

Inhaltsverzeichnis

1	Konrad Zuses Leben	1
1.1	Kindheit	1
1.2	Schulzeit	1
1.3	Studienjahre	2
1.4	Die ersten Pläne für eine Rechenmaschine	4
1.5	Vor dem Krieg	6
1.6	Die Kriegsjahre	9
1.7	Nachkriegsjahre	12
1.8	Aufbau der Zuse KG	14
1.9	Überblick	18
2	Seine Rechenmaschinen	18
2.1	Z1 (1936-38)	18
2.2	Z2 (1938-39)	19
2.3	Z3 (1941)	19
2.3.1	Die Steuereinheit	20
2.3.2	Programmsteuerung	20
2.3.3	Speicher	21
2.3.4	Wählwerk	21
2.3.5	Arithmetische Einheit (Rechenwerk)	21
2.3.6	Addition mit einschrittigem Übertrag (Carry-Look-Ahead) und Multiplikation	23
2.3.7	Ein- und Ausgabereinheit	23
2.4	Z4 (1942-1947)	23

1 Konrad Zuses Leben

1.1 Kindheit

Konrad Zuse wurde am 22. Juni 1910 in Berlin-Wilmersdorf geboren. Er ist aufgewachsen als Sohn des fleißigen Postbeamten Emil Zuse in der Stadt Braunsberg. Fleiß und Arbeit hat er aber auch von der Seite seiner Mutter Maria Zuse in die Wiege gelegt bekommen. Denn sie stammte aus einer Familie, die mit schwerer Arbeit den Lebensunterhalt verdienen musste. Er verbrachte nur die ersten beiden Jahre in Berlin. Trotzdem hat diese Großstadt einen großen Eindruck auf ihn hinterlassen. Dann wurde sein Vater im Jahre 1912 nach Braunsberg versetzt. Dort besuchten dann er und seine Schwester Liselotte zuerst die Grundschule. Konrad Zuse besuchte später das Gymnasium. Zu dieser Zeit war der Metallbaukasten „Stabil“ der Firma Walther & Co. sein bester Freund.

1.2 Schulzeit

Konrad Zuse besuchte das humanistische Gymnasium in Braunsberg, an dem bereits der berühmte Mathematiker Karl Weierstraß (1815 - 1897) gewirkt hatte. Hier herrschte noch „der alte Geist“. Es war eine recht strenge, typisch altsprachlich geprägte Schule. Sprachen lagen aber dem jungen Zuse nicht. Das Erlernen der lateinischen Vokabeln viel ihm sehr

schwer. Sein Interesse galt eher technischen Konstruktionen und Gebilden. Daher war seine ganze Aufmerksamkeit seinem Stabilbaukasten gewidmet.

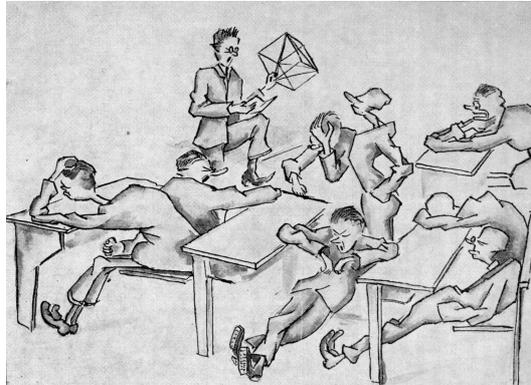


Abbildung 1: Karrikatur aus der Schulzeit

1924 wechselte Zuse dann auf das Reformrealgymnasium in Hoyerswerda, Oberlausitz. In Hoyerswerda herrschte „freiheitlicher Geist“. Hier konnte er seinen technischen Drang weiter ausleben. Die damals modern eingerichteten Braunkohlegruben mit ihren großen Ausbauförderbrücken dienten als Vorlage zum Nachbau mit dem Stabilbaukasten.

Metropolis

Im Jahre 1926 entwickelte Zuse als Jahresarbeit einen Entwurf einer Großstadt nach verkehrstechnischen Gesichtspunkten. Damals gab es zwei vorherrschende Systeme für ein besonders günstiges Straßensystem: das amerikanische Schachbrettmuster und ein rein zentrales System. In seinem Entwurf kam eine Vereinigung beider Systeme zum Tragen (Abb. 2). Hierbei löst sich das äußere zentrale Straßensystem im Zentrum in ein homogenes 60° -Straßensystem auf. Hierbei können enge Straßenschluchten wie z.B. in New York vermieden werden, wenn nur die Sechsecke, nicht aber die dazwischenliegenden Dreiecke bebaut werden. Hierfür entwickelte er auch die inzwischen sehr bekannte Kleeblattkreuzung. In einer späteren Betrachtung dieser Arbeit findet Zuse sie einfach nur einseitig und langweilig.

1.3 Studienjahre

Zuse begann vielerlei Fächer zu studieren, die er fast immer wieder abbrach. Zunächst belegte er an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg Maschinenbau. Aber da er seinen schöpferischen Geist beim Maschinenzeichnen durch die Normen eingeschränkt sah, entschied er sich als nächstes Fach die Architektur zu wählen. Hier war er wieder enttäuscht: Sein Traum von Entwürfen technisch großzügiger Bauten wurde in den ersten Semestern nicht erfüllt. Daher hielt er auch dieses Studium nicht durch und sattelte abermals um, diesmal in der gleichen Fakultät. Im Bauingenieurstudium sah er die ideale Kombination von Ingenieur und Künstler. Die statischen Rechnungen wirkten allerdings sehr ernüchternd auf ihn. Später entstand aber hieraus die Idee der programmgesteuerten Rechenmaschine.

Einen großen Teil seiner Zeit widmete er seinem Hobby, der Fotografie. Hier sah er noch viel Potential, was Erfindungen anging: eine automatische Fotokabine, automatisiertes Ent-

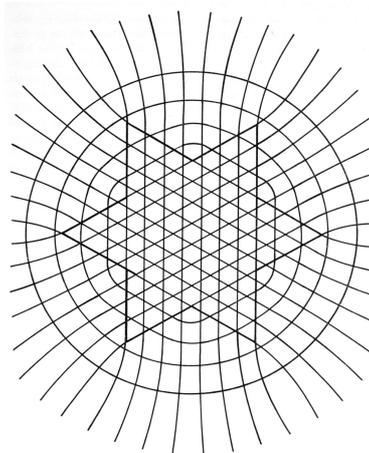


Abbildung 2: Metropolis

wickeln von Fotoarbeiten etc. Da die automatische Fotokabine erfunden wurde, bevor Zuse es tat, entwickelte er automatische Entwicklungsanlagen, bei denen am laufenden Band die Negative an dem Laboranten vorbeiliefen, der lediglich die Knöpfe „normal“, „unterbelichtet“, „überbelichtet“ zu drücken hatte. Zu jedem Film sollte dann als Anlage eine Lochkarte oder ein Lochstreifen angefertigt werden, wo zu jedem einzelnen Bild die Daten über Belichtung, Ausschnitt etc. gespeichert wurden. Diese Idee wurde aus Kostengründen und der Weiterentwicklung der Fotografie (Belichtungsmesser, Standentwickler, ...) nie verwirklicht.

Dann entwickelte Zuse einen Warenautomat mit automatischer Geldrückgabe. Diesmal nicht nur auf dem Papier. Bei diesem Automaten konnte man die Waren verschiedener Preise und Menge nacheinander an einer Wählscheibe bestellen (Abb. 3). Die Preise wurden im Automaten addiert, und dann konnte man durch Einwerfen beliebiger Geldstücke die Herausgabe der Waren veranlassen. Der Automat addierte die eingeworfenen Beträge, bildete die Differenz zur Bestellung und zahlte aus.

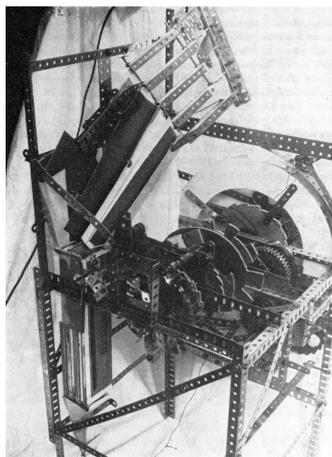


Abbildung 3: Warenautomat mit Geldrückgabe

Konrad Zuse einmal anders

Konrad Zuses Gedanken spielten sich aber nicht nur im Reich der Technik ab, sondern er beschäftigte sich auch mit allgemeinen kulturellen, weltanschaulichen und philosophischen Fragen. Die im Jahre 1929 beginnende Wirtschaftskrise ließ seinen Berufswunsch des Ingenieurs nicht sehr aussichtsreich erscheinen. Daher startete er den Versuch, Reklamezeichner zu werden, scheiterte aber an der schlechten Konjunktur.

