

Rechenanlage Zuse Z3_r

Nachbau des Zuse Z3 Computers

75 Jahre Z3

Horst Zuse

Schaperstraße 21
10719 Berlin
Germany

Phone: +49-30-881 59 88
Mobil: 0172 304 2063

E-mail: horst.zuse@t-online.de
Internet: www.zuse.de
Internet-Z3: <http://www.z3-computer.de>

April 2016

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	5
2 Konrad Zuses Maschinen Z1, Z2, Z3 und Z4	7
3 Nachbau der neuen Z3r zum Jahr 2010	9
4 Technische Daten zur Z3 zum Nachbau der Z3r und zum PC.....	15
5 Bockschema der Z3	17
6 Sponsoren und Unterstützer	19
7 Anhang - Additionswerke der Z1, der Z3 und der Z3r.....	21
8 Additions- und Subtraktionswerk der Z3 - Erläuterung	25
9 Additions- und Subtraktionswerk der Z3 - Demonstration.....	27
10 Was ist ein Computer?	29
11 Zuse Boschüren von Horst Zuse	30
12 Über den Autor	31

1 Einleitung

Diese Broschüre beschreibt die Entstehung des neuen Nachbaus der Z3, genannt Z3r (Z3 rekonstruiert) durch Horst Zuse. Die Arbeiten begannen im Jahr 2007, aber auch vorher hat der Autor schon recherchiert, welche modernen Relais es zur Realisierung gibt. Ziel war, die Z3 in Originalgröße zu präsentieren und eine einfache Frage zu beantworten:

Was ist ein Computer?

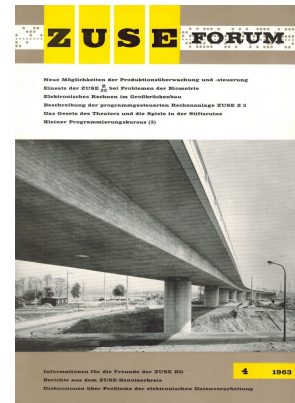
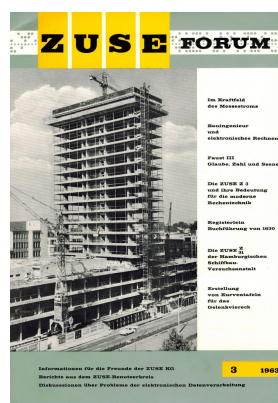
Diese so einfache Frage ist schwer zu beantworten, versuchen Sie dies mit einem MAC oder PC, indem Sie diesen öffnen, Sie werden kläglich scheitern. Sogar die meisten Informatikstudenten und manche Informatik-Professoren wurden anscheinend mit dieser Frage noch nicht konfrontiert. Meine Idee hat sich verifiziert, in der Tat ist die Maschine Z3 hervorragend geeignet, auch Laien zu erklären was ein Computer ist. Im Deutschen Technik Museum in Berlin diskutiert der Autor regelmäßig mit Besuchern diese einfache Frage.

Nun in Ich-Form_ Aber, wie kam es zum Nachbau der Z3r? Es war Anfang des Jahres 2008 in Berlin, in einem Kiezlokal Kucheleck in Berlin Wilmersdorf. Ich saß dort 2008 mit meiner Frau Karin zusammen. Ich sagte, Karin, 2010 werde ich pensioniert, das ist okay, aber ich habe eine, zugegeben, verrückte Idee. Ich möchte die Z3 einmal selbst bauen, um die oben genannte Frage zu beantworten: **Was ist ein Computer?**



Nun, nach einiger Zeit Diskussion sagte Karin: *Tue es, in Gottes Namen!* Okay, ich plante dann den Nachbau und die entsprechenden Vorbereitungen.

In den Veröffentlichungen unten fand der Autor wertvolle Hinweise zu den Konstruktionsmerkmalen der Z3.



In dem Buch, Hrsg. Raul Rojas: *Die Rechenmaschinen von Konrad Zuse*, 1998 ist der Patentanspruch zur Z3 von Konrad Zuse im Jahr 1941 ausführlich beschrieben. Das Patent Z26476, später Z391 meldete Konrad Zuse am 16.7.1941 für die Z3 an. In den drei Broschüren rechts wird die Z3 ausführlich beschrieben. Auch sind alle wesentlichen Schaltungen der Z3 dargestellt. Es ist eine Kopie des Patentanspruches mit ergänzenden Erläuterungen zu der Patentanmeldung von 1941. Die Zuse KG veröffentlichte ab 1962 regelmäßig diese Zuse Foren. Diese Broschüre schildert die Rekonstruktion der neuen Z3r

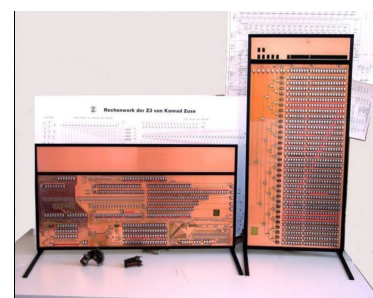
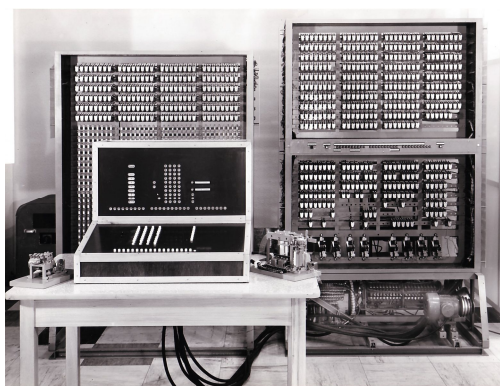
2 Konrad Zuses Maschinen Z1, Z2, Z3 und Z4

Konrad Zuse (22.6.1910-18.12.1995) wird heutzutage fast einhellig als der Konstrukteur des ersten funktionsfähigen programmgesteuerten Computers mit der Aussagenlogik und binären Gleitkommazahlen anerkannt. Diese Maschine Z3 stellte er am 12. Mai 1941 Wissenschaftlern in seiner Werkstatt in der Methfesselstraße 7 (ist heute noch ein Ruinengrundstück, siehe Bild rechts) in Berlin Kreuzberg vor. Konrad Zuse baute damit den Prototypen des heutigen modernen Computers¹ und leitete damit unbemerkt von der Öffentlichkeit das Zeitalter des Computers ein. Dies ist nun 75 Jahre her.



Professor F.L. Bauer, emeritierter Professor der TU-München, schreibt über Konrad Zuse 1998: *Schöpfer der ersten vollautomatischen, programmgesteuerten und frei programmierbaren, in binärer Gleitpunktrechnung arbeitenden Rechenanlage. Sie (die Rechenanlage Z3) war 1941 betriebsfähig. So oder so ähnlich wird man einmal schreiben müssen, wenn Konrad Zuses Büste in der Walhalla neben denen von Gregor Mendels und Wilhelm Conrad Roentgens - um nur zwei zu nennen, denen zuletzt diese Ehre zuteil wurde - aufgestellt wird.*

Die Original-Rechenmaschine Z3 wurde am 21. Dezember 1943 durch einen Bombenangriff auf die Methfesselstraße 7 und 10 in Berlin-Kreuzberg zerstört. Dieser Angriff verursachte eine Teilzerstörung, denn die Bombe fiel genau auf die Straße der Methfesselstraße 7 und 10. Bei dem Angriff am 30. Januar 1944 wurden durch Brandbomben sämtliche Unterlagen und Fotos vernichtet. Einige Personen haben mich gefragt, ob dies ein gezielter Angriff auf die Rechner/Computer von Konrad Zuse war. Die Antwort ist **nein**! Der erste Nachbau der Maschine Z3 wurde im Jahr 1961 von der Zuse KG in Bad Hersfeld erstellt.



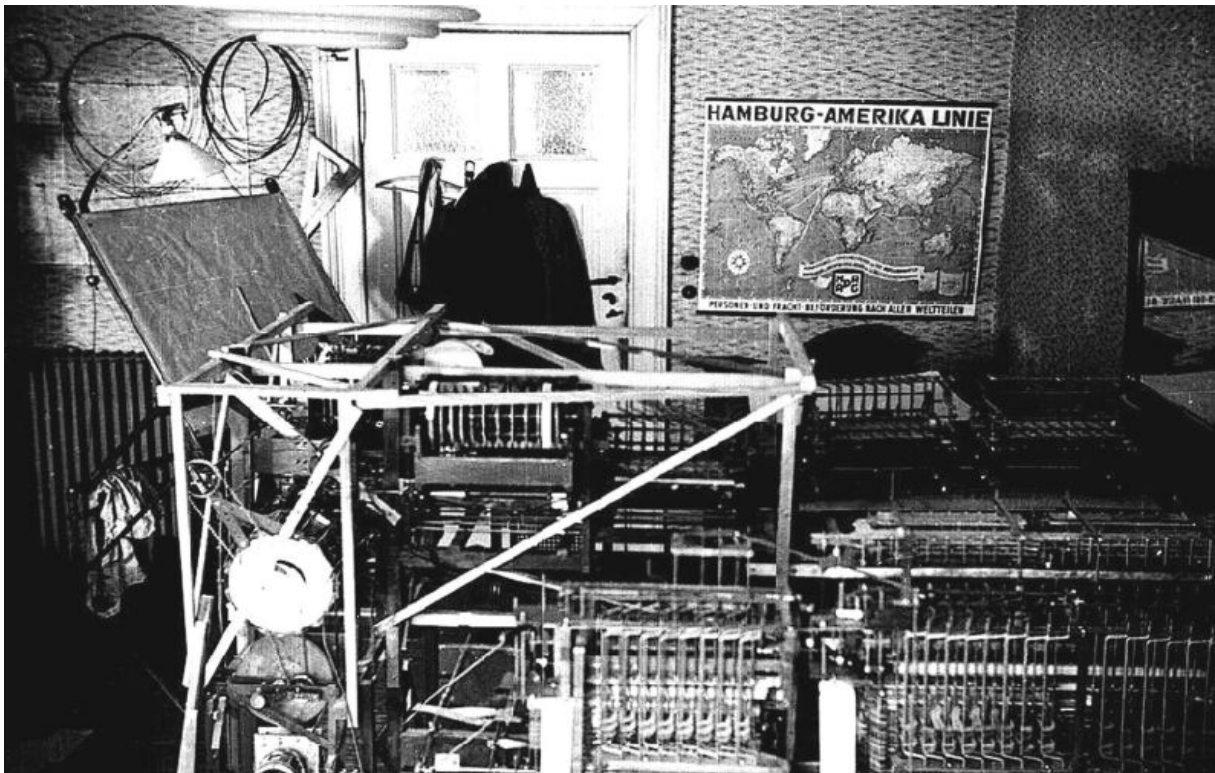
Links: Konrad Zuse um 1950. Mitte: Der Nachbau der Maschine Z3 im Auftrag von Konrad Zuse (1961). Dieser Nachbau ist weitestgehend funktionsfähig, der zweite Speicherschrank wurde nicht realisiert und die Größe entspricht nicht der Originalgröße. Der Nachbau wurde 1967 im Deutschen Pavillon der Weltausstellung in Montreal ausgestellt. Heute steht dieser Nachbau im Deutschen Museum in München. Ein weiterer Nachbau wurde anlässlich des 60-jährigen Jubiläums der Maschine Z3 im Jahr 2001 vorgestellt. Dieser Nachbau, der auf dem Workshop am 11. Mai 2001 in Berlin der Presse demonstriert wurde, war ein Projekt unter der Leitung von Prof. Dr. Raul Rojas (FU-Berlin) und Prof. Dr. Horst Zuse (TU-Berlin). Dieser Nachbau steht heute im Konrad-Zuse-Museum in

¹ Der Begriff Computer kommt von dem lateinischen Wort Computare: berechnen, zusammenrechnen, ausrechnen.

