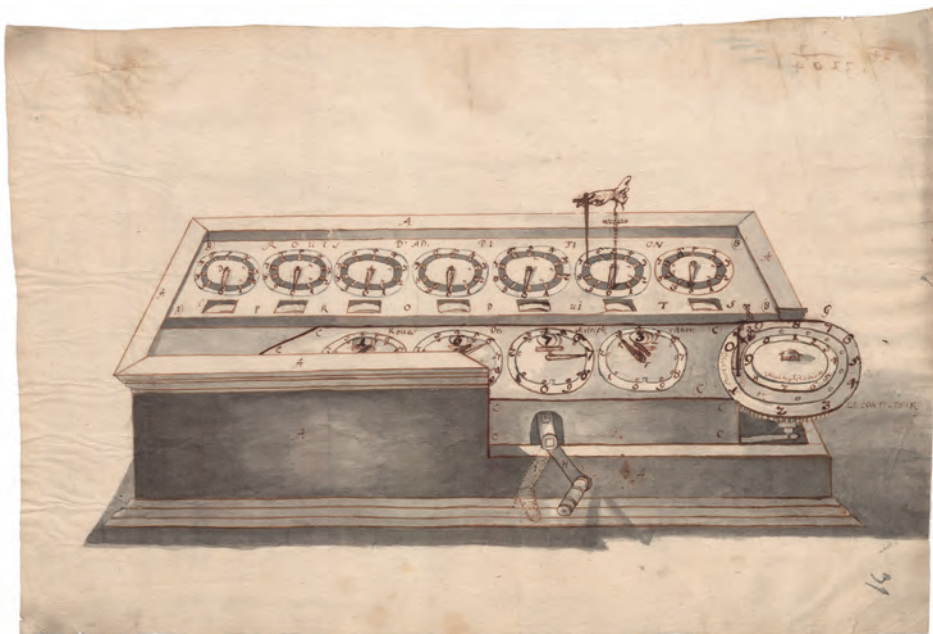


Abbildung 1. Zeichnung der Leibniz'schen „Lebendigen Rechenbanck“, 1673

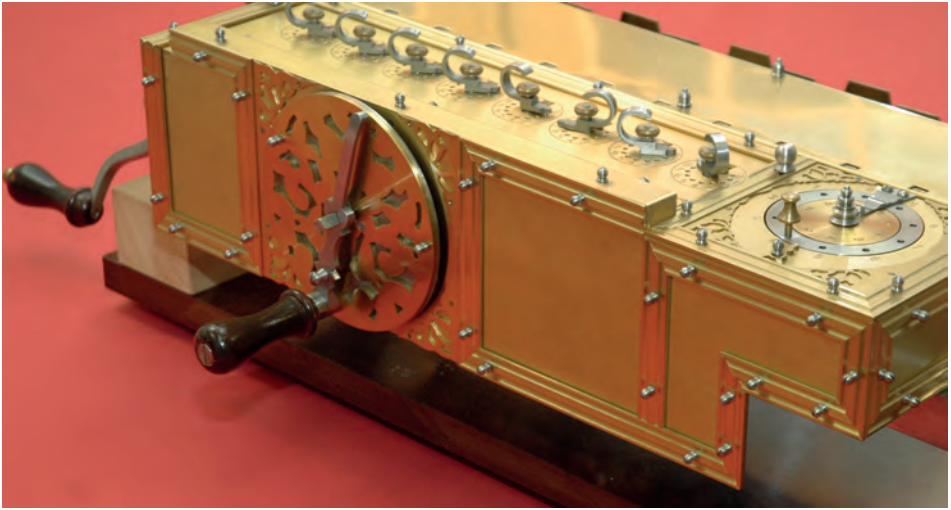


Abbildung 2. Nachbau der Leibniz'schen Rechenmaschine, 1988–1990, unter der Leitung von Nicolaus Joachim Lehmann konstruiert an der TH/TU Dresden im Auftrag der Akademie der Wissenschaften der DDR.

in den 1670er Jahren darlegt (Knobloch 2016), entstehen wissenschaftliche und technische Erfindungen oftmals parallel und nahezu unabhängig voneinander, d. h. ohne direkten Einfluss oder in Unkenntnis vorheriger oder gleichzeitig entwickelter ähnlicher Ideen. Dennoch arbeiten natürlich weder Leibniz noch Zuse im luftleeren Raum und beide müssen innerhalb der wissenschaftlichen und technologischen Diskurse ihrer Zeit betrachtet werden (Mackensen 2007: 86 ff.). So herrschte beispielsweise zu Leibniz' Zeit ein reges Interesse an der Erfindung von komplexeren Recheninstrumenten, die über die seit Antike und Mittelalter verwendeten Rechenbretter, -tücher, -steine, -scheiben, -stäbe und -schieber hinausgingen (Stein 2010: 110). Die durch John Napier erfundenen Logarithmen ermöglichten die Konstruktion der ersten Rechenmaschinen von Wilhelm Schickard (1592–1635) und Blaise Pascal (1623–1662); und ohne dass ein direkter Bezug zu seinen Vorgängern nachweisbar wäre, begann auch Leibniz 1671 mit der Entwicklung einer auf dem Dezimalsystem basierenden „Lebendige[n] Rechenbanck“, mit deren Hilfe „alle Zahlen sich selbst rechnen, addiren subtrahiren multipliciren dividieren [...]“ lassen sollten (zitiert nach Mackensen 2007: 91).