An der Technischen Hochschule war er Mitglied einer alten Studentenverbindung, dem Akademischen Verein „Motiv“, die sich mit Kultur und Kunst beschäftigten. Die Studenten suchten hierin einen Ausgleich für den nüchternen Betrieb der Hochschule. In diesem Verein hatte das Amateurtheater lange Tradition. Einmal wöchentlich traf man sich in einer Kneipe, wo kleinere Stücke aufgeführt wurden (Abb. 4).



Abbildung 4: Zuse als Laienschauspieler

Auch auf der Straße trieben die Studenten ihr Unwesen. Auf einem belebten Platz stellten sie sich alle zu einem Foto auf, natürlich nicht ohne dabei den Verkehr erheblich zu behindern. Dann tauchte plötzlich Zuse aus einer Seitenstraße heraus auf, ergriff die Kamera und lief davon. Alle anderen schreiend („Haltet den Dieb!“) hinter ihm her. Nachdem die Berliner Bevölkerung lebhaften Anteil an der Verfolgungsjagd nahm, lief er schnell in einen Hauseingang und konnte gerade noch verschwinden, als die hetzende Meute auch schon hinter ihm herkam. In Ruhe ging er dann die Treppe hinunter und fragte: „Suchen Sie jemand? Da ist eben jemand ganz schnell die Treppe hinaufgelaufen.“ Er wurde nicht erkannt und konnte sich so unter die Menge mischen.

1.4 Die ersten Pläne für eine Rechenmaschine

Konrad Zuses Idee, eine Rechenmaschine zu entwickeln, wuchs aus der Not heraus. Er wollte einfach nicht einsehen, dass Menschen ihr kostbares Leben damit verschwenden, so nüchterne Rechnungen zu machen, wie er sie in seinem Studium ständig tun musste. Er wollte eine Maschine entwickeln, die den armen Studenten das Leben erleichtert. Da die statischen Rechnungen nur die Ausführung von Rechenschemata und Formblättern war, begann er damit, vorgedruckte bzw. vorgefertigte Formblätter zu entwerfen, in denen nur noch die Eingangswerte eingesetzt werden mussten, so dass der weitere Rechenablauf durch den Aufbau dieser

Formblätter „automatisch“ abließ. Formelkonstanten standen bereits an den richtigen Stellen. So war eine solche Berechnung nur noch das hintereinander Ausführen von Addition, Subtraktion und Multiplikation. Nebeneinanderstehende Zahlen wurden multipliziert und untereinanderstehende addiert (Abb. 5).

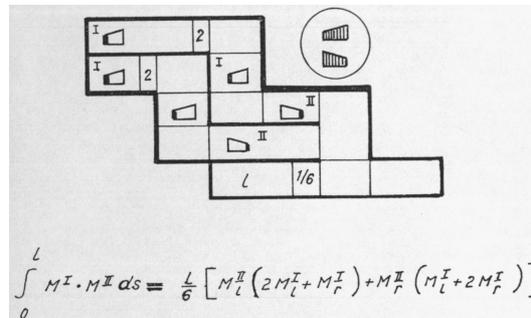


Abbildung 5: Formular für statisch unbestimmte Rechnungen

Aus den Formularen entstand die Rechenmaschine

Als nächsten Schritt wollte er nun das Ausrechnen dieser Formulare durch Rechenmaschinen erleichtern. In seiner ersten Idee sollten die von Hand geschriebenen Formulare durch solche ersetzt werden, in die die Werte an der gleichen Stelle eingelocht wurden. Die Werte sollten dann durch Abtastung über ein bewegliches Gerät H in eine Rechenmaschine R eingelesen werden (Abb. 6).

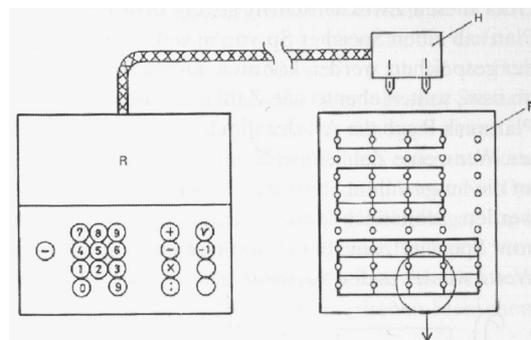


Abbildung 6: Entwurf einer vollautomatischen Rechenmaschine zur Mechanisierung der Rechnungen von gelochten Formularen

Da nun aber ein Formular nur einmal verwendet werden konnte, ging die Entwicklung in Richtung eines Registers Rg, bei dem die Zahlen durch verriegelbare Stifte S gespeichert werden konnten (Abb. 7). Die Abtastvorrichtung wurde entsprechend für das Register angepasst. Als nächsten Schritt sollte nun die Abtastung der Register mechanisiert werden. Diese Abtastung erfolgte zuvor von Hand, was den Nachteil hatte, dass Loch- und Abfühlergeräte nicht sauber in Position waren.

Jetzt musste nur noch die automatische Bewegung der Abtastvorrichtung durch eine Steuereinheit St erweitert werden, so dass sie gemäß einer angegebenen Vorschrift in die entsprechende Position gebracht werden konnte. Aber nun hatte er gedanklich eine Maschine

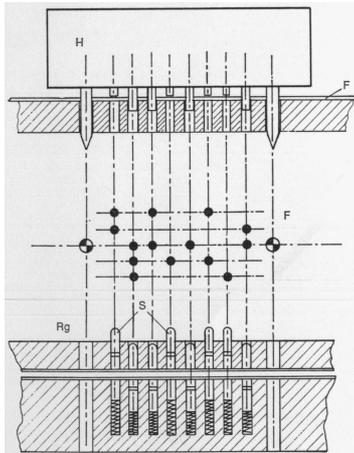


Abbildung 7: Register mit verriegelbaren Stiften

entwickelt, die leider auf ein Formular spezialisiert war, er wollte aber eine Rechenmaschine für das „universelle Superformular“. Nach weiteren Gedankenspielen merkte Zuse dann, dass er mit der automatischen Abtastung, Lochung und Bewegung durch eine Steuereinheit eine Maschine entwickelt hat, die genau dies tat (Abb. 8).

Damit war das schon von Babbage entwickelte Verfahren des „Rechenplanes“ bzw. „Programms“ neu erfunden. Der Rechenplan für eine Formel entsteht durch deren Auflösung in die Elementaroperationen, wobei die betreffenden Werte einfach durchnummeriert werden.

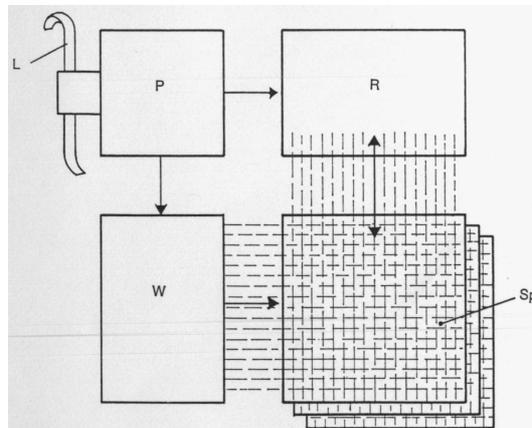


Abbildung 8: Erster Entwurf einer programmgesteuerten Rechenmaschine

Beispiel:

$$\sqrt{a^2 + b^2} = c \quad \begin{array}{ll} a = V_1 & V_1 * V_1 = V_4 \\ b = V_2 & V_2 * V_2 = V_5 \\ c = V_3 & V_4 + V_5 = V_6 \\ & \sqrt{V_6} = V_3 \end{array}$$

Dafür wurde nun ein Speicherwerk entwickelt, in dem die einzelnen Werte in Registern gespeichert werden konnten, die nicht in einer Fläche angeordnet sein mussten. Deshalb ver-

wendete Zuse eine Mehrschichtkonstruktion, bei der über eine Auswahleinrichtung das entsprechende Register ausgewählt werden konnte. Jetzt war nur noch ein Programmwerk P nötig, durch das das Rechenwerk R die Art der auszuführenden Operation bekommt und das Wählwerk W die benötigte Speicherzelle. Das Programmwerk sollte über einen Lochstreifen L gesteuert werden.

Aus Gründen der Vereinfachung sollte Zuses Rechenmaschine auch nicht im Dezimalsystem, sondern im Binärsystem rechnen. Hierdurch konnten neue Bauelemente in die Rechen-technik aus der Fernmeldetechnik eingeführt werden. Vor allem das Relais war perfekt dafür geeignet die beiden Binärzustände darzustellen. Als Zuse dann feststellte, dass eine solche Rechenmaschine ein ganzes Zimmer voll Relaisschränken benötigte, musste er sich eingestehen, dass dies eine Fehlkalkulation eines unerfahrenen Erfinders war.

1.5 Vor dem Krieg

Nach dem 30. Januar 1933 begann sich durch die neuen Machthaber in Deutschland die Situation an der Technischen Hochschule zu verändern. Immer mehr Schlüsselpositionen wurden neu besetzt. Zuse entschied sich dazu, dem schönen Studentenleben lebewohl zu sagen, das Diplom-Examen zu absolvieren und von der Technischen Hochschule zu verschwinden.