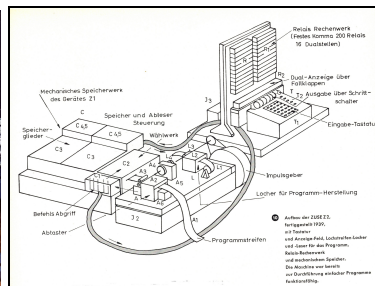
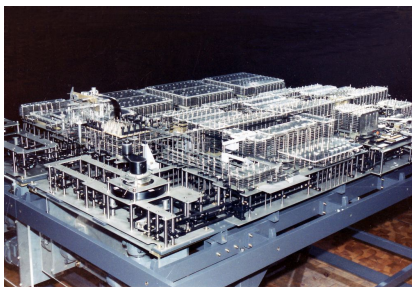
Hünfeld und ist weitestgehend funktionsfähig, aber viele Funktionen werden durch einen PC mit Software realisiert, die Größe der beiden Platinen beträgt etwa 60 x 90cm.

Die Maschine Z3 ist das dritte Exemplar aus einer Serie von Z-Maschinen, die Konrad Zuse zwischen 1936 und 1945 konstruierte und baute. Das Gerät Z1 (1936-1938) wurde ebenfalls bei dem Bombenangriff am 21. Dezember 1943 beschädigt und dann bei dem Angriff am 30. Januar 1944 vollständig zerstört. Die Architektur der Maschine Z1 ist fast identisch zu der Maschine Z3. Die Maschine Z1 war nicht voll funktionsfähig, da sich die Bleche beim Rechnen verhaken. Konrad Zuse wollte zuverlässige Maschinen bauen, da er die Vision hatte, dass Ingenieurbüros seine Maschinen benötigen. Aus diesem Grund konstruierte er nach der Z1 die Maschine Z2 (1938-1939). Es war ein Versuchsmodell mit der die Relais-technik zum Bau solcher vollautomatischer Maschinen testen wollte. Die **Rechenmaschine Z3 (1939-41)** ist der Prototyp des modernen Computers. Nur die Rechenanlage Z4 (1945) konnte vor den Bombenangriffen gerettet werden und hat ab 1950 erfolgreich für fünf Jahre an der ETH-Zürich gerechnet. Es war der erste kommerzielle Einsatz eines Zuse-Computers.

Die Maschine Z1, konstruiert von 1936-38, ist der Vorläufer der Z3 und von der Architektur fast identisch.



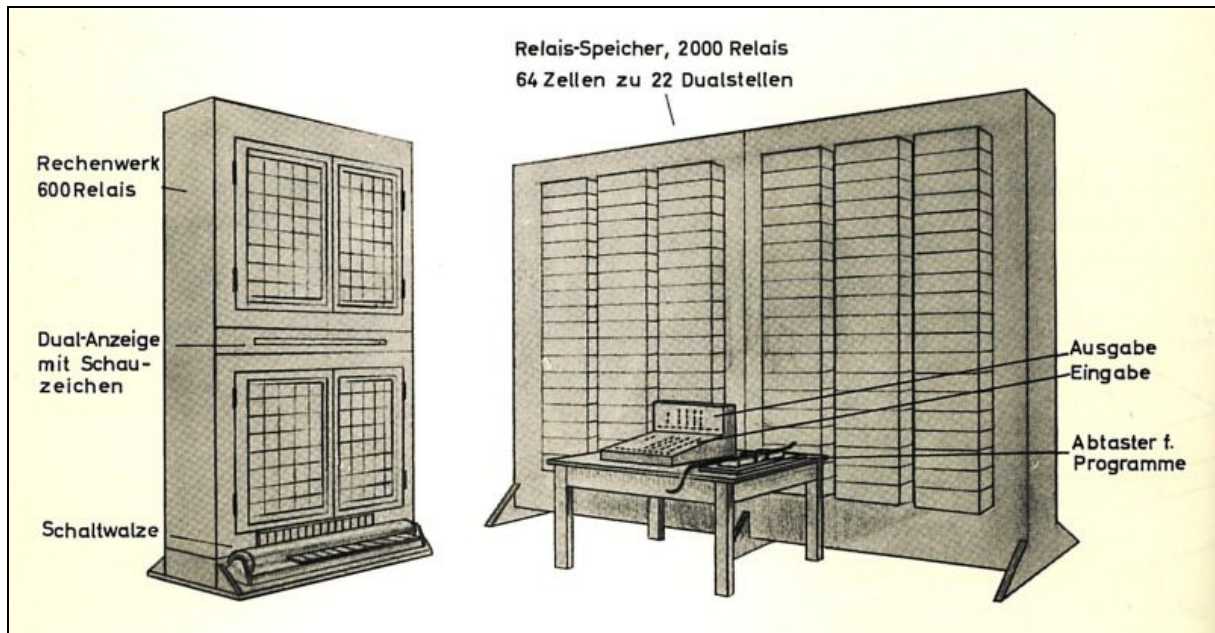
Die Z1 im Wohnzimmer der Eltern von Konrad Zuse 1938 in der Wrangelstraße 37 in Berlin-Kreuzberg.



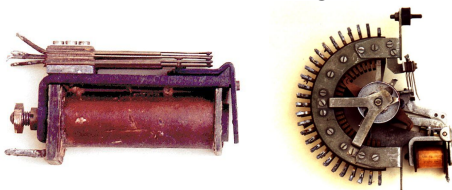
Die rekonstruierte Z1 von 1989, die Z2 von 1938 und die Z4 1950, kurz vor der Auslieferung an die ETH in Zürich.

3 Nachbau der neuen Z3r zum Jahr 2010

Im Jahr 2010 wäre Konrad Zuse 100 Jahre alt geworden und im Jahr 2011 jährte sich zum 70sten Mal die Vorstellung der Maschine Z3 durch Konrad Zuse in der Methfesselstr. 7 in Berlin am 12. Mai 1941. Horst Zuse, der älteste Sohn von Konrad Zuse, initiierte im Jahr 2007 das Projekt, die historische Maschine Z3 nochmals in Originalgröße mit einem Rechenwerk, zwei Speicherschrank und der Konsole entstehen zu lassen. Der Nachbau erhielt den Namen Z3r.



Zeichnung der Maschine Z3 von ca. 1961 durch Konrad Zuse. Ein Originalfoto der Z3 existiert nicht, da die Aufnahmen bei einem Bombenangriff zerstört wurden. Obige Zeichnung von Konrad Zuse zeigt die Original-Z3, links das Rechenwerk mit ca. 600 Rundrelais und neun Schrittschaltern konstruiert. Die Schrittschalter gehören zum Steuerwerk der Maschine, es werden damit die Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division und die Quadratwurzel ausgeführt (hardwaremässig installierte Mikroprogramme). In den beiden Speicherschrank befinden sich ca. 2000 Relais. Diese Zeichnung diente dem Autor als Grundlage für den neuen Nachbau Z3r (2010), dessen Planung im Jahr 2007 begann. Konrad Zuse verwendete für seine Z3 ausschließlich Telefonrelais und Schrittschalter. Die Dualanzeige mit Schauzeichen zeigt die Inhalte der Register R1 und R2 im binären Zahlensystem durch 22 Glühbirnen. Die Register r1 und R2 enthalten die Operanden für das Rechenwerk.



Ein Rundrelais und ein Schrittschalter mit denen die Original-Z3 realisiert wurde. Rundrelais² existieren schon ca. 1920 in der Telefontechnik, Schrittschalter ebenso. Konrad Zuse verwendete die

² Historischer Hintergrund

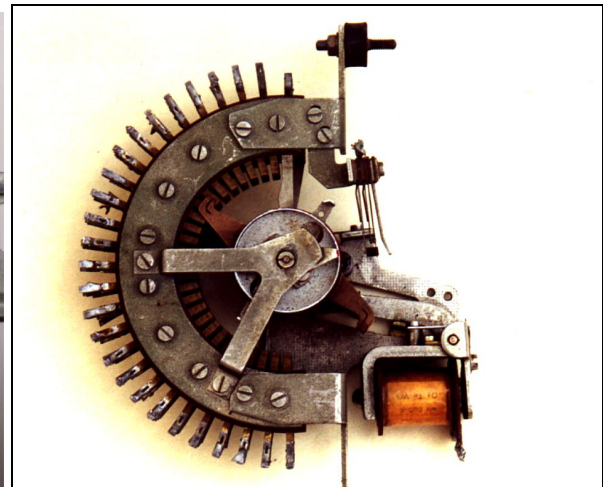
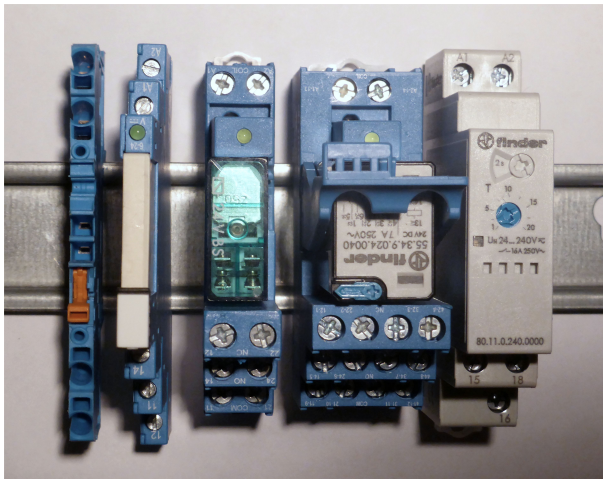
Ursprünglich war der Begriff "Relais" der Name für eine Station, an der die Postkutschen früher ihre Pferde wechseln konnte. Doch der englische Physiker Charles Wheatstone (1802-1875) gab diesem Begriff eine völlig neue Bedeutung. Er erfand eine Schaltung, die es ermöglichte, Stromkreise selbst über lange Strecken intakt zu halten. Diese Schaltung wurde als erstes bei der Eisenbahn eingesetzt. Wenn damals ein Zug abfuhr, so wurde es dem nächste Bahnhof durch ein Klingelzeichen mitgeteilt. Man verband dazu eine Batterie auf dem ersten Bahnhof mit einer Klingel auf dem Zweiten. Doch da die Bahnhöfe meistens durch Kilometer weite Strecken voneinander getrennt waren, floß in dem Stromkreis der Batterie meist nur ein geringer Strom, der nicht dazu ausreichte, die Klingel läuten zu lassen.