Wenn auch das Interesse an der Rechentechnologie während des 18. Jahrhunderts stetig zunahm, der eigentliche technologische Durchbruch und die serielle Herstellung von Rechenmaschinen erfolgten erst im Laufe des 19. Jahrhunderts insbesondere mit der Etablierung der Elektrotechnik (Mackensen 2007: 100). Dies trifft auf Konrad Zuse mit der Entwicklung der Z1 (1936–38) nur sehr bedingt zu. Die Z1 war eine komplett mechanische Lösung, nur ein Elektromotor (Staubsaugermotor) bewegte die mechanischen Teile. Für die Entwicklung der Z3 stellte dann auch im frühen 20. Jahrhundert die Elektrotechnik eine der grundlegenden Voraussetzungen für Konrad Zuses Entwicklung des Computers dar, der ohne elektrische Schaltmechanismen nicht denkbar gewesen wäre. Ähnlich wie Leibniz verfolgte auch der junge Zuse seine Ideen vorerst in

relativer Unabhängigkeit. So wurde er sich oftmals erst nach der Ausarbeitung eigener Gedanken über die historischen Vorreiter bewusst: dies galt sowohl für das Aussagenkalkül, als auch für die Boolesche Algebra und Babbages Ausführungen über den Bau von programmgesteuerten Rechengerten seit den 1830er Jahren (Zuse 1993: 42).

Zuse und Leibniz

Was Konrad Zuse mit Leibniz verband, war seine ausgeprägte Lust am Erfinden und das Bestreben, seine Erfindungen praktisch umzusetzen. Immerhin gab der fünfundzwanzigjährige Zuse 1935, kurz nach seinem Studienabschluss an der Technischen Hochschule Berlin, eine feste Anstellung bei den Henschel-Flugzeug-Werken auf, um sich „ganz dem Computer widmen“ zu können (1933: 30). Schon als Student hatte sich Zuse ganz im Sinne des Leibniz'schen Mottos „Theoria cum Praxi“ (vgl. Gethmann 2016) darum bemüht, theoretische Überlegungen an ihrer Anwendbarkeit zu orientieren und damit die Arbeits- und Lebensbedingungen der Menschen zu verbessern. Von Film, Theater und Dichtung angeregt und mit viel Phantasie ausgestattet, versuchte er Alltagsprobleme zu lösen, wie z. B. die Steuerung der Ampelschaltungen im Straßenverkehr zur Erzielung einer „grüne Welle“, die Mechanisierung der Fotoentwicklung, die Optimierung von Filmprojektionen im Kino sowie Kassen-, Wiege- und Verkaufsautomaten. Er beschäftigte sich sogar mit der Eroberung des Weltraums – überall begegnete dem jungen Zuse Verbesserungsbedarf (Zuse 1993: 14). In diesem Zusammenhang steht auch das Anliegen, das den Ingenieur auf den hürdenreichen aber schließlich erfolgreichen Wegen hin zu seinem selbsterklärten Lebensziel, dem Computer, stets begleitete: nämlich „systematische Schritte in Richtung einer Intelligenzverstärkung zu tun“ (1933: 31).



Abbildung 3. Konrad Zuse 1935 an seinem Schreibtisch in der Wrangelstraße 37 in Berlin-Kreuzberg

Dass sich Konrad Zuse ganz bewusst in eine Traditionslinie mit Leibniz stellte, macht er über die Jahre hinweg wiederholt deutlich. So schreibt er in seiner Autobiographie *Der Computer – Mein Lebenswerk* (1993), dass die Vorgeschichte des Computers im 17. Jahrhundert und zwar bei Leibniz anfangs, „der, neben Schickard und Pascal, einer der Pioniere des Rechenmaschinenbaus war, der das Zahlensystem mit der Basis 2 mathematisch entwickelte und der die ersten Ansätze einer symbolischen Logik schuf [...]“ (1933: 30). Zuse fand demnach bei Leibniz die drei Grundkomponenten des Computerbaus vor: die Technik der Rechenmaschine, das dyadische Zahlensystem und die daraus abgeleitete Aussagenlogik bzw. das Aussagenkalkül, wonach Aussagen allein nach dem dualen Prinzip „wahr“–„falsch“ hergeleitet werden. Bereits 1937 hatte Zuse die Wahl des Begriffs „Dyadik“ für sein Konzept der Bedingungskombinatorik explizit auf Leibniz zurückgeführt (Zuse 1937: 1).

Was auf den ersten Blick für Zuse weniger interessant gewesen zu sein scheint, ist die metaphysische Reichweite der Leibniz'schen Dyadik. So schreibt Leibniz 1697 in einem Brief an den Herzog von Braunschweig-Wolfenbüttel, Rudolf August, dass das duale Zahlensystem als „Imago Creationis“, d. h. als Sinnbild der christlichen Schöpfungslehre zu verstehen sei:

Wunderbarer Ursprung aller Zahlen aus 1 und 0, welcher ein schönes Vorbild des Geheimnisses der Schöpfung gibt, da alles aus Gott und sonst aus Nichts, entstehe: *Essentiae Rerum sunt sicut Numeri*.

Auf einem Entwurf für eine Medaille zu Ehren des Herzogs fasst er diese dyadische Verhältnismäßigkeit in folgendem Vers zusammen: „Omnibus ex nihilo ducendis sufficit unum“ [Um alles aus dem Nichts zu machen, genügt eins] (Stein 2010: 7–8; Breger 2004: 491).

Leibniz hielt diese großen philosophischen Entwürfe bekanntlich nicht davon ab, beständig nach konkreten Umsetzungen seiner theoretischen Überlegungen zu suchen. So beschrieb er 1679 in der zu seinen Lebzeiten unveröffentlichten Schrift *De Progressione Dyadica* (1679) die mögliche Konstruktion einer auf dem Dualsystem beruhenden Rechenmaschine:

Diese Art Kalkül könnte auch mit einer Maschine umgesetzt werden. [...] Eine Büchse soll so mit Löchern versehen sein, dass diese geöffnet und geschlossen werden können. Sie sei offen an den Stellen, die jeweils 1 entsprechen, und bleibe geschlossen an denen, die 0 entsprechen. Durch die offenen Stellen lasse sie kleine Würfel oder Kugeln in Rinnen fallen, durch die anderen nichts. Sie werde so bewegt und von Spalte zu Spalte verschoben, wie die Multiplikation es erfordert. Die Rinnen sollen die Spalten darstellen, und kein Kügelchen soll aus einer Rinne in eine andere gelangen können, es sei denn, nachdem die Maschine in Bewegung gesetzt ist. Dann fließen alle Kügelchen in die nächste Rinne, wobei immer eines weggenommen wird, welches im Loch bleibt, sofern es allein den Ausgang passieren will. Denn die Sache kann so eingerichtet werden, dass notwendig immer zwei zusammen herauskommen, sonst sollen sie nicht herauskommen. (zitiert nach Mackensen 2007, 98)