Im Jahre 1934 meldete sich Zuse gemeinsam mit zehn anderen Studenten als Freiwillige für die Armee. Sie dachten, dass sie drei Wochen lang mit einem Besenstiel marschieren müssten. Die Realität sah anders aus. In der Reichwehrkaserne in Marienwerder bekamen sie einen Stahlhelm auf den Kopf gesetzt und ein Gewehr in die Hand. Die weitere Ausbildung erfolgte in Arys. Aufgrund ihrer freiwilligen Meldung wurden sie von jeglicher politischen Propaganda verschont.

1935 hatte Zuse sein Studium abgeschlossen und war nun diplomierter Bauingenieur. Ein Jahr praktische Arbeit bei den Henschel-Flugzeugwerken brachte ihm weiteren Kontakt mit technischen Rechnungen. Hier wurde sein Entschluss, sich ganz der Konstruktion von Rechenmaschinen zu widmen, bekräftigt. Seine Eltern stellten ihm missmutig das größte und schönste Zimmer der Wohnung zur Verfügung, in dem er dann eine Werkstatt einrichtete (Abb. 9). Im Jahre 1936 begann er ein mechanisches Speicherwerk zu konstruieren. Er versuchte es mit mechanischen Mitteln, weil die Relais-technik ihm zu aufwendig erschien (siehe oben).

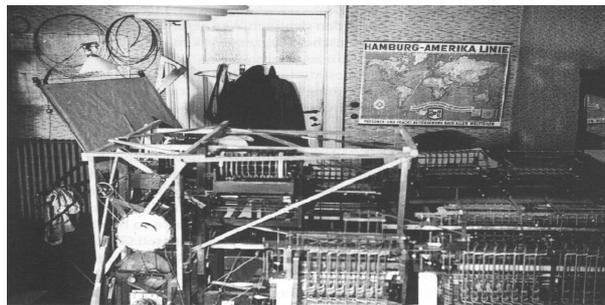


Abbildung 9: Die Z1 in der als Werkstatt eingerichteten Wohnung

Das mechanische Speicherwerk

Das Speicherwerk musste aus einzelnen Zellen aufgebaut werden, wobei jede zur Speicherung einer Reihe von einzelnen Binärwerten dienen sollte. Die Speicherung eines Binärwertes sollte

mit Elementen mit nur zwei Positionen (z.B. Hebel) gemacht werden. Er entschloss sich zu einer matrizenähnlichen Anordnung. In einer Zeile sollte eine Zelle, also eine Zahl, und in den Spalten je eine Binärziffer angeordnet sein. Auch die Nummerierung der Speicherzellen sollte im Binärformat erfolgen, so dass sich das oben erklärte Prinzip auch auf die Auswahleinrichtung anwenden ließ.

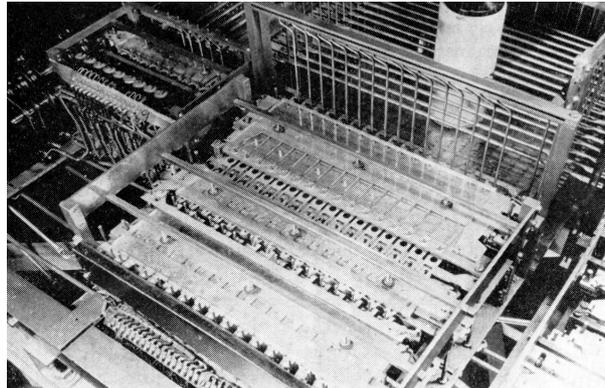


Abbildung 10: Ausgeführte Konstruktion des mechanischen Speichers.

Das Ganze sollte durch eine aus gestanzten Blechen aufgebaute Konstruktion verwirklicht werden. Die Bleche haben Ausschnitte, in welche senkrecht zur Ebene stehende Stahlstifte eingebracht sind. Sie dienen zur Führung und Verknüpfung einzelner Elemente. So war es möglich mehrere Schichten, durch Glasplatten getrennt, übereinander unterzubringen (Abb. 10).

Das erste Modell eines Speichers, gelang Zuse, innerhalb von nur sechs Wochen zu bauen. Hierbei fertigte er die einzelnen Blechteile nicht mit einem Stanzwerk an, sondern mit einer einfachen motorisierten Laubsäge.

Schalttechnik

Der Übergang zum konsequenten binären Denken war um 1934 keineswegs selbstverständlich. Um in seinem neu eingeführten Binärsystem auch rechnen zu können, entwickelte Zuse eine entsprechende mathematische Grundlage. Er entwarf das Block-Schema eines binären Addierwerks mit vier Stellen. Er betrachtete hierzu die vier Fälle, die pro Binärstelle eintreten können: $0 + 0 = 0$; $0 + 1 = 1$; $1 + 0 = 1$; $1 + 1 = 10$.

Er führte auch die halblogarithmische Darstellung von Zahlen ein. Der Rechenstab dient zur Darstellung von Zahlen verschiedener Größenordnung, wobei jedoch die Genauigkeit auf verhältnismäßig wenige Stellen beschränkt ist. Da jedoch die Verwendung von Zahlen in der vollständig logarithmischen Darstellung bei der Addition an dem zu hohen Aufwand scheiterte, entschied sich Zuse für die halblogarithmische Form. Eine Zahl wird folgendermaßen dargestellt: $y = 2^a * b$. Er baute sein erstes Gerät Z1 mit sieben Binärstellen für den Exponenten und 14 Binärstellen für die Mantisse.

In seiner Vorstellung sollten folgende Operationen mit den Operanden x und y verfügbar sein:

Ls 1	$x + y$	Lw	\sqrt{x}
Ls 2	$x - y$	La	$-x$
Ls 3	$y - x$	Lb	$10x$
Lm	$x * y$	Lc	$2x$
Ld	x/y	Lp	πx

Mit diesen Operationen entwickelte er eine Bedingungslogik, um formale Ausdrücke repräsentieren zu können („Bedingung A ist nicht erfüllt“). Am Ende seiner Überlegungen stellte er mit Überraschung fest, dass sein Formalismus bereits unter dem Namen „Aussagenkalkül“ bei den Mathematikern bekannt war. Durch die ihm nun bekannten Eigenschaften der Booleschen Algebra konnte er seine Schaltungen viel einfacher entwerfen.

Wettlauf zur Rechenmaschine

Bei den Arbeiten an den Rechenmaschinen Z1 und Z3 wendete Konrad Zuse bis zu 80 Stunden in der Woche auf. In seiner Freizeit spielte er weiterhin Theater. Einmal spielte er mit seiner Gruppe „King Kong“. Die aufgestellten Wolkenkratzer wurden von seinem Kollegen Helmut „King Kong“ Schreyer so glänzend zertrümmert, dass Zuse sich sicher war, dass so jemand beim Bau einer Rechenmaschine sehr hilfreich sein müsste. Die Entwicklung der elektronischen Rechenmaschine schritt voran. Obwohl Schreyer sehr chaotisch in seiner Arbeitsweise war, war er Zuse bei der Verwirklichung seines Traumes eine große Hilfe.

Zuse bekam 1937 Kontakt zu dem Erbauer von Spezialrechenmaschinen Dr.-Ing. Kurt Pannke. Nach einem Telefongespräch war Pannke neugierig geworden und kam Zuse in seiner Werkstatt besuchen. Pannke war so überzeugt von dem Konzept, dass er Geldmittel (7000 Reichsmark) zur Verfügung stellte. Diese waren zwar gering, reichten aber aus, um die Arbeiten fortzusetzen.

1938 führten sie eine Versuchsschaltung im kleinen Kreise der TH Berlin-Charlottenburg vor. Diese Vorführung rief unerwartete Reaktionen der Zuhörer hervor, als die beiden erklärten, dass ihre Rechenmaschine mit etwa 2000 Röhren und einigen tausend Glimmlampen funktionieren würde. Die größten elektronischen Geräte dieser Zeit liefen mit einigen hundert Röhren. Der Strombedarf für eine solche Anlage müsse halt zuvor mit dem Kraftwerk abgesprochen werden, wenn man das Gerät benutzen möchte. Nur einer der Zuhörer erkannte die neuen Möglichkeiten, Professor Stäblein. Dieses Ereignis brachte Zuse und seinen Helfer dazu, in Zukunft etwas bescheidener über die Leistung und den Umfang seiner Rechenmaschine zu sprechen.

1.6 Die Kriegsjahre

Zuse lebte in dieser Zeit sehr zurückgezogen in seiner Werkstatt. Daher bekam er nur sehr wenig mit von den politischen Ereignissen. Seine wenigen Informationen bezog er aus den Zeitungen, wobei er versuchte, die durch die Propaganda gefärbten Meldungen, in die Realität zu übersetzen, und von Freunden, die zeitweise außerhalb von Deutschland weilten. Trotzdem versuchte er weiterhin sein erstes Gerät so schnell wie möglich zur Vollendung zu bringen.