Wheatstone baute also am zweiten Bahnhof eine Schaltvorrichtung an, die durch die Batterie des ersten Bahnhofs betätigt wurde. Sie funktionierte schon bei geringer Stromzufuhr und schloß einen weiteren Stromkreis, der die Klingel betätigte.

Rundrelais für die Speicher und das Rechenwerk und Schrittschalter für die Steuerung der Z3 (Leitwerk/Steuerwerk), wie Multiplikation, Division usw. Man kann also sagen, dass schon um 1920 hätte eine solche Maschine Z3 gebaut werden können, aber niemand tat es. Die notwendigen Bauelemente waren vorhanden.

Die umfangreichen Vorbereitungen für den neuen Nachbau der Maschine Z3 (genannt Z3r) durch den Autor begannen im Jahr 2007. Die Ideen waren folgende:

- Die Z3 soll in der Originalgröße gemäß der Zeichnung oben entstehen.
- Zu Konrad Zuses 100. Geburtstag am 22. Juni 2010 soll eine neue Z3 in Hünfeld präsentiert werden.
- Die Maschine Z3 eignet sich hervorragend, um zu erklären: **Was ist ein Computer?**
- An einem PC/MAC ist es nahezu unmöglich zu demonstrieren, welches die Grundfunktionen eines Computers sind. Sie scheitern kläglich.
- Die wichtigen Komponenten der Z3 sollen separat demonstrierbar sein: Der Takt des Rechners, das Mantissen- und das Exponentenrechenwerk, die beiden Shifter zum Ausgleich der Mantissen und Exponenten bei der Addition und Subtraktion, die Normalisierung der Gleitkommazahlen, die Konvertierung von dezimalen Gleitkommazahlen² in binäre und umgekehrt sollen übersichtlich dargestellt werden. Diese Funktionen können bei **keinem** der beiden der oben erwähnten Nachbauten demonstriert werden.
- Die Realisierung soll mit modernen Industrirelais, die funktional wie die von 1941 arbeiten, erfolgen.
- Die Konsole ist der Originalkonsole nachgebildet, enthält aber eine Klappe, auch Geheimfach genannt, unter der sich 60 Taster befinden. Damit können die einzelnen Komponenten der Maschine bis zum einzelnen Bit/Ja-Nein-Wert gesteuert werden. Dies ist bei keinem der beiden anderen Nachbauten möglich. Damit kann auch die Programmsteuerung simuliert werden.
- Die Maschine Z3 soll auf Ausstellungen, in Museen usw. präsentiert werden.



Verwendet wurden bei der Z3r Industrirelais der Fa. Finder ausschließlich mit Umschaltern, montiert auf einer Hutschiene. Die Funktionsweise der Relais entspricht denen von 1941. In der Z3r werden Relais mit 1-4 Umschaltern verwendet. Links ein Verbinder (Schalter für Kabelverbindungen ein/aus), dann ein Relais mit einem Umschalter, dann ein solches mit zwei Umschaltern und das letzte ist ein Relais mit 4 Umschaltern, dazu ein Zeitrelais, damit können Prozesse/Aktionen zeitverzögert geschaltet werden. Alle Relais und der Zeitschalter zeigen ihre Position mit einer LED an (ein-aus). Der Zeitschalter kann auch als Taktgeber für die einzelnen Module der Z3r verwendet werden. Rechts ist ein Schrittschalter zu sehen, dieser eignet sich besonders, um Taktfolgen in der Z3r zu steuern.

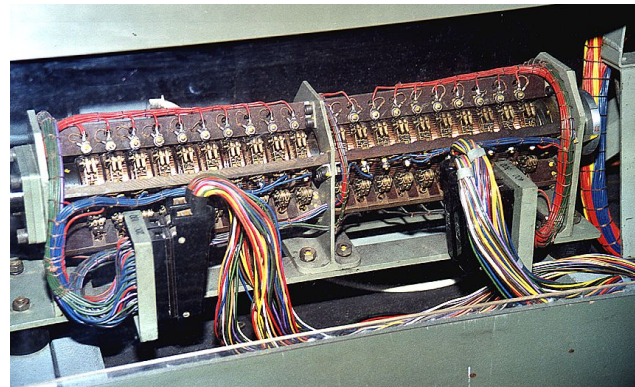
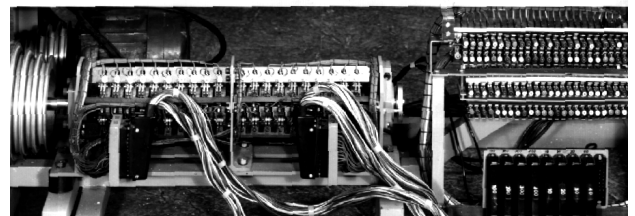
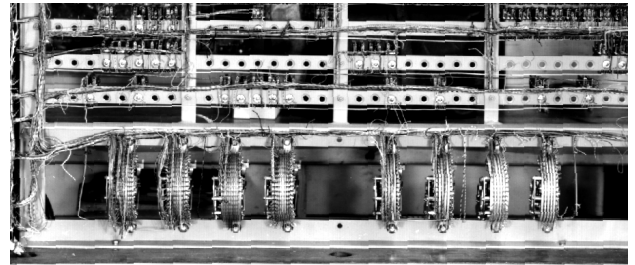
² Gleitkommazahlen ist die Darstellung von Zahlen aus einer Mantisse und einem Exponenten zu einer Basis, oft 10 oder im binären Zahlensystem 2. Z.B. $5,3 \cdot 10^2$. Diese Darstellung ermöglicht den Zahlenraum erheblich zu steigern, denn obige Darstellung entspricht der Zahl 530. Man nennt dies auch halblogarithmische Darstellung. Bei der einfach-logarithmischen

Darstellung, auch halblogarithmische Darstellung genannt, wird eine der Koordinatenachsen (meist die x -Achse) linear unterteilt $f(x) = x = X$, während die andere Koordinatenachse logarithmisch unterteilt ist: $f(y) = \lg(y) = Y$.

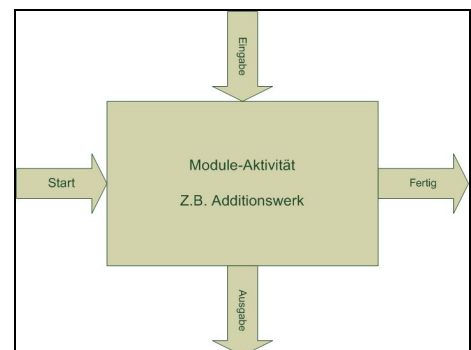
Aber, die Z3r enthält auch elektronische Schrittschalter, aber zur Demonstration für die Besucher ist auch ein mechanische Schrittschalter implementiert, der die Multiplikation einer Binärzahl mit den Faktor 10 (dezimal) durchführt. Dies ist ein Teil des Steuerwerkes.

In den drei Schränken werden ausschließlich moderne Industrirelais der Fa. Finder verwendet. Jedes Relais kann einfach, ohne die Verdrahtung neu schalten zu müssen, ausgetauscht werden und ist mit einer Leuchtdiode versehen. Es sei angemerkt, dass die Relais sehr zuverlässig arbeiten. Insgesamt sind in der Maschine ca. 2600 Relais verbaut.

Die neue Z3r orientiert sich nicht nur an der Originalgröße, sondern auch an den Schaltungen der Original-Z3 von 1941 (Patentanmeldung Z391), aber es mussten sehr aufwändige Modifikationen vorgenommen werden, die vom Autor selbst entwickelt werden mussten. Dies betrifft z.B. die gesamte Taktsteuerung der Maschine und das Steuerwerk. Grund war, dass die Original-Z3 mit einer Taktwalze gesteuert wurde. Diese Walze, bestehend Metalllamellen, die von Kohlebürsten abgegriffen wurde, steuerte die gesamte Maschine. Das Bild rechts zeigt die Schaltwalze vom Nachbau der Z3 im Deutschen Museum in München. Mit dieser Schaltwalze wurde der Takt der gesamten Maschine gesteuert. Jeder Takt wurde durch vier einzelne Subtakte vorbereitet bis der Haupttakt folgte. Dies war eine zentrale Steuerung des Taktes der gesamten Maschine und dieser konnte auch geändert werden, indem die Walze schneller bzw. langsamer lief. Eine elegante Konstruktion. Dieses bewährte Prinzip des mechanischen Taktgebers hat Konrad Zuse bis zur Z5/Z11 (1955) beibehalten und kann z.B. im Konrad-Zuse-Museum in Hünfeld an der Z11 und im Deutschen Technik Museum Berlin an der Z11 besichtigt werden. Sogar bei der Z22 (1957) und Z23 (1961) wurde dieses Prinzip noch verwendet, die Taktsteuerung erfolgte durch die Speichertrommel. Auch heutzutage werden Computer durch einen Takt gesteuert.



Die Realisierung der Schaltwalze erschien dem Autor aus Kosten- und Zeitgründen nicht möglich. Er verfolgte ein anderes Prinzip, nämlich das Prinzip der asynchronen Steuerung. Die Maschine ist wie die Original Z3 aufgebaut, aber besteht aus Modulen. Jeder Modul hat einen eigenen **Taktgeber (Zeitrelais)**, einen Startbefehl, der die Funktion des Moduls ausführt, eine Fertigmeldung und eine oder mehrere Ein- und Ausgaben. Jeder Modul kann mit verschiedenen Geschwindigkeiten gesteuert werden. Dies hat den Vorteil, dass die einzelnen Module elegant getestet (über das Geheimfach unten) und gesteuert werden können. Die Gesamtsteuerung erfolgt durch das Steuerwerk, welches die Instruktionen auf dem Lochstreifen interpretiert oder im Dialogmodus (wie ein Taschenrechner) ausgeführt werden können. Der Lochstreifen kann über das Geheimfach simuliert werden, indem die einzelnen Befehle über die Tasten eingegeben werden.