Für Leibniz' Zeit mutet dieses Konstruktionsprinzip fast futuristisch an, und es verwundert wenig, dass es zu seinen Lebzeiten nicht realisiert wurde. Die Schrift verschwand in den Archiven, wo sie erst 1968 von Ludolf von Mackensen entdeckt und aus dem Lateinischen übersetzt wurde. Dieser ließ 1971 auf Leibniz' Grundlage vom Deutschen Museum München eine 7/12/5-stellige binäre Rechenmaschine mit einem Kugelablaufmechanismus bauen. Ein zweites Modell wurde von Erwin Stein in den Jahren 2003 und 2005 konstruiert und gebaut.



Abbildung 4. Duale Rechenvorrichtung nach Gottfried Wilhelm Leibniz (Nachbildung gebaut von Rudolf von Mackensen, 1972)

Auch wenn Zuses binäre Rechenmaschine Z3 letztlich auf einer anderen technischen Implementation beruhte – nämlich auf einer elektrisch gesteuerten Schaltalgebra anstatt des Kugelablaufmechanismus, so liegt doch beiden die binäre Logik zugrunde. Zuse übersetzte das von Leibniz formulierte Dualitätsprinzip „1“–„0“ bzw. „ja“–„nein“, „wahr“ – „falsch“ oder eben „Kugel da“–„Kugel nicht da“ in das elektrische und später elektronische Schaltprinzip „an“–„aus“ (Stein/Kopp 2010: 14). Als Konrad Zuse 1936 diese Methodik auf seine zunächst noch mechanisch funktionierende Z1 anwandte, revolutionierte er die Rechenmaschinenteknik.

Die Zuse-Rechner Z1–Z4

Von 1936 bis 1945 entwickelte Konrad Zuse die Rechner Z1–Z4 und die beiden Sondergeräte S1 und S2. Während der Jahre 1936 bis 1938 entwickelte und baute Konrad Zuse in der elterlichen

Wohnung in der Wrangelstraße 37, Berlin-Kreuzberg, mit dem Z1 den ersten binären, digitalen Computer der Welt. Ein Nachbau dieses mechanischen Rechners ist seit 1989 im Deutschen Technikmuseum Berlin zu sehen. Zum Bau von damals üblichen elektrischen Rechenmaschinen, häufig auch automatische Rechner genannt, wurden Universalrechenwerke oder mehrere Spezialrechenwerke verwendet, die fast ausschließlich auf dem Dezimalsystem beruhten. Mit der Entwicklung einer „logistischen“, d. h. mit Ja-Nein-Werten operierenden, Rechenmaschine schaffte Zuse etwas technisch und konzeptionell vollkommen Neues (Wend 1963: 16 f). Die aus zwei Rechenwerken (Gleitkomma: Exponent und Mantisse) bestehende Maschine konnte weit mehr als Rechnen: Unter Anlehnung an das Aussagenkalkül ermöglicht die technische Umsetzung von logischen Operationen – wie z. B. Konjunktion, Disjunktion, Negation – dem Rechner, Entscheidungen zu treffen, und schafft damit die auch heute noch geltende Grundlage für elektronische Rechenmaschinen. Die ursprüngliche Z1 arbeitete jedoch nicht verlässlich. Ihre mechanischen Schaltglieder bestanden aus beweglichen Stiften und tausenden von beweglichen Metallplättchen, die mit einer Laubsäge hergestellt worden waren und mit einer Handkurbel zum Testen (Debuggen sagt man heute) und, wie gesagt, mit einem Staubsaugermotor für den regulären Betrieb angetrieben wurden. Der Datenspeicher funktionierte zwar, aber die Addierfunktion machte dadurch Probleme, dass sich Schaltelemente beim Verschieben verhakten. Der Grund für die Fehlfunktionen war das Addierwerk der Z1, welches durch einen einfachen Zusatz auch im 2. Komplement subtrahieren konnte. Die mechanische Realisierung des Übertrages von nur einem Takt bei der Addition- und Subtraktion bereitete die Schwierigkeiten: So war die Kombination aus Halb- und Volladdierer in der heutigen Notation mit der Reduzierung der Takte von sechzehn auf einen logisch elegant gelöst, aber mechanisch mussten in diesem einem Takt 16 Schaltglieder bewegt werden, was den Betrieb der Maschine äußerst anfällig machte.

Der nächste Rechner, den Konrad Zuse entwickelte, war die Z2. Hier kombinierte er den funktionierenden mechanischen Speicher der Z1 mit einem auf Relais-technik basierenden Rechenwerk. Mit den Relais, also elektrisch angetriebenen Schaltern, nutzte Zuse ein Prinzip, das im 19. Jahrhundert für die Telegraphie und Fernsprechvermittlung entwickelt wurde – am bekanntesten sicherlich in den nach Samuel F. B. Morse benannten Morseapparaten. Für seine Z2 verwendete Zuse insgesamt etwa 200 dieser Relais mit dem Ziel, die Zuverlässigkeit dieser Technologie zu testen. Mit der Fertigstellung der Z2, eines Prototyps für eine binäre Rechenmaschine mit „einem aus elektromagnetischen Relais aufgebauten Ganzzahlrechenwerk“ (Zuse 1993: 39) war es 1939 schließlich soweit, und die Z2 konnte vorgeführt werden.