Kurz vor dem Abschluss seines Gerätes Z2 wurde Zuse aufgrund seiner kurzen Ausbildung bei der Reichswehr zur Infanterie eingezogen. Dr. Pannke versuchte über einen Urlaubsge-such die Einberufung zu verzögern. Er schrieb, dass Zuse an einer Rechenmaschine arbeite, die auch zur Berechnung von Flugzeugen verwendet werden könnte. Der Urlaub wurde nicht gewährt, da die deutsche Luftwaffe ja tadellos war. Der Militärdienst ließ ihm genügend Zeit

um über die Theorie des allgemeinen Rechnens nachzudenken. Sein Hauptmann unterstützte ihn sogar, indem er Zuse zeitweise sein Zimmer zur Verfügung stellte, damit er seinen Studien in Ruhe nachgehen konnte. Nach einem halben Jahr wurde er als Statiker bei den Henschel-Flugzeugwerken eingestellt. Zuse wurde Professor Herbert Wagner unterstellt, dessen Arbeitsweise ihn sehr beeindruckte.

Dann war es endlich soweit. Nach langer Arbeit in den Abendstunden und an den Wochenenden, an Samstagen und Sonntagen war die Rechenmaschine Z2 endlich vorführbereit. Vor dem Besuch der Deutschen Versuchsanstalt der Luftfahrt (DVL), versuchte Zuse das Gerät zum Laufen zu bringen, was ihm aber nicht gelang. Bei der eigentlichen Vorführung trat dann der umgekehrte Vorführeffekt ein: Sie funktionierte tadellos. Somit hatte er es geschafft, die DVL für die Entwicklung zu interessieren. Das Gerät Z3 wurde von der DVL teilfinanziert. Sie erwarteten hierdurch das Flügelflattern bei Flugzeugen, also das Berechnen der kritischen Frequenzen, zu lösen.

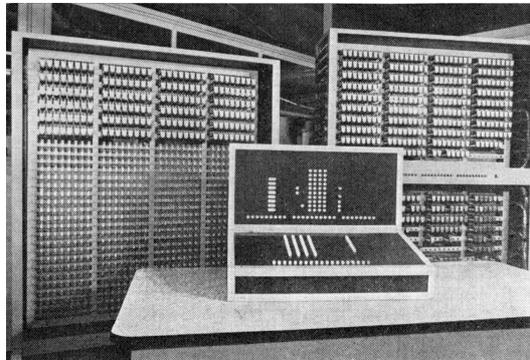


Abbildung 11: Nachbau der Z3

Am 12. Mai 1941 war das Gerät Z3 fertiggestellt und voll funktionsfähig. Als mathematische Grundoperationen ermöglichte die Z3 die Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division und Quadratwurzel. Es wurde während des Krieges mehreren Dienststellen vorgestellt. Allerdings ist es nie im Routinebetrieb eingesetzt worden, weil Zuse der einzige war, der die Wartung des Gerätes übernehmen konnte. Es wurde im Bombenkrieg 1944 zerstört. Erst 1960 wurde es nachgebaut und ist heute im Deutschen Museum in München zu bewundern (Abb. 11).

Zuse gründete den kleinen Betrieb „Zuse Ingenieurbüro und Appartebau Berlin“. Zuerst mit zwei Mitarbeitern, am Ende des Kriegs bereits mit 20. Einer der Mitarbeiter war Alfred Eckhard, der auch später Teilhaber der Firma wurde. Er war als Hilfskraft angestellt. Ebenso arbeitete er im Fernsprechamt des Oberkommandos der Wehrmacht. Er brachte aus dieser Dienststelle weitere gute Mitarbeiter mit. Dies war auch die beste Quelle der Materialbeschaffung. In der Dienststelle existierte ein „Abfallkasten“, in dem sich eigenartigerweise immer genau das Bauteil befand, dass gerade benötigt wurde.

Etwas im Jahr 1942 begannen die Arbeiten zum Gerät Z4, einer erweiterten Variante der Z3. Die Arbeiten wurden aber stark durch den Bombenkrieg behindert. Während des Krieges musste er mit der Z4 innerhalb Berlins dreimal umziehen. Zuse war zu dieser Zeit sein eigener Feuerwehrmann. Mit einer Gasmaske und einer Handspritze bewaffnet, gelang es ihm mehrmals Zimmerbrände zu löschen.

Während des letzten Kriegsjahres erfuhr Zuse von den gleichzeitig in den USA laufenden

Arbeiten an automatischen Rechenmaschinen. Nach langem Nerven beim deutschen Geheimdienst, rückten die endlich mit dem sehnlichst erwarteten Foto heraus, nachdem sie zuvor immer behaupteten, keine Informationen über ähnliche Entwicklungen im Ausland zu haben. Es war ein Foto des Gerätes „MARK I“ von Professor Aiken der Harvard University. Dem Bild waren aber keinerlei Einzelheiten zu entnehmen (Abb. 12).

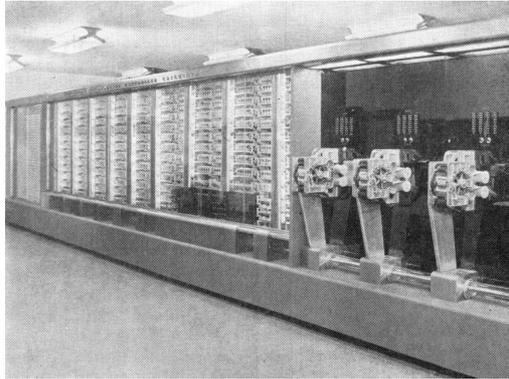


Abbildung 12: Der erste amerikanische Computer MARK I

Der feindliche Ring um Deutschland zog sich 1944 immer mehr zusammen. Täglich war nun in Berlin Fliegeralarm. Doch wurde in dem Betrieb weiterhin fieberhaft an der Z4 gearbeitet. Auch Zuses Betrieb wurde von den Bombenangriffen nicht verschont. Die Geräte Z1, Z2 und Z3 versanken unter den Trümmern. An der Z4 wurde im Keller eifrig weiter gebaut. Seine theoretischen Arbeiten (z.B. „Ansätze einer Theorie des allgemeinen Rechnens“ als Dissertation) wurden allerdings durch die ungünstigen Verhältnisse während des Krieges und der ersten Nachkriegsjahre nie weiter ausgearbeitet. In seinen theoretischen Untersuchungen kannte er bereits den „bedingten Sprung“. Dieser sollte aber noch nicht Teil der praktischen Arbeit Z4 werden, da die Computer so in ihren Möglichkeiten und Auswirkungen noch gut zu übersehen und zu beherrschen waren. Nach dem Krieg hieß es dann, dass Zuses Rechenmaschinen „nicht einmal mit bedingten Befehlen rechnen können“.

Ende 1944 stand das Gerät Z4 kurz vor der Vollendung. Zu dem Zeitpunkt hieß es aber noch V4 (Versuchsmodell 4). Die Namensgleichheit zu den Vergeltungswaffen V1 und V2 rettete den Computer. Der Satz „Die V4 muss aus Berlin in Sicherheit gebracht werden“ sicherte den Transport aus Berlin heraus. Die Z4 wurde verladen und nach Göttingen gebracht. Hierbei musste Zuse seine Eltern in Berlin zurücklassen.

Im Januar 1945 heiratete Konrad Zuse (Abb. 13). Seine Frau Gisela geb. Brandes verstand nichts von Mathematik und Technik. Aus dieser Ehe gingen fünf Kinder hervor: Horst, Monika, Ernst, Hannelore und Peter. Selbst die Geburt seines fünften Kindes wurde von Zuse algorithmisch dokumentiert (Abb. 14).

In Göttingen wurde die Z4 in den Räumen der Aerodynamischen Versuchsanstalt (AVA) fertiggestellt. Nun waren die ersten programmgesteuerten Rechnungen möglich. Doch bereits während der Vorführung bei den Herren der AVA, konnte man den Kanonendonner hören. Das Gerät musste vor Bomben geschützt werden. So wurde ein Wehrmachtlastwagen organisiert, mit dem das Gerät über Hindelang, wo Zuse Gespräche mit Wernher von Braun führte, nach Hinterstein bei Hindelang in den Alpen gebracht wurde. Dort wurde es in einem Keller versteckt.