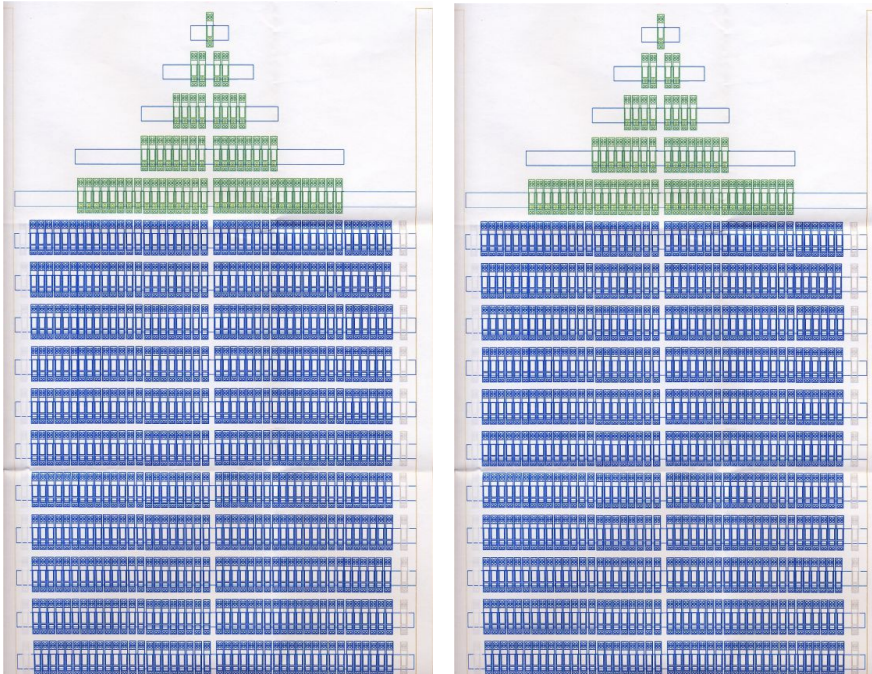


Der Bau der neuen Z3r wurde ab dem Jahr 2008 im Arbeitszimmer der Altbauwohnung des Autors in Berlin am Fasanenplatz im 5. Stock ohne Fahrstuhl durchgeführt. Die gesamte Konzeption und

Konstruktion der neuen Z3 wurde vom Autor durchgeführt, dazu gehören u.a. auch die Anordnung, Montage und Verdrahtung der Relais.



Arbeitszimmer des Autors im 5. Stock Altbau (vergleichsweise 8. Stock Neubau) in Berlin Wilmersdorf ohne Fahrstuhl im Jahr 2008. Links: Das Rechenwerk der Z3 am 17. Juni 2008 und rechts die Demonstration der Tannenbaumschaltung mit dem Speicher.



Beide Speicherschränke der Z3r sind ca. 2,20m hoch und 1,20m breit, sie sind wie ein Tannenbaum konstruiert, eine gewisse Ähnlichkeit zum Empire State Building ist durchaus gegeben. Es ist ein Entwurf des Autors. Die blauen Relais (Rechteck unten) repräsentieren 32 Worte á 22 Bit. Jedes blaue Relais ist ein Bit bzw. eine Speicherstelle für einen Ja-Nein-Wert (zwei Umschalter). Jedes Wort hat eine Adresse (Relais mit einem Umschalter), beginnend links oben mit 1, dann 2 (rechts) usw. Im zweiten Schrank geht es mit der Adresse 33 weiter. In einem Speicherschrank befinden 702 Relais mit zwei Umschaltern, dazu 31 Relais mit 4 Umschaltern für den Tannenbaum und 32 Relais mit einem Umschalter zur Anzeige der geschalteten Adresse, also 767 Relais. Zusammen mit dem zweiten Speicherschrank sind dies 1534 Relais. Die gesamte Speicherkapazität beträgt 1408 Bits.

Der Tannenbaum (grüne Relais, auch Multiplexer genannt) bestehend aus fünf Reihen ist das Wählwerk zur Selektion der Speicheradresse. Jeweils können sämtliche Relais einer Reihe geschaltet werden, auch in Kombination. Es sind also nur fünf Befehle/Leitungen notwendig, um 32 Adressen (1-32) schalten zu können. Wir erklären die Schaltung wie folgt: Ein Relais ist ein digitaler Schalter (an/aus). Dies ist auch das Prinzip bei Weichen der Bahn, nämlich links oder rechts. Eine Zwischenstellung gibt es nicht (au weih, wenn doch, dann ist ein Unfall vorprogrammiert). Stellen Sie sich vor, von ganz oben kommt ein ICE, dieser soll auf 32 Gleise geleitet werden. Durch die Kombination der Schaltung der fünf Reihen, $1+2+4+8+16$ Relais/Weichen, jeweils eine Reihe wird

geschaltet, kann der ICE auf eines der 32 Gleise geleitet werden. Dies ist eine echte Aufgabe für Modelleisenbahner. Sind alle Weiche links gestellt, dann fährt der Zug nach Gleis 1. Wird die Weiche ganz oben auf rechts gestellt, dann fährt der ICE nach Gleis 17. Zeichnen Sie sich diese Konstruktion auf und Sie werden sehen, dass alle 32 Gleise nur mit fünf Steuerbefehlen für die 5 Reihen der Relais erreicht werden können. Nun, Sie könnten auch einfach 32 Weichen installieren, dann bräuchten Sie aber 32 Steuerbefehle statt nur 5. Die fünf Befehle werden über den Lochstreifen (Programm) oder das Geheimfach gegeben. Die sechs Tasten ganz unten im Geheimfach steuern das Wählwerk, die erste Taste löscht alle fünf Reihen der Relais, die anderen fünf steuern die fünf Reihen der Relais. Dies zeigt wieder einmal, wie durch Nachdenken Probleme effizienter/effektiver gelöst werden können.



Arbeitszimmer von Horst Zuse im Oktober 2008



Die Konsole der Z3r ist mit einem „Geheimfach“ ausgestattet. Dieses umfasst 60 Taster, die jede Komponente der Maschine Z3r steuern können. Diese Steuerungsmöglichkeit gab es bei der Originalmaschine Z3 von 1941 nicht, auch die beiden anderen Nachbauten (1961, 2001) verfügen nicht über diese Funktionen. Bei der Eingabe von Gleitkommazahlen, z.B. $5,6 \times 10^3$, dazu drücken Sie

die senkrecht angeordneten Tasten der Reihe 3 mit 5 und der Reihe 4 mit 6, dann den Exponenten auf der Reihe unten mit der Taste +3.

Am 26. Juni 2010 wurde die neue Z3 in einem Festakt in Hünfeld im Konrad-Zuse-Museum offiziell der Öffentlichkeit vorgestellt.



Die neue Z3 im Konrad-Zuse-Museum in Hünfeld am 26.6.2010 bei der erstmaligen offiziellen Vorstellung. In der Mitte befindet sich das Rechenwerk, links und rechts die Speicherschränke, davor die Bedienkonsole mit der Eingabe- und Ausgabeeinheit. Wie oben auf der Zeichnung zu sehen ist, besteht die neue Z3 aus drei Schränken, ca. 1,20m breit und 2,20m hoch. Die Kabel im Hintergrund sind u.a. Datenbusse, die die Bits vom Speicher zum Rechenwerk und umgekehrt transportieren.



Die Z3r im HNF im Jahr 2011, heute im Deutschen Technik Museum in Berlin.

4 Technische Daten zur Z3 zum Nachbau der Z3r und zum PC

Wir präsentieren hier die technischen Daten der Original-Z3 sowie der Z3r. Auch werden Vergleiche zu einem modernen PC aufgeführt.

Bauzeit und erste Vorführung

Z3: Bauzeit 1939-1941, erste Vorführung am 12. Mai 1941, Methfesselstraße 7, Berlin-Kreuzberg. Die Z3 war funktionsfähig in allen Komponenten.

Z3r: Bauzeit 2007-2011, später mit Ergänzungen im Deutschen Technik Museum Berlin, in Berlin. Erste öffentliche Vorführung am 26. Juni 2010 in Hünfeld.

Bauelemente

Z3: Relais und Schrittschalter, dazu ein zentraler Taktgeber/Schaltwalze.

Z3r: Industrierelais und Zeitschalter der Fa. Finder, Schrittschalter sind mechanisch und elektronisch realisiert. Die Zeitschalter dienten zum Ersatz der Taktwalze bei der Z3.

Speicher

Z3: Ca. 1600 Relais, 64 Worte zu je 22 Bit, adressierbar über ein Wählwerk (5 Reihen: 1+2+4+8+16 Relais). Kapazität je Speicherschrank 704 Bit.

Z3r: Geändertes Design der Speicherschränke, Wählwerk und die Speicherblöcke sind optisch wirkungsvoller dargestellt.

PC: Zwei Gigabyte = zwei Milliarden Bytes = 16 Milliarden Bits.

Rechenwerk

Z3: ca. 600 Relais, 9 Schrittschalter, nur Addition- und Subtraktion, aber mit den beiden Shiftern auch Multiplikation, Division und Quadratwurzel.

Z3r: ca. 600 Relais, 50 Zeitschalter, elektronischer und mechanischer Schrittschalter. Rechenoperationen +, -, *, /, Quadratwurzel.

PC: Ein PC bezogen auf die Taktfrequenz ist damit ca. Millionen mal schneller als die Z3.

Steuerwerk-Leitwerk

Damit werden interne Abläufe in der Z3/Z3r kontrolliert, wie z.B. die die Folge von Rechenoperationen, die Umwandlung von Dezimal in Binärzahlen usw.

Planwerk

Konrad Zuse unterschied zwischen Plan- und Steuerwerk. Das Planwerk, abgeleitet von Rechenplan interpretierte die Befehle auf dem Lochstreifen, also die Programmbefehle.

Programmsteuerung

Z3: Instruktionen auf einem 35 mm Standardfilm, insgesamt neun Befehle.

Z3r: z.Z. nicht realisiert, kann aber über das Geheimfach simuliert werden.

Zahlendarstellung

Z3: Binäre Gleitkommazahlen.

Z3r: Zwei Modi in der neuen Z3r, binäre ganzzahlige Darstellung und binäre Gleitkommazahlen (umschaltbar), 22 Bit pro Wort.

Gleitkommadarstellung

Die Darstellung von Zahlen im Gleitkommaformat entspricht einer halblogarithmischen Form, z.B. $5,7 \cdot 10^3$ im Dezimalsystem (Basis 10) für die Zahl 5700. Eine Zahl in Gleitkommaformat setzt sich aus Vorzeichen, Mantisse und Exponent zusammen. Bei dem genannten Beispiel ist das Vorzeichen +, die 5,7 ist die Mantisse, die 3 der Exponent und die 10 die Basis. Dies ist auch im Dualsystem möglich. Die Gleitkommadarstellung ermöglicht das Rechnen mit sehr großen und kleinen Zahlen. Diese Darstellung gibt der Z3 einen großen Zahlenraum: 10^{20} bis 10^{-20} . Die Genauigkeit betrug vier Dezimalstellen, später bei der Z4 schon sechs Stellen.