Die Präsentation der Z2 hatte einen Vertrag mit der Luftfahrtbehörde über die Teilfinanzierung der bereits in Bau befindlichen und 1941 fertiggestellten Z3 zur Folge, dem Gerät, „das wirklich voll funktionsfähig alle wichtigen Elemente einer programmgesteuerten Rechenmaschine für wissenschaftliche Zwecke nach dem Stand der Technik enthielt“ (55). Der erste voll funktionsfähige programmgesteuerte, elektromechanische, digitale Computer der Welt, die Z3, wurde von Konrad Zuse am 12. Mai 1941 vor einer kleinen Runde von Fachleuten in der Methfesselstraße 7 präsentiert.

Am 21. Dezember 1943 wurde die Maschine zusammen mit der Z1, Z2 und Z3 jedoch bei Luftangriffen vollkommen zerstört. Erst viele Jahre später, 1961, konnte Konrad Zuse eine Kopie nachbauen. Zwei weitere Rekonstruktionen folgten in den Jahren 2001 (Raul Rojas) und 2010 (Horst Zuse).

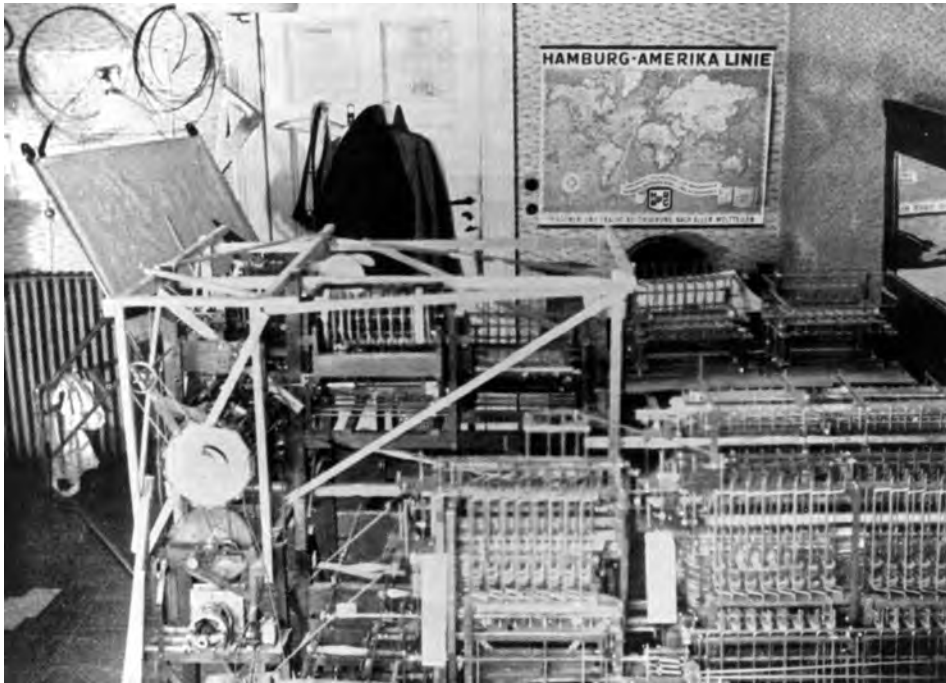


Abbildung 5. Konrad Zuses Z1 Rechenmaschine in der Wohnung seiner Eltern (1938)

Bevor ich näher auf die technischen Eigenschaften der Z3 und ihre historische Bedeutung eingehe, sei hier noch die Z4 erwähnt, die Konrad Zuse im Anschluss an seine Z3 konstruierte und die als einzige Zuse-Maschine den Krieg überstanden hat. Die Z4 war insofern eine technische Weiterentwicklung der Z3, als sie eine wesentlich größere Rechen- und Speicherkapazität hatte und in der Ausführung ausgefeilter war. Kurz vor der Fertigstellung musste die Maschine aufgrund von anhaltenden Luftangriffen von Berlin nach Göttingen transportiert werden, wo sie in den Laboratorien der Aerodynamischen Versuchsanstalt aufgestellt wurde. Dort stand sie nur für zwei Wochen, bevor sie im April 1945, kurz vor der Übernahme Göttingens durch die Alliierten, in das kleine Dorf Hinterstein im Allgäu, Bayern, überführt wurde. In Hopferau, wo Konrad Zuse von Oktober 1946 bis September 1949 lebte, spürte sie schließlich der Mathematiker Eduard Stiefel auf und holte sie 1950 leihweise an sein Institut für Angewandte Mathematik nach Zürich, wo sie bis 1955 zur Anwendung kam. Heute ist die Z4 ebenso wie der von Konrad Zuse durchgeführte Nachbau der Z3 im Deutschen Museum in München zu sehen. Dass Konrad Zuse in der Z4 die „finale“ Maschine sah und die ersten drei Maschinen bescheiden als Test- bzw. Versuchsmodelle betrachtete wird aus einem Brief an seine Eltern vom Spätherbst 1945 deutlich:

Aus unserer ersten Göttinger Zeit haben wir ja noch Nachricht geben können. Kurz vor Ostern war ich mit der Aufstellung des Gerätes fertig und konnte vor den Professoren der AVA die Maschine einwandfrei arbeitend vorführen. Es war dies der Moment, auf den ich etwa 10 Jahre gewartet