Abbildung 13: Hochzeit von Konrad und Gisela Zuse

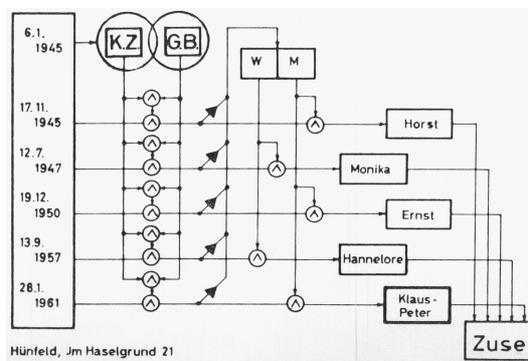


Abbildung 14: Geburtsanzeige seines fünften Kindes

1.7 Nachkriegsjahre

Die Gruppe von etwa zwölf Personen löste sich allmählich auf. Jeder musste zusehen, wie er vorankam. Der Wiederaufbau der Firma war noch nicht möglich. Zuse widmete sich so wieder seinen theoretischen Arbeiten. Er versuchte seine Gedanken zu ordnen und kam so auf seinen „Plankalkül“, eine der ersten „Programmiersprachen“. Die arithmetischen Operationen wurden in einzelne aussagenlogische Komponenten zerlegt. Diese fasste er dann allgemein für beliebige Stellenzahlen als Rechenvorschriften zusammen. Darüber hinaus sollten in einer solchen algorithmischen Sprache auch Sprungbefehle und Adressumrechnungen enthalten sein. Er definierte das Rechnen wie folgt: „Rechnen heißt, aus gegebenen Angaben nach einer Vorschrift neue Angaben bilden“. Er entwarf eine einheitliche Darstellungsweise von Angabenstrukturen, mit denen beliebige technische Strukturen dargestellt werden konnten:

S_0	Binärwert
$S_{1.n} = n \times S_0$	n-stellige Folge von Binärwerten
$S_{1.4}$	Tetrade
σ	allgemeines Zeichen für Angabe beliebiger Struktur
2σ	Paar von Werten
$m \times 2\sigma$	Paarliste mit m Paaren

Am Ende seiner Entwürfe konnte man u.a. bereits „if-Anweisungen“ schreiben: $V_3 = V_5 \rightarrow$

($V_6 + V_8 \Rightarrow V_9$). „Vergleiche V_3 mit V_5 . Ist die Bedingung erfüllt, so wird die Anweisung rechts des Zeichens \rightarrow ausgeführt, sonst wird zur nächsten übergegangen. Hiermit entwickelte er dann eine weitreichende Theorie, um z.B. das Schachspiel zu systematisieren. Die ganze Arbeit des Plankalküls umfasste circa 250 Seiten und entstand in den Jahren 1945/46. Sie wurde aber zu dieser Zeit nicht veröffentlicht, weil Zuse die Zeit und die Mittel fehlten sie richtig auszuarbeiten. Es war an der Zeit sich wieder der Maschine Z4 zu widmen. Aus Amerika kamen Nachrichten, dass Goldstine und von Neumann ähnliche theoretische Arbeiten (z.B. Flussdiagramme) verfassten.

1946 begann Zuse sich Gedanken über seine Situation als Ingenieur und Forscher zu machen. Er lebte abgeschieden in einem kleinen Alpendorf (Hinterstein), in dem zwar die nötige Ruhe für theoretische Arbeiten gegeben war, aber größere Probleme für die praktische Arbeit lieferte. Daher fing er dann auch an, philosophische Forschung zu betreiben, obwohl ihm jegliche philosophischen Grundlagen fehlten und er auch nicht über eine entsprechende Bibliothek verfügte. Er verfasste eine Arbeit, die sich mit „Freiheit des Willens“, „Kausalität“ und „Bewusstsein“ sein beschäftigte. Diese Arbeit wurde nie veröffentlicht.

Während des Baus der großen Relaisrechner kam bei Zuse der Gedanke auf, dass der Kosmos als gigantische Rechenmaschine betrachtet werden könne. Anlass hierzu gaben ihm die Relaisketten. Stößt man ein Relais an, wandert der Impuls durch die komplette Kette hindurch. Diese Gedanken baute er über die Jahre hinweg als die Idee des „Rechnenden Raumes“ aus. Eine fertige Arbeit hierüber erschien erst dreißig Jahre später.

1947 gründete Zuse das „Zuse-Ingenieurbüro, Hopferau bei Füssen“. Er hatte viel Besuch aus dem Ausland. Im Jahre 1948 hatte er die Möglichkeit, einen dreiwöchigen Ausflug nach England zu machen. Er wurde zu einem Kongress deutscher Wissenschaftler eingeladen. Über Umwege kam Zuse in Kontakt mit dem Präsidenten von IBM Watson. Dieser machte die deutsche Abzweigung Hollerith (später IBM) darauf aufmerksam, sich mit Zuse in Verbindung zu setzen. Zuse handelte mit den beiden Direktoren von Hollerith, Hummel und Scharr, einen Optionsvertrag auf Erwerb seiner Patente aus. Dieser sah vor, dass dieser bereits schon sehr großzügige Vertrag, seine Zahlungen verdoppeln sollte, wenn sich nach sechs Monaten keine Einigung erzielen konnte. Da der Vertrag aber über den Atlantik genehmigt werden musste, dauerte es länger. In dieser Zeit kam die Währungsreform. So bekam Zuse zum einen mehr Geld und zum anderen in neuer DM. IBM war aber nur an den Patenten interessiert und nicht an Geräten. Selbst IBM glaubte hier noch nicht an die Zukunft des Computers.

Vergleich USA / Deutschland

In den USA sind drei voneinander unabhängige Entwicklungen gelaufen:

1. Das Analoggerät MARK I (1944) an der Harvard University unter Leitung von Professor Howard Aiken. Es war ein programmgesteuertes, elektromechanisches Gerät. Es verwendete das Dezimalsystem mit festem Komma und spezielle Schrittschalter als Speicherelemente. Es wurde mit Lochkarten gesteuert.
2. Die Entwicklung eines Relaisrechners im Dualsystem bei der Firma Bell (1945) unter der Leitung von Stibitz.
3. Die Entwicklung von ENIAC (1945-47) unter der Leitung von John Prosper Eckart und John Mauchly. Die ENIAC ist ein Rechengert mit 18000 Röhren.

In Deutschland waren folgende Entwicklungen vorzuweisen:

1. Die Geräte Z1 - Z4, wobei nur die Z4 den Krieg überlebte (vergleichbar zu 2.)
2. Entwicklung von Sondergeräten, z.B. für die Flügelvermessung (kein vergleichbares Gerät in den USA)
3. Entwicklung des Plankalküls als algorithmische Programmiersprache (vergleichbar mit späteren Veröffentlichungen von Goldstine und von Neumann)
4. Elektronisches Versuchsmodell zum direkten Abfühlen von Messuhren von Schreyer
5. Elektronische Entwicklung (Magnetspeicherung) von Dr. Dirks

Im Gegensatz zu den Amerikanern war durch die militärische Geheimhaltung den Deutschen Forschern nichts voneinander bekannt. In den USA wurde mit voller Kraft und auf breiter Basis an den Geräten gebaut. Daher war der kleine Vorsprung, den Deutschland bis dahin in der Entwicklung hatte, schnell aufgeholt. Aiken konstruierte in schneller Folge die Geräte MARK II und IV. Im Vergleich dazu ruhte die Entwicklung in Deutschland 1948 fast gänzlich. Das Gerät Z4 wurde in Hopferau bei Füssen in einem ehemaligen Pferdestall wieder notdürftig in Gang gesetzt.

Patente

1936 meldete Zuse die mechanische Schaltgliedtechnik mit dem mechanischen Speicher an, worauf ihm auch das Patent erteilt wurde. Die ersten Anmeldungen für die Programmsteuerung und Rechenwerke machte er 1937. Die wurden allerdings zurückgezogen. Mitte 1941, als das Gerät Z3 konkrete Formen angenommen hatte, meldete er ein entsprechendes Patent an. Die Anmeldung wurde erst Ende 1952 mit 51 Ansprüchen bekannt gemacht. Erst Mitte 1967 wurde die entgeltliche Entscheidung durch das Bundespatentgericht herbeigeführt. Darin wurde erkannt, dass eine „patentwürdige“ Erfindung nicht vorläge: „Die Neuheit und Fortschrittlichkeit des mit dem Hauptantrag beanspruchten Gegenstandes sind nicht zweifelhaft. Indessen kann auf ihn mangels Erfindungshöhe kein Patent erteilt werden“.

Auch Schreyer hatte es versäumt seine Ideen rechtzeitig anzumelden. Nur Dr. Dirks hatte nach dem Krieg seine Anmeldungen in Darmstadt hinterlegt. Sie bestehen aus einem ganzen Paket mit hunderten von Ansprüchen. Auch dieses Verfahren dauerte sehr lange. Doch er schloss währenddessen bereits millionenschwere Verträge ab. Auch Dr. Dirks Ansprüche wurden letztendlich vom Bundespatentgericht zurückgewiesen. Demnach hat die langwierige Abwicklung von Patenanträgen in Deutschland dazu geführt, dass kein Patent erteilt wurde.

1.8 Aufbau der Zuse KG

Aufträge der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich und der Firma Remington gaben die Basis für den Neuaufbau der Firma. 1949 gründete er zusammen mit seinen ehemaligen Studienkollegen Harro Stucken und Alfred Eckhard die Firma Zuse KG in Neukirchen/Hessen. Der Betrieb wurde in einer alten Relaisstation untergebracht. Stucken war für die Verhandlungen im Außendienst zuständig, Eckhard kümmerte sich um das Kaufmännische.