Konsole-Ein-Ausgabe

Z3: Ein- und Ausgabe in dezimalen Gleitkommazahlen, 4 Ziffern für die Mantisse, 8 Ziffern für den Exponenten (-8 bis +8).

Z3r: Zusätzlich 60 Taster unter einer **Klappe/Geheimfach** zur detaillierten Steuerung aller Komponenten der Maschine bis in das einzelne Bit. Damit kann auch die Programmierung simuliert werden.

Taktfrequenz

Z3: Ca. 5 Hertz. Addition 0,8 Sek., Multiplikation ca. 3 Sek., über eine Schaltwalze, deren Geschwindigkeit geändert werden konnte, damit auch der Takt.

PC: Ca. 3 Milliarden Hertz (drei Gigahertz), damit ca. 600 Millionen mal schneller als die Z3.

Z3r: ca. fünf Hertz, aber asynchrone Steuerung.

Dialog-Programmmodus

Die Z3 wie auch die Z3r können in zwei Modi betrieben werden, entweder über das Programm oder über die Konsole im Dialog, aber auch beides auch gemischt.

Datenbusse

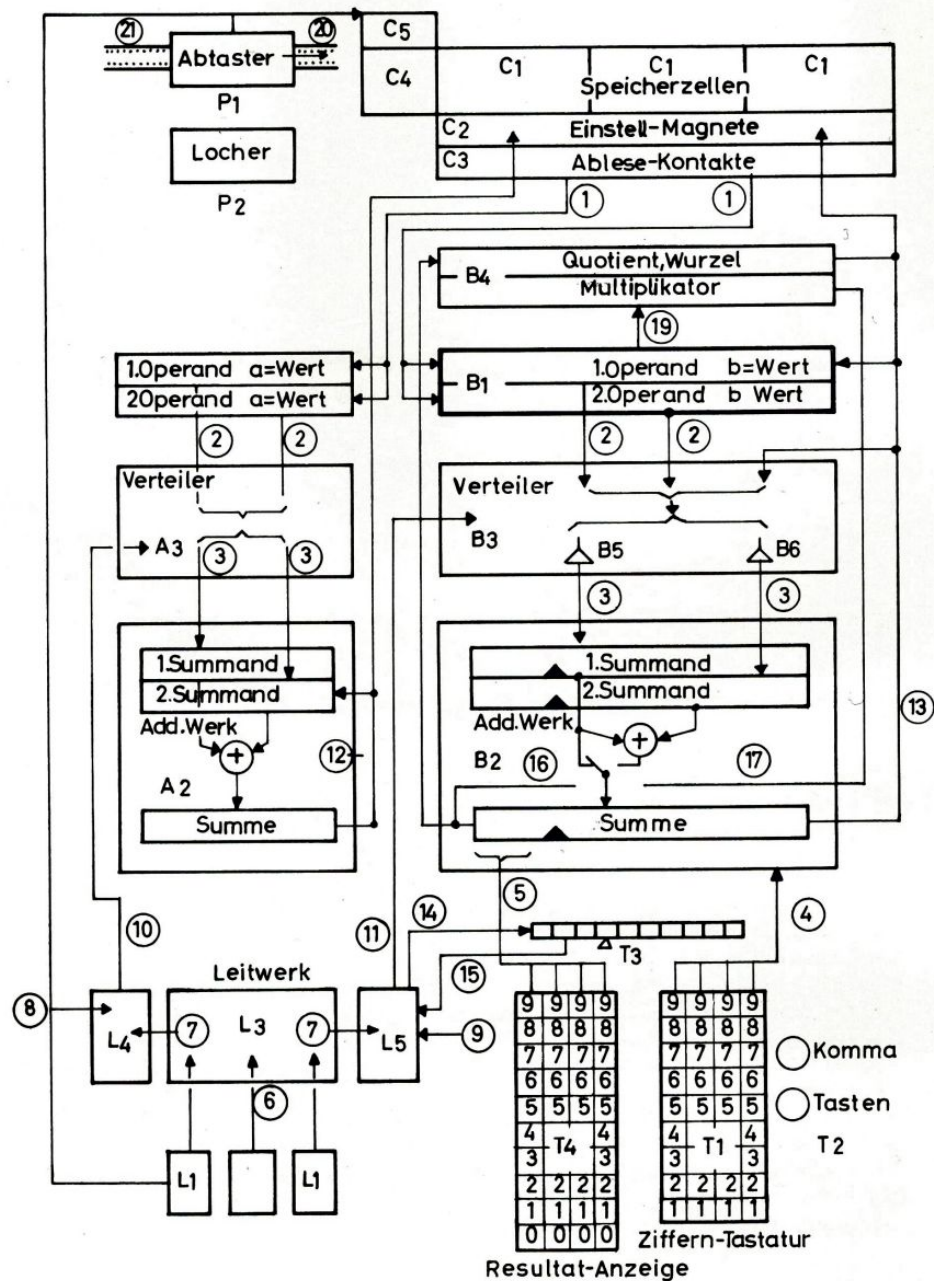
Über diverse Kabel werden Daten (jeweils 22 Bits) vom Rechenwerk zu den Speicherwerken und zurück transportiert.

Stromversorgung

Die Original Z3 benötigte ca. 4000 Watt mit ca. 48 Volt, bei der Z3r sind es 3x300Watt zu je 24 Volt.

5 Bockschema der Z3

9 Blockschema (Geräte Z1, Z3)



12

Darstellung der Konstruktion der Z3/Z3r. Eine ausführliche Beschreibung ist in *Horst Zuse: Rechenanlage Z3, 2016* zu finden.

6 Sponsoren und Unterstützer

Das Projekt neue Z3r im Jahr 2010 ist aus vielerlei Hinsicht sehr kompliziert. Ohne die unten aufgeführten Personen und Firmen wäre es nicht möglich gewesen, diese, zugegeben etwas verrückte Idee, zu realisieren. Der Autor bedankt sich bei den Sponsoren und Unterstützern zum Bau der neuen Z3. Ein besonderer Dank gilt dem Bürgermeister Dr. Fennel der Stadt Hünfeld, der sich sehr engagiert für die Finanzierung des neuen Nachbaus der Z3 eingesetzt hat.



Unterzeichnung der Vereinbarung zum Bau der neuen Z3 in Hünfeld mit Bürgermeister Dr. Fennel und Prof. Dr. Horst Zuse am 1. April 2010 (kein Aprilscherz).

Sponsoren

- Förderung Stiftung der Sparkasse Fulda.
- Zuschuss Land Hessen: Hessisches Ministerium f. Wissenschaft und Kunst.
- Dr. Tim Olbricht aus Hünfeld.
- Eigenanteil Stiftung Stadt- und Kreisgeschichtliches: Museum Hünfeld mit Konrad-Zuse-Museum.

Unterstützer des Projekts

- | | |
|---|-----------------------------|
| • Fa. Dux Elektrokontakt GmbH, 04303 Leipzig: | Schalter/ Anzeigen. |
| • Fa. Eltec Engineering GmbH, 10587 Berlin: | Mechanische Planung. |
| • Fa. Finder GmbH, 65468 Trebur-Astheim: | Relais, Zeitschalter. |
| • Fa. Erwin Krug & Söhne GmbH Co KG, 14199 Berlin: | Gehäuse/Schränke/Transport. |
| • Fa. Harting Deutschland GmbH Co KG, 32381 Minden: | Verbinder. |
| • Fa. Wago Kontakttechnik GmbH & Co KG, 32385 Minden: | Klemmen. |
| • Kanzlei Hübner & Dr. Körting, 10623 Berlin: | Gebrauchsmusterschutz. |
| • Fa. ELSAME GmbH - Forckenbeckstrasse 9-13, 14199 Berlin | Standort der Z3 ab August |
| 2010. Hier wurden weitere Arbeiten durchgeführt. | |

7 Anhang - Additionswerke der Z1, der Z3 und der Z3r

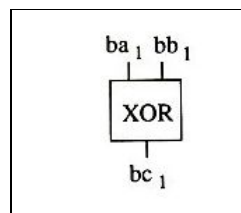
Die Maschine Z3 ist eine sehr elegante Konstruktion und als ältester Sohn von Konrad Zuse muss ich sagen: Respekt vor dieser Konstruktion. Die wichtigste Komponente der Z3 ist das Gleitkommarechenwerk, es besteht aus zwei Rechenwerken, die nur addieren und subtrahieren können. Diese sehr effiziente Konstruktion wurde schon in der Z1 eingesetzt, und bei den Rechner Z2 bis Z11 weiter verwendet. Beide Rechenwerke verarbeiten nur ganze Zahlen. Es ist **kein** DualCore Rechner, denn die beiden Rechenwerke arbeiten nur betreffend der Gleitkommaarithmetik über ein Interface/Steuerwerk zusammen, d.h. Exponent und Mantisse. In der Z3r können beide Rechenwerke separat vorgeführt werden (über das Geheimfach), was bei den beiden oben erwähnten anderen Nachbauten nicht möglich ist. Die Z1 und die Z3 sind damit die ersten Gleitkommarechner weltweit, ohne diese Zahlendarstellung würde heute fast keine Computer mehr auskommen, besonders die Supercomputer. Auch jeder PC/MAC hat diese Architektur.



Supercomputer im Zuse-Institut-Berlin (ZIB).

In dem oben erwähnten Buch von 1998 sind die Kopien des Patentantrages der Z3 (Z391) von 1941 zu finden. Empfehlenswert ist dieses Buch für Leser, die sich mit den Schaltungen der Z3 vertraut machen wollen. Zur Demonstration zeigen wir hier den Addierer für die Mantisse und den Exponenten. Wie schon ausgeführt, beide Rechenwerke können nur addieren und subtrahieren, und zwar nur für ganze Zahlen. Mit den beiden Shiftern zusammen sind auch andere Rechenoperation möglich. Dabei werden Logik Schaltelemente, realisiert durch Relais verwendet. Für XOR und AND gelten die folgenden Wahrheitstabellen. ba_1 ist ein Bit, bb_1 das zweite Bit, bc_1 ist der Ausgang. Nur diese beiden Logikbausteine werden für das Rechenwerk benötigt.

ba_1	bb_1	XOR- bc_1	AND- bc_1
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1



	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
15																							
1																							
16																							
Überträge																							
Takte																							

Wir erläutern nun eine Addition mit einem binären Halb- und Volladdierer. Diese beiden Begriffe finden Sie in der Literatur, wenn erläutert wird, wie addiert wird. Das Bild zeigt die Bits von 0-22. Jedes Feld ist ein Bit (hell ist grün=1, dunkel ist rot=0). Wir demonstrieren eine Addition, und zwar sequentiell von rechts nach links. Es sei schon angemerkt, dass das Addierwerk der Z3 **nicht** wie oben dargestellt arbeitet. Die obige Darstellung zeigt die klassische Arbeitsweise mit Halb- und Volladdierern. Die beiden ersten Reihen sind die Register Ba und Bb. In Register Ba steht die Zahl 15 binär codiert, im Register Bb die Zahl 1, ebenfalls binär codiert. In Zeile 3 steht das Ergebnis der Addition und in Zeile 4 die Überträge. Der Übertrag ist bei Bit 0 immer 0, daher das Wort Halbaddierer, d.h. nur zwei Bits werden addiert.