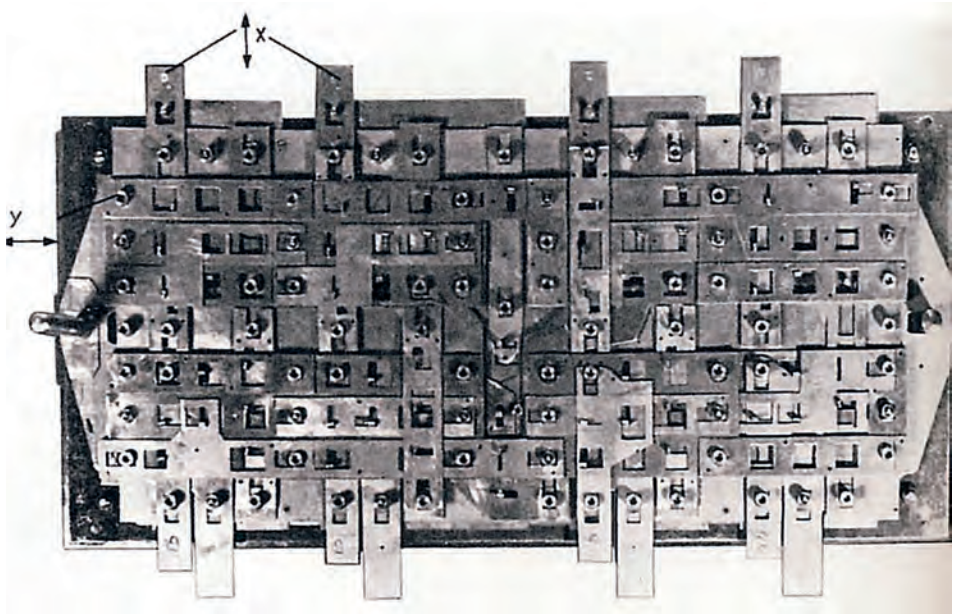


Abbildung 6. Versuchsmodell der Bleche der originalen Z1 von 1936

hatte, wo meine Arbeit endlich den gewünschten Erfolg brachte. Es war nun sehr tragisch, dass genau in diesen Tagen die Amerikaner bereits vor Kassel standen. Funk kam mit einem Lastwagen angerückt und erklärte sich bereit, uns alle und das Gerät irgendwo in den Südharz zu bringen. Da mir das Schicksal Göttingens unbekannt war und ich es für richtiger hielt, die Krisis nicht gerade in einer Stadt zu erleben, entschloss ich mich schweren Herzens das eben mit Mühe aufgebaute Gerät wieder abzubauen, in aller Eile zu verpacken und mit der ganzen Belegschaft abzurauschen. (Zuse 1945)

Die Zuse-Rechner im Zeichen ihrer Zeit

Die Daten zeigen es an: Konrad Zuse entwickelte die ersten Modelle seiner Z-Maschinen während des NS-Regimes und des zweiten Weltkriegs. Angesichts dieser historischen Umstände drängt sich die Frage auf, in welcher Weise sich der junge und ambitionierte Ingenieur mit dem nationalsozialistischen System arrangierte. Auch wenn Zuse in seiner Autobiographie 1993 zugibt, gegen das „Trommelfeuer der Propaganda“ nicht vollkommen immun gewesen zu sein, distanziert er sich in seiner Autobiographie doch deutlich von der NS-Ideologie und schreibt seine Verbindungen zum Heereswaffenamt und zur deutschen Luftfahrt pragmatischen Überlegungen zu (1933: 49–53). Tatsächlich legt die biographische Faktenlage nahe, dass Zuse weniger von politischen Interessen geleitet war, als dass ihm an der Weiterentwicklung seiner Rechner gelegen war.

Wie oben bereits erwähnt, hatte Zuse bereits 1935 eine Anstellung bei den Henschel-Flugzeug-Werken gekündigt, um sich voll auf den Computerbau konzentrieren zu können, und auch seine Wiedereinstellung als Statiker für die Waffenentwicklung bei Henschel in den Jahren 1940–41 scheint nicht ideologisch motiviert gewesen zu sein. Seinen eigenen Ausführungen zufolge war dies der einzig erfolgreiche von vielen Versuchen, sich dem Militärdienst zu entziehen und die begonnene Arbeit an der Z2 und später der Z3 fortzusetzen – wenn auch nicht hauptberuflich. Erst nach Feierabend, unterstützt von Freunden und weiterhin im elterlichen Wohnzimmer, tüftelte Zuse an seinen Rechnern und baute schließlich ab 1941 seine Firma „Zuse Ingenieurbüro und Apparatebau, Berlin“ auf, ein Vorläufer der 1949 gegründeten „Zuse KG“. Das fachliche Interesse an seinen Computern stellte sich erst zögerlich ein und war lange auf einen kleinen Expertenkreis begrenzt. Man kann also sagen, dass Zuses Pionierarbeit zwar von Beginn an von privaten, politischen und wirtschaftlichen Verwicklungen geprägt war und zum Teil erheblich behindert wurde, dass sich aber sein leidenschaftlicher Erfindergeist – ähnlich dem von Leibniz – allen widrigen Umständen zum Trotz durchgesetzt hat.

Die Z3 – der erste Computer der Welt

Mit seiner Z3-Maschine, die er in den Jahren 1939 bis 1941 in der Methfesselstraße 7 in Berlin-Kreuzberg mit der Hilfe von einigen Freunden und geringer finanzieller Unterstützung durch die Regierung konstruiert hatte, wollte Konrad Zuse zeigen, dass es möglich ist, eine verlässlich arbeitende Maschine für sehr komplizierte arithmetische Kalkulationen zu bauen. Um Funktionssicherheit zu garantieren, verwendete er für die ganze Rechenmaschine das an der Z2 getestete Relaisystem. Wie schon die Z1 war auch die Z3 frei programmierbar und operierte auf der Grundlage eines binären Gleitkommazahlensystems. Damit gelang Zuse ein ingenieurtechnischer Geniestreich, der bis heute zu den wesentlichen Grundlagen der Computertechnik gehört.

Zwar hatte Charles Babbage mit seiner *Analytical Engine* bereits 1838 eine universell programmierbare Rechenmaschine entworfen (Bromley 1982: 197), aber erst 100 Jahre später gelang es Konrad Zuse, das Prinzip der freien Programmierbarkeit mittels Lochstreifen technisch zu implementieren. Im Gegensatz zu allen zuvor gebauten Rechenmaschinen – sowie den noch heute handelsüblichen, in Schulen verwendeten Taschenrechnern, deren Funktionen auf fest eingestellte Rechenoperationen beschränkt sind, kann der Nutzer bei den Zuse-Maschinen neue Befehlsfolgen bzw. Programme eingeben und speichern. Das heißt, zusätzlich zu den im Rechenwerk geführten vier Grundrechenarten Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division sowie der Quadratwurzelberechnung können individuell Rechenfunktionen hinzugefügt werden. Gesteuert und programmiert wird die Z3 über eine integrierte dezimale Ein- und Ausgabe-Konsole. Interessant ist dabei, dass sich bei der Z3 die Programme nicht im Datenspeicher, sondern auf einem Lochstreifen befinden.