Nach der Vollendung der Erweiterungen der Z4 (z.B. die Verwendung bedingter Befehle) wurde sie 1950 zur Aufstellung an der ETH nach Zürich gebracht (Abb. 15). Dort war sie der einzige in Europa arbeitende Computer. Die Mieteinnahmen lagen bei 40000 Schweizer

Franken. Beim ersten Testläufen hat die Maschine einwandfrei funktioniert. Doch bei der Generalprobe kurz vor der Vorführung sprühte sie plötzlich Funken. Zuse und seinen Kumpanen gelang es, den Fehler ausfindig zu machen und gerade noch innerhalb einer halben Stunde zu beseitigen. Während der Vorführung lief die Z4 dann einwandfrei. Die Z4 wurde nach fünfjähriger Betriebszeit in Zürich von der Eigenkonstruktion ERMETH (Elektronische Rechenmaschine der ETH) abgelöst. Danach war sie weitere fünf Jahre beim Deutsch-Französischen Forschungsinstitut St. Louis in Frankreich in Betrieb.

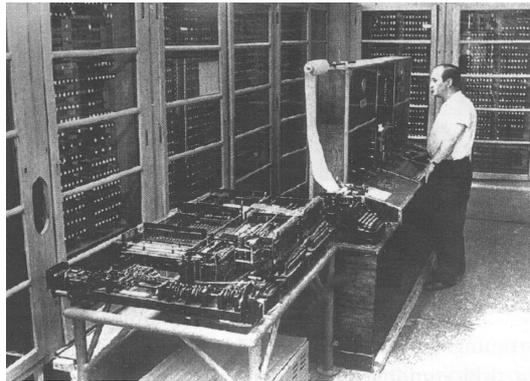


Abbildung 15: Die Rechenmaschine Z4

Über einen großen Vertrag mit der Firma Remington Rand in der Schweiz konnte die Firma aufgebaut werden. Hier wurden etwa 30 Geräte in Relais-technik geliefert, die kleine Programme verarbeiten konnten. Hierbei handelte es sich um Geräte, die Programme für Addition und Multiplikation in beliebiger Verschachtelung durchrechnen konnten (sog. Rechenlocher).

Computer wurden immer gesellschaftsfähiger. Es entwickelten sich elektronische Rechenmaschinen. Der Computer wurde Gegenstand von Vorträgen auf wissenschaftlichen Tagungen. Zuse lernte bei einem Vortrag über die Frage „Kann eine Rechenmaschine Schach spielen“ Theodor Fromme kennen. Er war der Meinung, dass eine solche Maschine optimal spielen müsse und es daher aus kombinatorischen Gründen nicht möglich sei, dass dies ginge. Zuse belehrte ihn, dass man von der Maschine nicht mehr verlangen müsse, als vom Schachweltmeister. Sie wurden gute Freunde und später wurde Fromme wissenschaftlicher Leiter der Zuse KG.

Zuses erste deutscher Auftraggeber war die Firma Ernst Leitz in Wetzlar. Von ihnen bekam er den Auftrag einen Rechner zu entwickeln, der zur Berechnung von Linsensystemen dienen sollten. Daraus hervor ging das Gerät Z5, das letzte Gerät in der Reihe der großen Relaisrechenräten (Abb. 16). Sie war von den Ausmaßen her der größte Rechner, den die Zuse KG je gebaut hatte (Länge 12 Meter, Höhe 2,5 Meter). Die Z5 funktionierte bis auf kleinere Problemchen tadellos.

Nachdem Zuses Teilhaber Eckhard und Stucken plötzlich aus der Firma ausschieden, musste Zuses Frau als Kommandistin in die Gesellschaft eintreten, um die Form der Firma zu sichern. Eckhard ging zur Firma Siemens nach Eiserfeld und Stucken wanderte nach Brasilien aus. Nun musste sich Zuse auch um organisatorische und kaufmännische Aufgabe kümmern. Die Firma entwickelte basierend auf der Maschine zur Flügelvermessung das Gerät Z11, welches in der Flurbereinigung, Landvermessung und optischen Industrie lange Zeit verwendet wurde. Die Geräte waren leicht zu bedienen und waren von langer Lebensdauer.

Die Entwicklung des Gerätes Z22 fiel voll in die Pionierzeit der Elektronik. Sie entstand

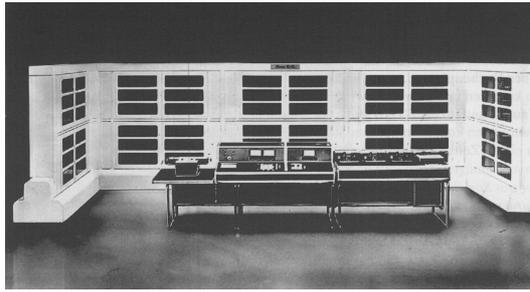


Abbildung 16: Die Rechenmaschine Z5

1955 nach einer Idee von Fromme („Minima“). Die ersten Maschinen wurden 1957 an Professor Haack in Berlin und Professor Cremer in Aachen verkauft. Die Situation der Zuse KG änderte sich, als der Deutschen Forschungsgemeinschaft Mittel von mehreren Millionen bereit gestellt wurden. Sie bekamen einen Auftrag für drei Z22. Daraufhin folgten weitere Aufträge. Die Z22 war bei Wissenschaftlern sehr beliebt wegen der großen Flexibilität der Programmiermöglichkeiten. Zu dieser Zeit wollten die Kunden alles selbst programmieren. Die Firma brauchte noch keine Mathematiker und Programmierer. Die Rechenmaschinen waren damals nahezu an allen deutschen Hochschulen und Universitäten zu finden. Insgesamt wurden 55 Exemplare des Rechnertyps zu je circa 200000 DM verkauft. Im Laufe der Zeit wuchsen jedoch die Aufgaben, so dass immer schnellere und leistungsfähigere Geräte verlangt wurden. Die Firma brachte das Gerät Z23 auf den Markt (Abb. 17). Sie war eine Weiterentwicklung der Z22 in Transistortechnik. Hierbei kam aber das erste mal das Problem der Programmkompatibilität auf. Die Programme der Z22 konnten zwar auf der Z23 verwendet werden, man musste jedoch auf die technischen Neuerungen verzichten. Nur ein Jahr später bot die Firma den Rechner Z25 an. Das Gerät war äußerst leistungsfähig. Hiervon wurden 128 Exemplare verkauft. Neben weiteren Entwicklungen von Rechenmaschinen, die meist in einer finanziellen Sackgasse endeten, erschuf die Firma den Graphomaten Z64 (heute Plotter). Mit ihm war es möglich über mechanische Getriebe automatengestützte Zeichnungen mit äußerster Präzision anzufertigen. Schrittmotoren zur Steuerung konnten noch nicht eingesetzt werden, da preiswerte und brauchbare Motoren erst Jahre später zur Verfügung standen.



Abbildung 17: Die Rechenmaschine Z23 in Transistortechnik

Zu diesem Zeitpunkt war die Zuse KG in Deutschland der Konkurrent Nummer eins von IBM. Zuse musste kein einziges Gerät zurücknehmen im Gegensatz zu IBM. Bei einer so großen Firma werden die Garantieverpflichtungen vom Kunden sehr streng ausgelegt. Aufgrund des

schnellen Wachstums der Firma kamen schnell Probleme auf. Die räumlichen Möglichkeiten in Neukirchen waren bald erschöpft. So wurde in Bad Hersfeld eine stillgelegte Textilfabrik angemietet. Aber auch die reichte nach kurzer Zeit nicht mehr aus. Am Ende waren sie in über 15 Stellen der Stadt verteilt. Die Lösung war ein eigener Firmenbau (Abb. 18). Hinzu kam nun auch der Wunsch des Kunden, nicht nur die Hardware, sondern auch gleichzeitig die gewünschte Software geliefert zu bekommen. Dies führte zu finanziellen Problemen. Die Kosten gingen schnell in Millionenhöhe und konnten nicht mehr aufgebracht werden. Kleinere, risikofreudige Banken waren bereit, gegen hohe Zinsen Kredite zu gewähren.

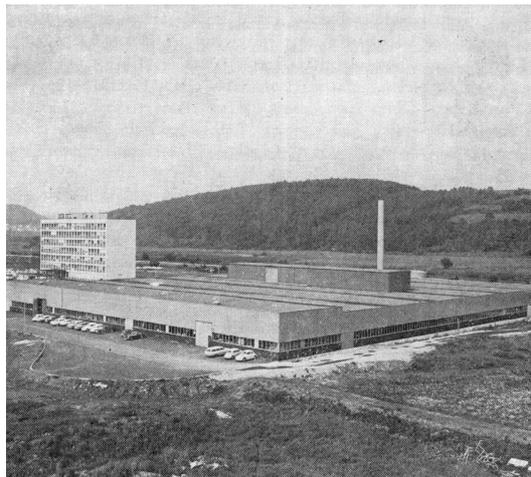


Abbildung 18: Die Zuse KG in Bad Hersfeld

So ging der Aufbau der Firma trotz der finanziellen Schwierigkeiten gut voran. Jedoch blieben nach weiteren Rückschlägen weitere Wunder in Bad Hersfeld aus. Zuse entschied sich die Firma zu verkaufen. 1964 übernahm die Firma Brown, Boveri & Cie. AG, Mannheim, 100 Prozent der Kapitalanteile. Im Jahre 1967 übernahm die Siemens AG 70 Prozent der Firma. Die restlichen 30 Prozent blieben im Besitz von BBC. Bei dieser Umwandlung schied Zuse aus der Firma aus, blieb aber weiterhin beratend tätig. 1969 ging sie zu 100 Prozent in den Besitz der Siemens AG über. Siemens ist es dann wieder gelungen die Firma auf eine gesunde finanzielle Basis zu bringen. Zuses Beratungsvertrag wurde Ende 1969 auf Wunsch der Siemens AG beendet. Am 1. April 1971 wurde der Firmenname Zuse KG gelöscht.