Takt 1: Die Addition beginnt mit Bit 0, dort werden $1 + 1 + 0$ (binär, XOR siehe oben) addiert, dies ergibt 0, aber mit einem Übertrag 1 im Bit 1, Zeile 4. Da hier der Übertrag immer 0 ist, genügt es, nur die beiden Bits von Ba und Bb durch XOR zu verknüpfen. Das ist der **Halbaddierer**.

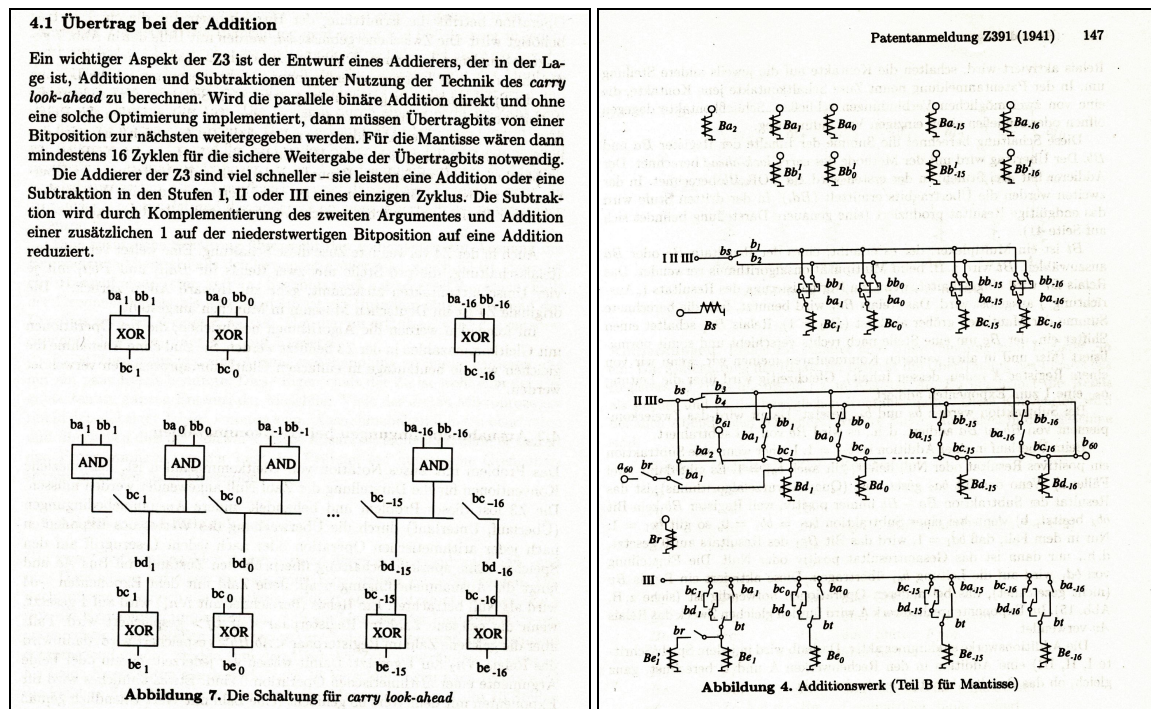
Takt 2: Binär $1 + 0 + 1$ ergibt 1. Jetzt müssen die Inhalte von Bit 1 der Register Ba, Bb und der Übertrag addiert werden. Das ist der **Volladdierer**. Es werden also immer die Inhalte von 3 Bits von rechts nach links addiert. Wir brauchen bei 22 Bits also 22 Takte. Nach der Addition steht in Register Ba die Zahl 16 (in unserem Beispiel waren nur wenige Takte erforderlich, da das Ergebnis nach 5 Takten schon feststand, aber da nicht bekannt ist, ob z.B. Bit 16 auf 1 steht, sind immer 22 Takte notwendig).

Das **Additions- und Subtraktionswerk** ist die zentrale Einheit der Z3 ansah, denn er wollte damit auch die Multiplikation, Division und die Quadratwurzel, die Konvertierung von Dezimalzahlen in Binärzahlen und die Konvertierung von Binär- in Dezimalzahlen realisieren, wäre die oben gezeigte Vorgehensweise vom Rechenaufwand nicht vertretbar gewesen. Alleine für die Addition wären für die Mantisse 16 Takte notwendig gewesen, in der Z4 von 1945 mit 32 Bitstellen wären es schon 24 Takte gewesen. Der Takt der Z3 betrug fünf Hertz, also wären für 16 Bit 16 Takte notwendig, also etwas über drei Sekunden. Die Multiplikation hätte 16×16 Takte erfordert, also 256 Takte (16 bedeutet die wiederholte Addition für jedes Bit der Mantisse). Mit dem obigen Beispiel haben wir nun auch dargestellt, was ein Takt ist.

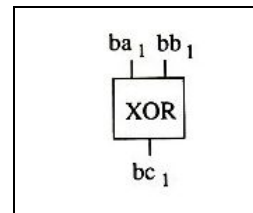
Die hohe Taktzahl mit Halb- und Volladdierer ergibt sich aus der Weiterleitung des Übertrages von rechts nach links. Bei der oben gezeigten klassischen Schaltung mit Halb- und Volladdierern muss im nächsten Schritt immer erst bekannt, ob wir einen Übertrag haben oder nicht. Wir nennen das auch Lookahead. Nehmen Sie ein Blatt Papier und einen Bleistift zur Hand, sie werden sehen, dass Sie die Addition ebenso durchführen, eben nur im Dezimalsystem.

Konrad Zuse entwarf daher ein **neues Addierwerk**, eine neue Schaltung, die die Problematik des Übertrages, d.h. die Weiterreichung von rechts nach links in einem einzigen Takt erledigt. Sein Ziel war, die Überträge in einem einzigen Takt durchzuführen. Er konstruierte die Schaltung, so dass nur drei Takte für eine Addition notwendig waren und das unabhängig von der Anzahl der Bit, d.h. der Größe der Zahlen. Man kann sagen, dass er das Prinzip des **Halb- und Volladdierers** geschickt kombiniert hat und den enormen Nachteil dieser Schaltungen aufgehoben hat. Mit einfachen XOR und AND logischen Schaltkreise hat er dieses Addierwerk realisiert. Übrigens, es wird immer gleich schnell addiert, egal wie groß die Zahl ist.

Wir präsentieren dazu die Schaltung des Zuse-Addieres-Subtrahiers aus dem Buch von Raul Rojas.



Die Zeichnung links zeigt die Logik der Addition. Die Addition erfolgt in drei Schritten, wir nennen dies auch Takte. Was ist nun ein Takt? Es sind Folgen von Operationen in bestimmten Zeitintervallen, d.h. eine Operation muss korrekt ausgeführt werden, dann kann erst der nächste folgen. Ein Beispiel aus dem täglichen Leben soll dies erläutern: Sie gehen ins Theater an die Garderobe und geben den Mantel ab. Diese Handlung muss erst abgeschossen sein, bevor Sie das z.B. noch ein Glas Sekt zu sich nehmen wollen. Dazu, bevor der Takt ausgeführt werden kann, sind evtl. noch Vorbereitungen notwendig, bevor Sie ein Glas Sekt bestellen, schauen Sie erst einmal auf die Getränkekarte. Also, ein Takt wird vorbereitet und dann durchgeführt.



Im Bild links sehen wir in der ersten Reihe das XOR, das sind Boolesche Operationen oder wie Konrad Zuse es bezeichnet hat, Operationen der Aussagenkalküls, denn George Boole kannte er um 1936 nicht. In der zweiten Reihe sind es AND-Operationen. In der dritten Reihe nochmals XOR-Operationen. Dies sind logisches Schaltglieder mit den beiden Eingänge ba1 und bb1. Beide Eingänge können nur 0 oder 1 sein, der Ausgang bc1 auch. 0 bedeutet etwa Strom aus, 1 Strom an. Das rechte Bild zeigt die Realisierung mit Relais, wie oben dargestellt. Mit der obigen Schaltung werden zwei Binärzahlen Ba und Bb addiert bzw. subtrahiert. Die beiden Schaltungen werden hier erläutert.

Anmerkungen. Die Schaltung zeigt das Additionswerk für Mantissen. Die Relaisreihe Ba enthält den ersten Summanden, die Relaisreihe Bb den zweiten. Jedem Bit ist ein Relais zugeordnet. Ba₂ bis Ba₋₁₆ bezeichnen die 18 Bits des Registers Ba, die Relais Bb₁ bis Bb₋₁₆ die 17 Bits des Registers Bb. Die Relais Bb sind Selbsthalterelais. Der Superindex 1 (z. B. Bb₀¹) bezeichnet die erste Wicklung des Selbsthalterelais.

Die Kontakte der Relais werden hier und in den anderen Abbildungen immer in ihrer Ruhestellung gezeichnet; das heißt, wenn das entsprechende

Relais aktiviert wird, schalten die Kontakte auf die jeweils andere Stellung um. In der Patentanmeldung nennt Zuse Schaltkontakte jene Kontakte, die eine von zwei möglichen Verbindungen schließen. Schließkontakte dagegen öffnen oder schließen einen einzigen Verbindungsweg.

Diese Schaltung berechnet die Summe der Inhalte der Register Ba und Bb . Der Übertrag wird mit der Methode des *carry look-ahead* berechnet. Der Addierer hat drei Stufen: In der ersten wird $Ba \text{ XOR } Bb$ berechnet. In der zweiten werden die Übertragbits ermittelt (Bd_i). In der dritten Stufe wird das endgültige Resultat produziert (eine genauere Darstellung befindet sich auf Seite 41).

Bt ist ein Multiplexer, der es erlaubt, eines der Resultate Be oder Ba auszuwählen. Bt wird z. B. beim Multiplikationsalgorithmus verwendet. Das Relais Br wird eingeschaltet, wenn die Normalisierung des Resultats („Ausrichtung“) ausgelöst wird. Das Relais Be'_1 wird benutzt, falls die berechnete Summe der Mantissen größer als 2 ist ($Be_1 = 1$). Relais Be'_1 schaltet einen Shifter ein, der Be um eine Stelle nach rechts verschiebt und somit normalisiert (hier und in allen weiteren Kommentaren meinen wir, wenn wir von einem Register X reden, dessen Inhalt). Gleichzeitig wird über die Leitung a_{60} eine 1 zum Exponenten addiert.

Bei Subtraktion werden bs und b_{60} gesetzt. Damit wird das Zweierkomplement von Bb zu Ba addiert, d. h., es wird Bb von Ba subtrahiert.