Die eigentlich bahnbrechende Leistung der Z3 bestand darin, dass die Daten als dezimale Gleitkommazahlen ein- bzw. ausgegeben werden. Dieser „Trick“ ermöglichte die speicherplatzsparende Ausführung von Rechenoperationen über sehr große Zahlenbereiche. Zuse war bewusst, dass Ingenieure anwendungsabhängig mit sehr großen oder sehr kleinen Zahlen rechnen müssen.

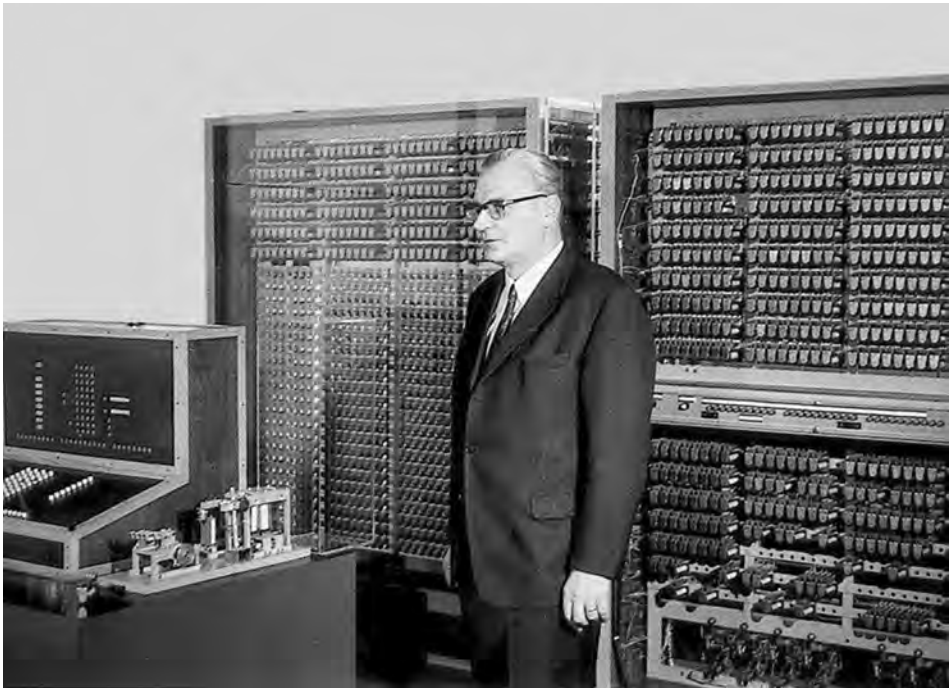


Abbildung 7. Der rekonstruierte Computer Z3 und Konrad Zuse, 1979. Der Speicher befindet sich links, rechts das Rechenwerk mit den Relais und Schrittschaltern. Links davor steht das dezimale Bedienungspult mit der arithmetischen Ausnahmebehandlung und dem Lochstreifen-Lesegerät.

Um dies in Festkommaarithmetik zu erlauben, müssen für alle benötigten Zahlen sehr große (und teure) Speicherplätze bereitgestellt werden. Die Idee der Gleitkommadarstellung besteht darin, eine Zahl durch eine (fest formatierte) Mantisse, die die signifikanten Werte repräsentiert, und einen Exponenten darzustellen. Entscheidet man sich z. B. für eine Exponentialdarstellung zur Basis 10 und eine Mantisse mit einer Stelle vor dem Komma und fünf Nachkommastellen, so würde man die Zahlen 0,000123456 und 6 543 210 000 in der folgenden Weise als Gleitkommazahl zur Basis 10 repräsentieren: 1,23456 mit Exponent -4 (also $1,2345 \times 10^{-4}$) bzw. 6,54321 mit Exponent $+9$ (also $6,54321 \times 10^9$), was erhebliche Speicherplatzeinsparungen erbringt. Zuse hat sich dann die effiziente technische Durchführung der Grundrechenarten mit binären Gleitkommazahlen (also Gleitkommazahlen mit der Basis 2) überlegt. Die dezimalen Gleitkommazahlen wurden daher in binäre Gleitkommazahlen umgewandelt, die Rechnungen wurden in binärer Gleitkommaarithmetik durchgeführt, und die Ergebnisse wieder in dezimale Gleitkommazahlen umgewandelt und ausgegeben. So gut wie alle heutigen Rechner machen das so!

Wie auch schon bei der Z1, führte die Anwendung der Gleitkommaarithmetik bei der Z3 dazu, dass bei einem Speichervolumen von 64 Worten (Zeichenketten) zu je 22 Bit (Binärziffern) ein Zahlenraum von immerhin 10^{20} bis 10^{20} zur Verfügung stand. Die Genauigkeit



Abbildung 8. Zeichnung der Z3 von ca. 1938

betrug vier Dezimalstellen für die Mantisse, später bei der Z4 mit 32 Bit schon sechs Stellen.

Damit enthielt die Z3 bereits 1941, und im Prinzip auch schon 1938 die Z1, die wichtigsten Komponenten eines modernen Computers. Eine Ausnahme bestand in der noch fehlenden Fähigkeit, das Programm zusammen mit den Daten zu speichern. Konrad Zuse hatte diese Funktion noch nicht eingebaut, da ein Speicher von 64 Wort zu klein dafür war. Tausende von Anweisungen und Befehlen sollten in einer sinnvollen Anordnung berechnet werden können, und um die freie Programmierbarkeit zu gewährleisten, verwendete Zuse den Speicher ursprünglich nur für Zahlen. Dennoch sind die Errungenschaften der Z3 kaum zu überschätzen, bilden sie doch die Grundlage für die moderne Computertechnik.