Nach seinem Ausscheiden aus der Firma leistete Zuse weiterhin ein großes Arbeitspensum als Wissenschaftler und Ingenieur. Zudem fand er wieder mehr Zeit, sich der Malerei (Abb. 19) zu widmen. Er verstarb 1995 in Hünfeld.



Abbildung 19: Konrad Zuse als Künstler

1.9 Überblick

22. Juni 1910	geboren in Berlin-Wilmersdorf
1912	Umzug nach Braunsberg
1923-28	lebt Zuse in Hoyerswerda
1928	Abitur am Reformrealgymnasium in Hoyerswerda
1934	freiwillige Meldung in der Armee
1936	Beginn der Konstruktion des mechanischen Speichers
1941	Fertigstellung der Z3
1942	Beginn der Konstruktion der Z4
1944	Umzug nach Göttingen
1945	Hochzeit mit Gisela Brandes
1947	Gründung des Zuse-Ingenieurbüros, Hopferau bei Füssen
1950	Aufstellung der Z4 an der ETH Zürich
1955	Beginn der Entwicklung der Z22
1957	Verleihung der Ehrendoktorwürde durch die TU Berlin
1964	Verkauf der Zuse KG an Brown, Boveri & Cie.
1965	Verleihung des „Harry Good Memorial Award“ in Las Vegas
1965	Verleihung des „Werner-Von-Siemens-Rings“
1966	Ernennung zum Honorar-Professoren an der Universität Göttingen
1967	Übernahme von 70 Prozent der Zuse KG durch die Siemens AG
1967	Auscheiden Zuses aus der Firma
1969	Vollständige Übernahme der Zuse KG durch die Siemens AG
1975	Verleihung der Ehrenbürgerwürde der Stadt Hünfeld
19. Mai 1995	Verleihung der Ehrenbürgerrechte der Stadt Hoyerswerda
1995	Auszeichnung mit dem „Großen Verdienstkreuz des Verdienstordens“ der Bundesrepublik Deutschland
1995	verstarb Konrad Zuse

2 Seine Rechenmaschinen

2.1 Z1 (1936-38)

Die Rechenmaschine Z1 besteht aus tausenden von zusammengesetzten Blechen. Sie wurden mittels einer Laubsäge von Freunden und Zuses Vater hergestellt. Ende 1936 hatte Zuse den mechanischen Speicher von 64 Worten mit je 22 Bits fertiggestellt. Die Z1 war die erste programmgesteuerte Rechenmaschine der Welt, die auf der halblogarithmischen Zahlendarstellung arbeitete. Die Finanzierung erfolgte vollständig aus privaten Mitteln. Sie enthält alle Komponenten eines modernen Rechners: Steuerwerk, freie Programmsteuerung, binärer Speicher, arithmetische Einheit, Taktsteuerung und Ein- und Ausgabereinheit mit Dezimalzahlen. Das Programm wurde auf einem 35mm-Kinofilm eingestanzt. Die Adressierung der Speicherzellen erfolgte ebenfalls über einen Kinofilmstreifen. Das Gleitkommarechenwerk besteht aus einzelnen Schichten, die die verschiedenen Bits der Gleitkommadarstellung repräsentieren.

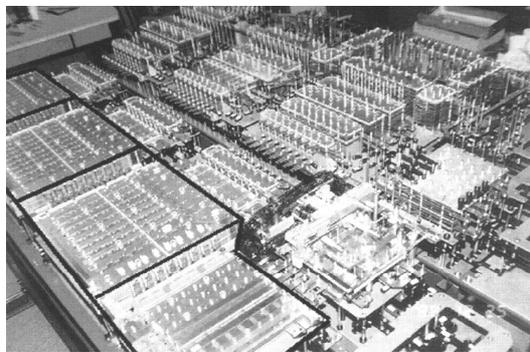


Abbildung 20: Nachbau der Z1

In der Maschine Z1 wurde eine binäre Schaltkreistechnik mit Konjunktion, Disjunktion und Negation verwendet. Zur Steuerung der gesamten Maschine dient das Steuerwerk mit einem Impulsgeber, der einen Takt von circa einem Hertz erzeugt. Der verwendete mechanische Speicher wurde bereits näher erläutert. Ein binär gesteuertes Wählwerk dient zur Ermittlung der Speicheradresse. Diese ist auf einem Lochstreifen kodiert. Die Zahlendarstellung, die die Maschine verwendet, ist halblogarithmisch. Sie verwendet ein Bit als Vorzeichen, sieben als Exponent und 14 Bit als Mantisse. Die Binärzahlen werden konvertiert ins Dezimalsystem für die Ausgabe und umgekehrt für die Eingabe. Die Arithmetische Einheit besteht aus zwei Addierwerken, je eins für Exponent und Mantisse. Die Addition wird mit einschrittigem Übertrag durchgeführt. Die Programmsteuerung erfolgt über einen 8-Bit-kodierten Kinofilmstreifen und acht Befehlen. Je zwei Befehle für den Speicher und die Ein- und Ausgabereinheit und vier Befehle für die Arithmetische Einheit.

Leider arbeitete die Maschine und deren Nachbau im längeren Betrieb nicht zuverlässig. Dies ist wohl auf die Fertigungsprobleme und die hochkomplizierte Mechanik zurückzuführen. Die Architekturen der Maschinen Z1 und Z3 sind nahezu identisch. Der Z1 fehlen nur die Wurzeloperation und die arithmetische Ausnahmebehandlung.

2.2 Z2 (1938-39)

Diese Maschine war nur ein Versuchsmodell. Hier wurde der mechanische Speicher der Z1 in Kombination mit circa 200 Telefonrelais für das binäre Festkommarechenwerk verwendet.

Bei arithmetischen Operationen mit Gleitkommazahlen werden zwei Festkommarechenwerke benötigt. Zuse entwarf diese Maschine, um diese Rechenwerke zu testen.

2.3 Z3 (1941)

Die Maschine Z3 gilt als erste funktionsfähige programmgesteuerte Rechenmaschine, die im binären Gleitkommasystem arbeitet. Sie war am 12. Mai 1941 in allen Komponenten funktionsfähig. Da Zuse von der Zuverlässigkeit der Relaisstechnik durch die Z2 überzeugt war, baute er die Z3 vollständig aus Relais (circa 660 im Rechenwerk und 1400 im Speicher) und neun Schrittschaltern.

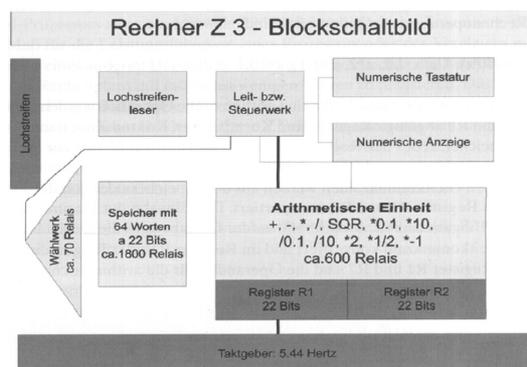


Abbildung 21: Blockschaftbild der Z3

Der Leistungsumfang der Maschine entspricht weitestgehend dem der Z1. Die Grundoperationen wurden um die zusätzlichen Operationen: \sqrt{x} , $1/x$, $1/2 * x$, $2x$, $-x$ und $10x$ erweitert. Für Konrad Zuse stellte diese Maschine weiterhin „nur“ eine Versuchsmaschine dar. Erst die Z4 sah Zuse als eine algebraische Rechenmaschine an. Der Takt wurde von einem Impulsgeber erzeugt. Die Maschine Z3 verfügte über einen Takt von circa 5,3 Hertz. Die Maschine wird durch das Steuer- bzw. Leitwerk gesteuert. Der Lochstreifenleser liest von einem 35-mm-Kinofilm 8-Bit-kodierte Befehle ein (Abb. 22). Der Speicher umfasste eine Kapazität von 64 Worten zu je 22 Bit (1408 Bits). Jedes Wort im Speicher ist über eine Adresse abrufbar, die durch das Wählwerk aus einem Lochstreifen ermittelt wurde.