Beim Überlauf in einer Addition ist $b_{61} = 1$. Immer wenn eine Subtraktion ein positives Resultat oder Null liefert, gilt auch $b_{61} = 1$. Es gibt dafür zwei Fälle: a) Wenn das Bit ba_2 gesetzt ist (Quadratwurzelalgorithmus), ist das Resultat der Subtraktion $Ba - Bb$ immer positiv, weil Register Bb kein Bit bb_2 besitzt; b) wenn bei einer Subtraktion $ba_1 = bb_1 = 0$, so gilt $bc_1 = 1$. Nur in dem Fall, daß $bd_1 = 1$, wird das Bit Be_1 des Resultats auf 0 gesetzt, d. h., nur dann ist das Gesamtergebn positiv oder Null. Die Einstellung von bd_1 wird auf die Leitung b_{61} übertragen. Diese aktiviert ein Relais Bv (nicht gezeichnet), das bei anderen Operationen notwendig ist (siehe z. B. Abb. 15). Im Exponentenrechenwerk A wird für den gleichen Zweck das Relais Av verwendet.

Die Additionswerke sind immer aktiv. Deshalb wird in jedem Spiel (Schritte I, II, III) eine Addition in den Rechenwerken A und B berechnet, ganz gleich, ob das Resultat benötigt wird oder nicht.

Die obige Schaltung für die Addition und Subtraktion ist auf der folgenden Internetseite sehr schön dargestellt.

http://www.sn.schule.de/~ms161/virtuelle_schule/informatik/binaere_logik/crashkurs.htm

8 Additions- und Subtraktionswerk der Z3 - Erläuterung

Wir demonstrieren nun die Addition und Subtraktion. Wir führen folgende Notationen ein. Operanden Aa und Ab sind die beiden Operanden für die Addition oder Subtraktion. $Ab' =$ normales Komplement, d.h. 0 und 1 werden zu 1 und 0 getauscht, $Ab'' =$ 2-Komplement, d.h. zu Ab' wird eine binäre 1 dazu addiert. $Aa + Ab \Rightarrow Ae$ bedeutet, Aa und Ab werden binär addiert und das Ergebnis geht nach Ae. Ae'' bedeutet, das Ergebnis ist im 2-Komplement dargestellt.

Operation	Operanden	Dezimal	Binär
Addition 7 + 1			
Erster Operand	Aa	7	0111
Zweiter Operand	Ab	1	0001
Ergebnis Addition	$Aa + Ab \Rightarrow Ae$	8	1000

Subtraktion 7 - 1			
Erster Operand Aa		7	0111
Zweiter Operand Ab		-1	0001
Komplement Ab'			1110
2 Komplement Ab''		+1	1010
$Aa - Ab$, d.h. $Ab + Ab''' + 1$		6	0110

Wir erhalten das Ergebnis 6 ($7-1 = 6$). Dabei wird eine gesonderte LED angezeigt, nämlich dass das Ergebnis $Ae \geq 0$ ist. Die Addition und Subtraktion werden in nur drei Takten ausgeführt.

Was ist aber, wenn wir $1-7$ ausrechnen wollen?

Subtraktion 1- 7			
Erster Operand Aa		1	0001
Zweiter Operand Ab		7	0111
Komplement Ab'			1000
Dazu die binäre 1 addieren $Ab' \rightarrow Ab''$		+1	1001
Dazu Aa			0001
Ergebnis $Aa + Ab'' \Rightarrow Ae''$ im 2-Komplement			1010

Das Ergebnis liegt nun im 2-Komplement vor, aber wir erwarten die -6 als Ergebnis. Dazu sind nun zwei weitere Takte notwendig. Ae wird nach Ab kopiert, Aa wird auf 0 gesetzt. Jetzt wird eine weitere Subtraktion durchgeführt.

Aa	0	0000
$Ae \rightarrow Ab$		1010
Ab'		0101
Ab'' , d.h. $Ab' + 1$		0110
$Aa + Ab'' + 1 \Rightarrow Ae$	-6	0110

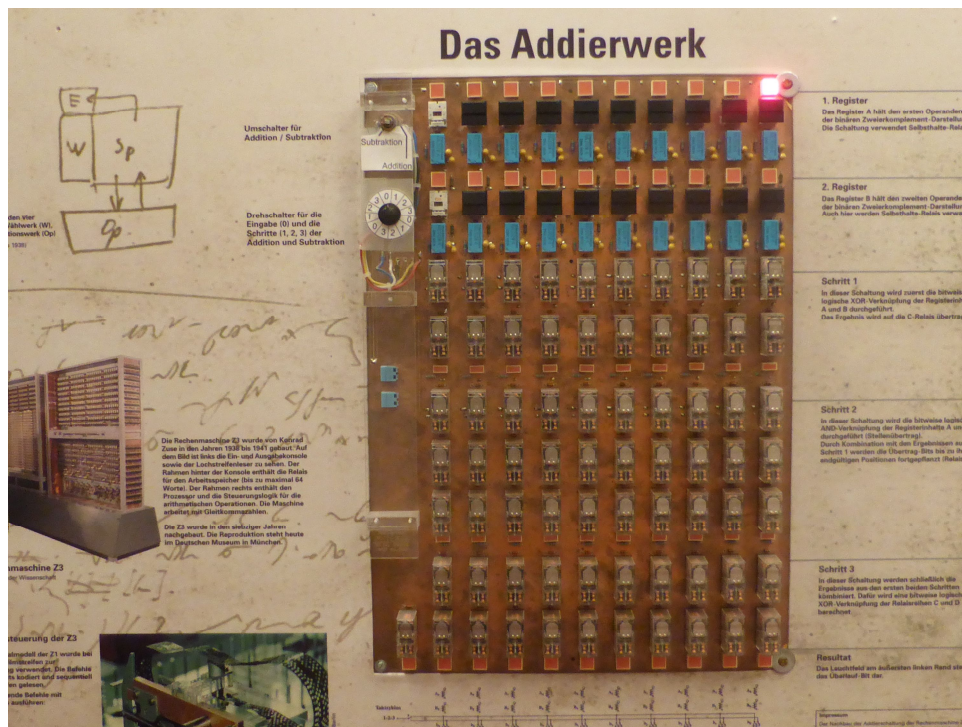
Das Minuszeichen wird gesondert angezeigt.

Zusammengefasst

- Für die Addition benötigen wir drei Takte: $Ae + Ab \Rightarrow Ae$.
- Für die Subtraktion sind ebenfalls **drei Takte** notwendig, wenn $Aa \geq Ab$ ist. Es gilt: $Aa + Ab'' \Rightarrow Ae$.
- Wenn $Aa < Ab$, dann sind **fünf** Takte notwendig. Es gilt **Takt 4** mit $Aa + Ab'' \Rightarrow Ae''$. Dann erfolgt **Takt 5** mit $Aa=0$, $Ae \Rightarrow Ab$, dann $Aa + Ab'' \Rightarrow Ae$.

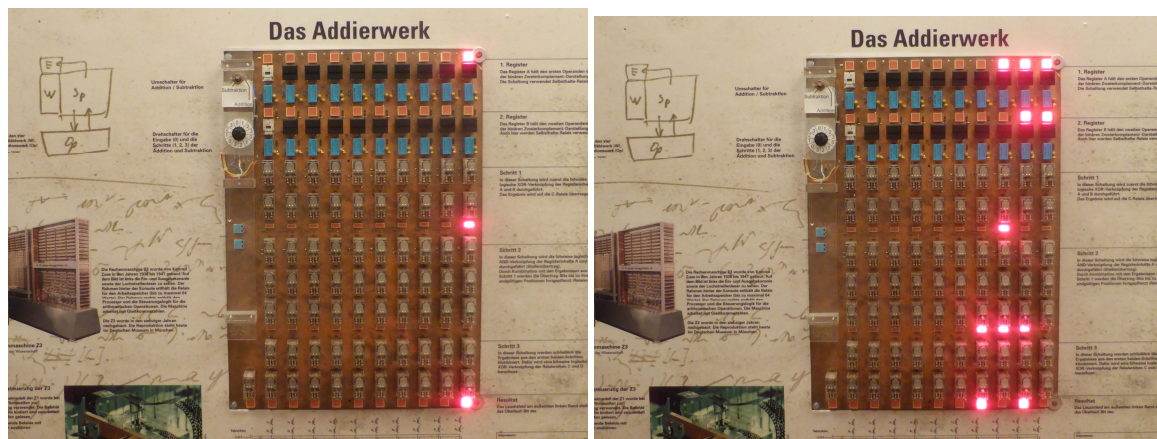
9 Additions- und Subtraktionswerk der Z3 - Demonstration

Im Jahr 2001 stellte Raul Rojas mit seinem Team ein Modell des Z3 Addierers vor.



Das ist ein Addier- und zugleich Subtrahierwerk der Z3 mit 10 Bitstellen (Die Bezeichnung Bit gab es damals noch nicht, Konrad Zuse sagte Ja-Nein Werte). Es stammt aus dem Projekt der Z3 von 2001. Die erste Reihe ist Aa, die zweite Ab, dies sind die Operanden für die Addition/Subtraktion. Die nächsten zwei Reihen sind für den ersten Takt vorgesehen, die nächsten drei für den zweiten Takt und die letzten zwei Reihen für den dritten Takt. Die unterste Relaisreihe zeigt das Ergebnis Ae an. Aa1 ist hier die binäre 1, Ab ist 0. In der folgenden Darstellung können Sie nachvollziehen, wie die Additions- und Subtraktionsschaltung von Konrad Zuse funktioniert.

Die folgenden Bilder zeigen eine einfache Rechenoperation, nämlich binär $1+0$ und $7+3$. Die drei Takte sind zusammen gefasst.



Wir haben bei $1 + 0$ binär das Ergebnis 0. Binär $7 + 3$ ergibt 10.

Subtraktion

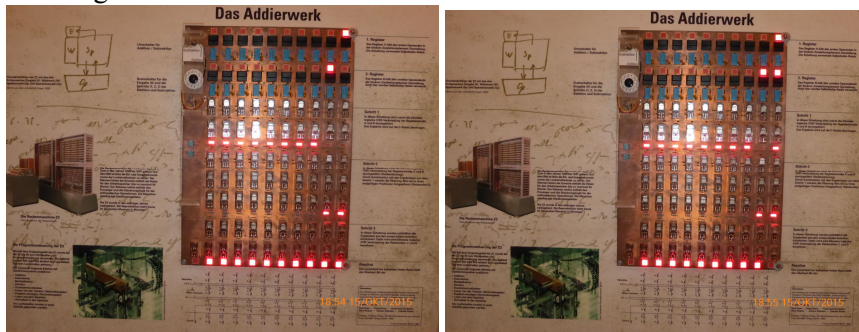
Wir präsentieren nun die Subtraktion, und zwar 1-1, das ergibt 0. Ganz unten links wird angezeigt, daß es sich um eine Subtraktion mit einem Ergebnis $Ae \geq 0$ handelt. Die Subtraktion wird mit dem 2-Komplement durchgeführt.