In den Nachkriegsjahren wurden Konrad Zuses Leistungen wenig anerkannt. Die Z3 war zerstört, eingereichte Patente wurden nicht bearbeitet, Entwürfe und Baupläne waren verschollen und der Name Konrad Zuse war in Vergessenheit geraten. Seit 1946 feierte man in den USA die Weiterentwicklung des Computers durch John Eckart und John Mauchly und wenig später IBM – eine Erfolgsgeschichte, die noch immer im öffentlichen Bewusstsein fortlebt. Nur zögerlich wurde der abgerissene historische Faden wieder aufgenommen, als Konrad Zuse 1961 die Rekonstruktion seiner Z3 fertigstellte. Anlässlich des diesjährigen 75. Jubiläums der Z3 wollen

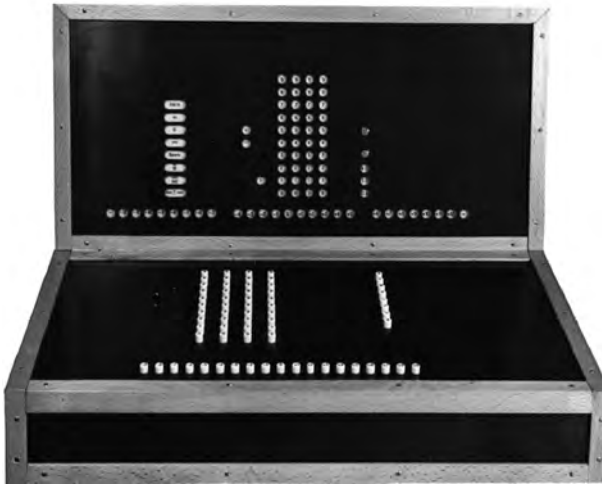


Abbildung 9. Das Ein- und Ausgabe-
werk der Z3. Die Zahlen konnten mit-
tels Tasten vorne eingegeben werden.
Es gab vier Tasten für die Mantisse,
eine für das Vorzeichen und siebzehn
Tasten für den Exponenten (von -8
bis +8). Das Resultat wurde mit Hil-
fe von Lampen analog zur Eingabe
angezeigt. Links oben sieht man die
arithmetische Ausnahmebehandlung.

wir an den eigentlichen Pionier der Computertechnologie erinnern und folgen der prägnanten Einschätzung des derzeitigen Direktors des Konrad-Zuse-Zentrums für Informationstechnik Berlin, Christof Schütte:

Revolutionär war, dass mit dem Z3 die Grundkomponenten des Computers, die Logik und das Rechnen, ingenieurmäßig in einem Gerät zusammengeführt wurden. Das digitale Konzept dahinter – nämlich alle Zahlen als Nullen und Einsen und jede logische Operation nur als wahr oder falsch darzustellen, das hat Zuse nicht erfunden. Aber er war der Erste, der es in eine Maschine mit binärer Gleitkommaarithmetik umgesetzt hat.

Der Computer als mechanisches Gehirn

Dass Konrad Zuse bei allen technischen Detailfragen und konkreten Anwendungsproblemen zumindest zu Beginn seiner Arbeit am Computer auch von großen Fragen geleitet war, zeigen Tagebuchaufzeichnungen aus dem Jahr 1937. Dort bedient er sich physiologischer Metaphern, mit denen er sich indirekt auch dem Leibniz'schen Weltbild verschreibt. So notiert er am 20. Juni:

Tagebuch:

Mechanisches Gehirn:

Seit etwa einem Jahr beschäftige ich mich mit dem Gedanken des mechanischen Gehirns.

Erste Gedanken: Im Anschluß an die Rechenmaschine. Herstellung von Rechenplänen nach Anweisungen. Mathematisches Gehirn: Differenzierung. Sprachhirn. Übersetzen, Schreiben usw.

Erste produktive Gedanken für Einzelheiten: April 37. Erkenntnis der Bedingungsketten. Auflösung aller Operationen in Bedingungsketten. Die Idee kam mir beim Entwurf des Leitwerks der Rechenmaschine im Sekundalsystem. (Ist das und das der Fall, so muß das und das geschehen.) (Zuse 1993: 41)

Zunächst scheint es, als würde Zuse mit seiner Analogie zwischen Gehirn und Rechenmaschine einem mechanistischen Weltbild folgen. Bei der genauen Lektüre zeigt sich aber, dass die Analogie trotz aller behaupteten Strukturähnlichkeit eine Differenz zwischen menschlicher Physiologie und technischem Apparat impliziert: Die Rechenmaschine wird nicht einfach mit dem menschlichen Organ gleichgesetzt, sondern sie ist eben ein *mechanisches* Gehirn. Dabei liegt der Vorteil des künstlichen Instruments in seiner Funktionsspezialisierung und der damit verbundenen Effizienzsteigerung, wie dann auch weiter unten ausgeführt wird: „Dementsprechend muß für jede zu lösende Aufgabe ein Spezialhirn möglich sein, das diese möglichst schnell löst.“ (41) Und das wäre vereinbar mit den Überzeugungen von Leibniz, für den die Mathematik – und eben auch die Dyadik – nicht nur metaphysisches Prinzip, sondern in erster Linie ein künstliches Zeichensystem zur Vereinfachung des Rechnens war und als „lingua universalis“ die Verständigung unter Wissenschaftlern erleichtern sollte (Mittelstraß 1978: 603; Mittelstraß 2011: 313).