Dies ist die Subtraktion von dezimal 1-1. Hier ist das Ergebnis dezimal 0, es wurde binär berechnet: $Aa + Ab'' \Rightarrow Ae$. Ae ist ≥ 0 , dies wird unten ganz links mit einer LED angezeigt.

Verschiedene Subtraktionen

Wir zeigen die Subtraktionen von 1-2 und 1-3.



Das Ergebnis erfolgt jeweils im Zweierkomplement. Zweierkomplement $Aa + Ab'' \Rightarrow Be''$. Die Binärstellen von Ab werden invertiert, also 0 zu 1, 1 zu 0, dann wird wie oben gezeigt ein 1 dazu addiert.

Die Frage ist, was kann man mit einem 2-Komplement als Ergebnis Ae'' anfangen. Die Antwort ist, es ist nur geeignet für eine weitere interne Rechnungen. Um wieder eine ganze Zahl zu erhalten, müssen zwei weitere Takte hinzugefügt werden. Wir demonstrieren dies mit 1-7.



Dies ist ein Beispiel für die Subtraktion von 1-7, also $Aa + Ab'' \Rightarrow Ae''$. Das Ergebnis erfolgt im Zweierkomplement. Jetzt folgt Takt 4, nämlich: Das Ergebnis Ae'' wird nach Ab kopiert, Ba wird auf Null gesetzt und es wird nochmals subtrahiert (Takt 5), d.h. $Aa + Ab'' \Rightarrow Ae$. Wie wir sehen ist das Ergebnis ist jetzt 6. Das Minuszeichen muss gesondert berücksichtigt werden.

10 Was ist ein Computer?

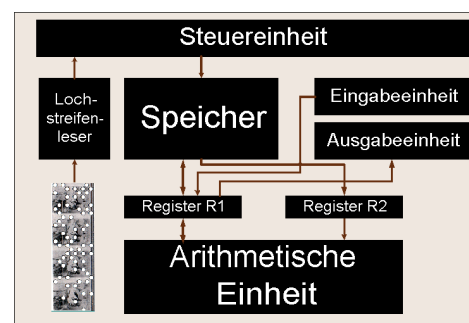
Kann mit der Z3r nun tatsächlich gezeigt werden, was ein Computer ist? Der Autor sagt ja.

- Jedes Relais in der Z3r repräsentiert ein Bit bzw. einen Ja-Nein Wert. Damit sind wir bei der kleinsten Einheit der Informationstechnik, dem Bit angelangt. Jeder Besucher kann ein Bit/Ja-Nein-Wert anfassen, d.h. ein Relais.
- Die Funktionsweise des Rechenwerkes für Addition und Subtraktion, aber auch für Multiplikation und Division kann dargestellt werden. Es kann jeder Schritt/Takt einzeln gezeigt werden.
- Die Ein- und Ausgabereinheit im Dezimalsystem als Gleitkomma, aber auch als ganze Zahl, wenn der Exponent 0 ist.
- Ein Gleitkommarechner mit zwei Rechenwerken, eines für den Exponenten, das andere für die Mantisse (jedes für ganze Zahlen). Erst die Kombination über ein Interface kontrolliert die Zusammenarbeit beider Rechenwerke für die Gleitkommarechnung.
- Was ist digital? Es kann mit Relais gezeigt werden.
- Speicherwerke für binär dargestellte Zahlen, Exponent und Mantisse, aber es könnten auch Buchstaben sein. Buchstaben werden auch über Bitkombinationen dargestellt, ist aber in der Z3 nicht realisiert.
- Eine einfache Graphikkarte, zur Darstellung der dezimalen Zahlen bei der Ausgabe.
- Das Steuerwerk, es verwaltet alle Rechenoperationen, z.B. die Umwandlung der Binärzahlen in Dezimalzahlen, aber auch die Multiplikation.
- Steuerung der gesamten Maschine über das Geheimfach, kann aber auch jede einzelne Komponente.
- Zum Schluss die Programmsteuerung, die z.Z. nicht realisiert ist, aber durch das Geheimfach simuliert werden kann.

Da gibt es natürlich noch Fragen, z.B. was ist denn mit dem Internet? Ist das auch rechnen? Ja, denn es werden Bits zu einem Server geschickt und durch den Server modifizierte Bits kommen wieder zurück. Beim Rechnen geschieht das gleiche, denn Eingangsbits werden umgewandelt und das Ergebnis sind modifizierte Bits.

Z3/Z3r Kompakt

Die Maschine Z3 ist eine frei programmierbare Rechenmaschine. Das Rechenwerk führt die vier Grundrechenarten Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division, sowie die Quadratwurzelberechnung auf Gleitkommazahlen durch. Der Speicher umfasst 64 Worte zu je 22 Bit. Eine Steuereinheit kontrolliert gemäß einem Programm sämtliche Abläufe in der Z3. Die Befehle eines Programms können auch im Einzelschrittmodus eingegeben werden. Der Rechner ist in Digitaltechnik aufgebaut, d.h. die Schaltungen sind gemäß den Regeln der Schaltalgebra aufgebaut. Über die Ein-/Ausgabe-Konsole werden die Daten als dezimale Gleitkommazahlen eingegeben bzw. ausgegeben. Blockschaltbild der Z3/Z3r. Register R1 und R2 sind Kurzspeicher zu je 22 Bit, die die Operanden für die Rechenoperationen speichern.



Das klingt sehr abstrakt, aber wie oben gezeigt, mit der Z3r kann es demonstriert werden.

11 Zuse Broschüren von Horst Zuse

Neu sind die **fett** gedruckten Broschüren.

Horst Zuse: Konrad Zuse Multimedia Show 2007

Diese DVD ist von Horst Zuse nach dem Ableben von Konrad Zuse im Jahr 1995 konzipiert worden. Zugegeben, damals sicherlich mit W2000 und Windows XP zeitgemäß, aber heute schreiben wir 2016. Dennoch, unter W7 im XP-Modus funktioniert diese DVD, und die vielen Videos aus der Urzeit des Computers sind zeitlos interessant, auch die Historie ist korrekt dargestellt und dazu die vielen Simulationen von Zuse-Maschinen. So ist diese DVD selbst schon Historie. Siehe <http://www.horst-zuse.homepage.t-online.de/dvd-beschreibung.html> oder einfach www.zuse.de. Auch unter Windows 7.

Horst Zuse: Rechenanlage Zuse Z3r, 2016.

25 Seiten

Diese Broschüre gibt sehr viele Informationen zur neuen Z3r auch zur Z3, die anlässlich des 100. Geburtstages von Konrad Zuse im Jahr 2010 von Horst Zuse präsentiert wurde. Mit vielen Beispielen wird die Funktionsweise dieser Maschine erläutert. Diese neue Z3r steht im Deutschen Technik Museum Berlin.

Horst Zuse: Konrad Zuses Werk, 2007

124 Seiten.

Diese Broschüre enthält neben Informationen zu Konrad Zuse selbst die Beschreibung vieler Zuse-Maschinen anhand der Originalprospekte der Zuse KG. Eine solche Veröffentlichung existiert bisher nicht.

Horst Zuse: Die Rechenanlage Z3-Erster Computer der Welt, 2016.

35 Seiten

Diese Broschüre beschreibt die Z3 von 1941 anhand von Originalveröffentlichungen der Zuse KG in den Zuse-Foren von 1962 und 1963. Sie wird vom Autor zum 75-jährigen Jubiläum der Z3 am 12. Mai 2016 herausgegeben.

Horst Zuse: Die Zuse Computer -Zuse-Apparatebau Berlin, Zuse-Ingenieurbüro Hopferau, Zuse KG, 2016.

98 Seiten

Diese Broschüre beschreibt den Werdegang der Zuse-Apparatebau in Berlin (1941-45), des Zuse Ingenieurbüros Hopferau (1946-49), und der Zuse KG (1949-1971). Es werden fast alle während dieses Zeitraumes gebauten Zuse-Maschinen mit Fotos und erläuterten Texten dargestellt. Die Zuse KG hat im oben genannten Zeitraum ca. 800 Maschinen gefertigt. Außerdem enthält diese Veröffentlichung die Publikation: 25 Jahre Zuse KG von 1961.

Horst Zuse (Hrsg.): Lorenz Hanewinkel: Konstruktion der Maschine Z22

30 Seiten.

Die Maschine Z22 ab 1957 war eine wichtige Rechenanlage für Hochschulen, Universitäten und wissenschaftliche Institute in Deutschland, aber auch für Industriefirmen, wie die optische Industrie. Sie führte die Datenverarbeitung in die oben genannten Institutionen ein. Es war eine direkte Konkurrenz zur IBM 650, aber kostete weit weniger als die Hälfte bei fast gleicher Leistung.

Horst Zuse: Konrad Zuse's Computer Z3

17 Seiten

Der Zuse Computer Z3 beschrieben in englischer Sprache.

Zusammengefasst: Diese Broschüren enthalten Text- und Bildmaterial, welches aus dem Archiv von Horst Zuse sorgfältig ausgewählt wurde. Diese Broschüren können über das **Internet** unter www.zuse.de, dem Konrad-Zuse-Museum Hünfeld sowie dem Deutschen Technik Museum in Berlin bezogen werden (Museumshops).

Berlin, April 2016

12 Über den Autor



Horst Zuse wurde am 17.11.1945 geboren und studierte von 1967 bis 1973 Elektrotechnik an der Technischen Universität Berlin (TUB). Im Jahr 1985 promovierte er auf dem Gebiet der Softwarekomplexitätsmaße und es folgte 1987 ein einjähriger Forschungsaufenthalt am IBM Thomas J. Watson Research Center in Yorktown Heights/New York in den USA. 1991 publizierte er das Buch: *Horst Zuse: Software Complexity - Measures and Methods*, im DeGruyter Verlag und 1998 erschien das Buch: *Horst Zuse: A Framework of Software Measurement*, im DeGruyter Verlag. Im Jahr 1998 verlieh der Fachbereichsrat Informatik der TU-Berlin ihm im Rahmen des Habilitationsverfahrens die Lehrbefähigung und –befugnis (Privatdozent) auf dem Gebiet der Praktischen Informatik. Von 2003 bis 2006 war er

Gastprofessor an der FH-Lausitz und wurde am 20. November 2006 zum Professor der Universität Cottbus ernannt.

Adresse des Autors

Professor Dr.-Ing. Horst Zuse
10719 Berlin
Tel.: +49 - 30-881 59 88
Fax: +49 - 30-886 81 678

E-mail: horst.zuse@t-online.de
Internet: www.zuse.de