Die binäre Rechenmaschine stellte für Leibniz die damals noch nicht realisierbare Anwendung der einfachen dualen Relationen auf die Rechentechnik dar. In diesem Sinne versprachen sich Zuse und Leibniz letztlich Ähnliches von der binären Rechentechnik: Leistungssteigerung durch eine spezifische technische Implementierung der Arithmetik – und die bestand eben hauptsächlich in der Einschränkung der Möglichkeiten auf ja/nein-Werte, die die Ausführung der Rechenschritte erheblich vereinfachen und damit die Rechengeschwindigkeit deutlich beschleunigen. Dass dies heute nicht mehr nur die Idee Einzelner, sondern die Realität von uns allen geworden ist, liegt auf der Hand: Digitalität ist uns Gegenwart und Zukunft und bestimmt unser Denken, Handeln und Zusammenleben mittlerweile in einem so umfassenden Maße, dass die Geschwindigkeit und die Reichweite der Veränderungen zuweilen in Vergessenheit geraten. Schon allein deshalb ist es wichtig, sich an die historischen Wurzeln unseres Zeitalters zu erinnern, bei denen die radikalen Ideen noch als solche erkennbar sind.

Abbildungsnachweise

Abb. 1. Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek, LH XLII, 5, Bl 31r

Abb. 2. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften

Abb. 3. Konrad Zuse Internet Archiv (<http://zuse.zib.de>)

Abb. 4. Deutsches Museum München, Inventar-Nr. 79895

Abb. 5. Konrad Zuse Internet Archiv (<http://zuse.zib.de>)

Abb. 6. Horst Zuse

Abb. 7. Horst Zuse

Abb. 8. Konrad Zuse Internet Archiv (<http://zuse.zib.de>)

Abb. 9. Horst Zuse

Literatur

- Breger, Herbert (2004). "God and Mathematics in Leibniz's Thought". In: *Mathematics and the Divine: A Historical Study*. Hrsg. von Teun Koetsier, Luc Bergmans. Amsterdam: Elsevier, S. 485–498.
- Bromley, Allen G. (1982). "Charles Babbage's Analytical Engine, 1838". In: *Annals of the History of Computing*, 4 (2), S. 197–217.
- Gethmann, Carl Friedrich (2016). „Theoria cum praxi. Die exoterischen Aufgaben der wissenschaftlichen Akademien“. In: *Vision als Aufgabe. Das Leibniz-Universum im 21. Jahrhundert*, Hrsg. von Martin Grötschel et al. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, S. 33–45.
- Goldbach, Wend (1963). „Die Zuse Z3 und ihre Bedeutung für die moderne Rechentechnik“. In: *Zuse Forum* 3.
- Knobloch, Eberhard (2016). „Originalität, Priorität und Reputation: Leibniz und Newton“. In: *Vision als Aufgabe. Das Leibniz-Universum im 21. Jahrhundert*, Hrsg. von Martin Grötschel et al. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, S. 85–95.
- Mackensens, Ludolf von (2007). „Die ersten dekadischen und dualen Rechenmaschinen“. In: *Gottfried Wilhelm Leibniz – Philosoph Mathematiker, Physiker, Techniker*. Hrsg. von Erwin Stein, Peter Wriggers. Leibniz Universität Hannover, S. 85–100.
- Mittelstraß, Jürgen (2011). *Leibniz und Kant. Erkenntnistheoretische Studien*. Berlin/Boston: de Gruyter.
- (1979). "The Philosopher's conception of Mathesis Universalis from Descartes to Leibniz". In: *Annals of Science* 36 (6), S. 593–610.
- Rojas, Raúl (1997). "Konrad Zuse's Legacy: The Architecture of the Z1 and the Z3". In: *Annals of the History of Computing* 19 (2), S. 5–16.
- Stein, Erwin und Popp, Franz-Otto (2006). „Calculus! Neue Hannoversche Funktionsmodelle zu den Rechenmaschinen von Leibniz“. In: *Leibniz – Auf den Spuren des großen Denkers. Unimagazin Hannover* 3 (4), S. 60–63.
- (2010). „Konstruktion und Theorie der leibnizischen Rechenmaschinen im Kontext der Vorläufer, Weiterentwicklungen und Nachbauten“. In: *Studia Leibnitiana* 42 (1), S. 1–128
- Schiller, Jochen und Schütte, Christof (2016). „Die Gefahr liegt in der Komplexität der Systeme“. Die Erfindung des Computers revolutionierte die Welt. Ein Gespräch mit den Professoren und Informatikexperten Christof Schütte und Jochen Schiller über Chancen und Risiken der Digitalisierung“. URL: <http://www.fu-berlin.de/presse/publikationen/tsp/2016/tsp-april-2016/zuse-jubilaum/gefaher-komplexitaet-der-systeme/index.html> (besucht am 28. 6. 2016).
- Zuse, Horst (2007). *Konrad Zuse Multimedia Show*. URL: <http://www.horst-zuse.homepage.t-online.de/cd-zuse.html> (besucht am 7. 10. 2016)
- (2010). Konrad Zuses Werk. URL: <http://www.horst-zuse.homepage.t-online.de/zuse-broschuere.html> (besucht am 7. 10. 2016)
- (2016). Die Rechenanlage Z3 – Erster Computer der Welt. URL: <http://www.horst-zuse.homepage.t-online.de/Z3-praegnant-final-final-2016.pdf> (besucht am 7. 10. 2016).
- Zuse, Horst und Lorenz Hanewinkel (2009). Konstruktion und Bau der Röhrenmaschine Zuse Z22. URL: <http://www.horst-zuse.homepage.t-online.de/z22-konstruktion.html> (besucht am 7. 10. 2016).
- Zuse, Konrad (1938). „Einführung in die allgemeine Dyadik. Vorentwurf zur Schaltungsmathematik“. In: *Konrad Zuse Internet Archive*, Document ZIA ID: 0237.
- (1945). Brief von Konrad Zuse am 11. November 1945 an seine Eltern in Berlin (aus Hinterstein). URL: <http://zuse.zib.de/collection/1rUAFkDkirW8o3gT/item/GKxbgjQo9t4XodpO> (besucht am 4. 10. 2016).
- (1993). *Der Computer – Mein Lebenswerk*. Berlin: Springer-Verlag.