Die Operanden für eine arithmetische Operation in der arithmetischen Einheit werden in den Registern R1 und R2 abgelegt. Jedes Register hat eine Kapazität von 22 Bit. Die Komponenten arithmetische Einheit, Ein- und Ausgabereinheit und der Speicher sind durch einen 22-Bit breiten parallelen Bus verbunden.

2.3.1 Die Steuereinheit

Diese Einheit kontrolliert und steuert die gesamte Maschine. Die Steuerung erfolgt getaktet. Mit jedem Takt wird die Maschine in einen neuen Zustand versetzt. Die Z3 benötigt drei Takte für die Ausführung einer Addition also $3/5,3 = 0,57$ Sekunden. Der Takt wird durch einen Impulsgeber erzeugt (Abb. 23). Der Impulsgeber ist eine Walze, die durch einen Motor angetrieben wird.

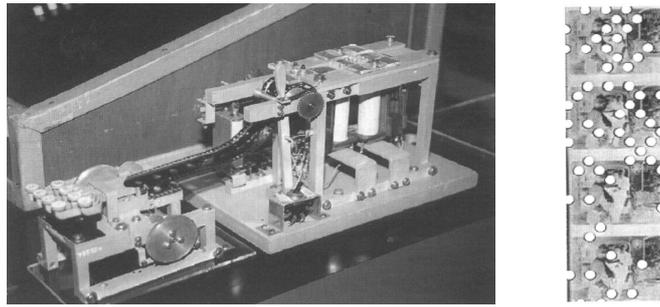


Abbildung 22: Lochstreifenleser und 35-mm-Kinonormalfilm

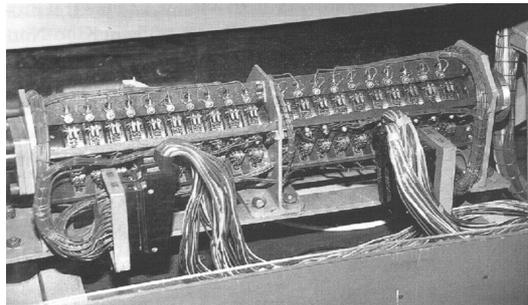


Abbildung 23: Taktgenerator der Z3

2.3.2 Programmsteuerung

Als Träger des Programms dient ein 35-mm Kinofilm. Die Befehle sind 8-Bit-kodiert und werden vom Lochstreifenleser, der von der Steuereinheit gesteuert wird, schrittweise eingelesen. Das Steuerwerk interpretiert die Befehle und startet die entsprechenden Operationen. Folgende Befehle sind möglich:

Lu	Eingabe von Dezimalzahlen auf der Eingabeeinheit	
Ld	Ausgabe der Ergebnisse auf der Ausgabereinheit	
Pr z	Lesen von Adresse z aus dem Speicher nach Register R1 bzw. R2	
Ps z	Speichern in Adresse z des Speichers vom Register R1	
Ls1	Addition der Register R1 und R2 zu R1	$R1 := R1 + R2$
Ls2	Subtraktion der Register R1 und R2 zu R1	$R1 := R1 - R2$
Lm	Multiplikation der Register R1 und R2 zu R1	$R1 := R1 * R2$
Li	Division der Register R1 und R2 zu R1	$R1 := R1 / R2$
Lw	Quadratwurzel aus Register R1 nach R1	$R1 := \text{sqrt}(R1)$

2.3.3 Speicher

Jedes Wort im Speicher ist durch eine Adresse eindeutig identifiziert. Ein Speicherblock umfasst also die Adressen 1-64. Der Speicher der Z3 mit 64 Worten zu je 22 Bits benötigte mehr als 1800 Relais inklusive der Relais zur Ansteuerung des Speichers. Der Speicher benötigte viel

Platz (Abb. 24). Daher stieg Zuse beim Bau der Z4 auf das Speicherkonzept der Z1 um. Die Selektion eines Wortes aus dem Speicher erfolgte durch das Wählwerk. Das Wählwerk hatte sechs Eingänge und 64 Ausgänge. Mit den sechs Bits können die 64 verschiedenen Adressen für den Speicher dargestellt und ausgewählt werden.

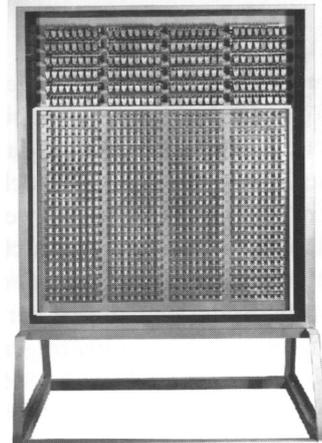


Abbildung 24: Relaisspeicherblock der Z3

2.3.4 Wählwerk

Das Wählwerk ist ein Logikkatter, welches aus einer 6-Bit-Kodierung am Eingang Strom auf eine der 64 Leitungen am Ausgang zum Speicher legt. Befehle, die auf den Speicher zugreifen (Pr, Ps), transportieren entweder den Inhalt aus dem Speicher in das Register R1, oder in das Register R2, falls R1 nicht leer ist, oder schreiben den Inhalt aus R1 in die angegebene Speicherzelle. Der Inhalt des Register R1 wird danach gelöscht. Sind beide Register nicht leer, endet das Programm mit einer Fehlermeldung. Das Wählwerk benötigt 63 Relais.

2.3.5 Arithmetische Einheit (Rechenwerk)

Konrad Zuse realisierte ein binäres Gleitkommarechenwerk, das von der Logik her auch heute noch in modernen Computern zu finden ist. Die arithmetische Einheit der Z3 besteht aus circa 600 Relais und neun Schrittschaltern, die als Mikrosequenzer verwendet werden (Abb. 25). Die Schrittschalter steuern den Ablauf der Rechenoperationen und führen sämtliche Rechenoperationen auf eine Folge von Addition und Subtraktion zurück. Das Rechenwerk wird von der Steuereinheit gesteuert.

Die arithmetische Einheit besteht aus zwei Festkommarechenwerken, die beide arithmetische Operationen auf binären Zahlen ausführen können. Das eine behandelt die Rechenoperationen für den Exponenten, das andere für die Mantisse. In Wirklichkeit waren die Zwischenspeicherregister R1 und R2 ebenfalls aufgeteilt in Register für Exponent und Mantisse. Ebenso waren für die Verwirklichung der Multiplikation weitere Register notwendig, die als Zwischenspeicher arbeiteten.

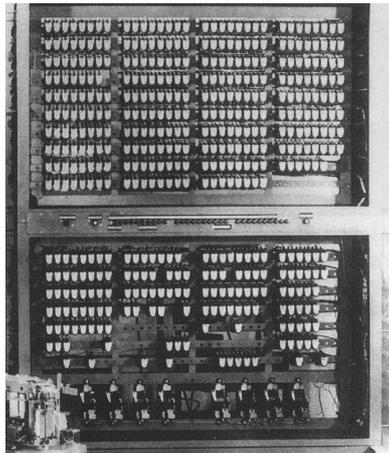


Abbildung 25: Das Rechenwerk der Z3

2.3.6 Addition mit einschrittigem Übertrag (Carry-Look-Ahead) und Multiplikation

Konrad Zuse entwarf eine Relaisschaltung, die den Übertrag für alle Binärstellen mit einem Takt berechnete. Dieser Übertrag ist unabhängig von der Länge der Binärzahlen.

Für die Addition zweier Gleitkommazahlen mit verschiedenen Exponenten muss erst der Exponent der kleineren Zahl dem Exponent der größeren Zahl angepasst werden. Die Bitpositionen der Mantisse müssen um die Differenz der beiden Exponenten nach rechts verschoben werden. Hier entsteht ein Problem. Beim Rechtsverschieben der Mantisse können rechts Bits rausfallen. Zuse löste dieses Problem damit, dass er für die Mantisse intern zwei zusätzliche Bits vorsah. Heute werden für die Lösung dieses Problems 128 Bits und mehr verwendet.

Bei der Multiplikation werden die Exponenten addiert und die Mantissen multipliziert. Die Multiplikation der Mantissen ist durch die Verwendung des Dualsystems relativ einfach (AND-Funktion).

2.3.7 Ein- und Ausgabeeinheit

Die Ein- und Ausgabe der Zahlen sollte in dem für Menschen gewohnten Dezimalsystem erfolgen. Die eingegebenen Dezimalwerte wurden in die binäre halblogarithmische Darstellung kovertiert und für die Ausgabe von der Binärdarstellung in die Dezimaldarstellung konvertiert. Mit Lampen wurden die Ergebnisse einer Rechnung als Dezimalzahl mit Mantisse und Exponent angezeigt (Abb. 26).

In der Eingabeeinheit gibt es drei Betriebsmodi: den Rechenplanmodus, den manuellen Modus und den gemischten Modus. Im Rechenplanmodus wird der Lochstreifen abgearbeitet. Stoppt das Programm aufgrund des Befehls Lu, wird eine Eingabe gefordert. Nach dem Drücken der „A“-Taste wird das Programm fortgesetzt. Im manuellen Modus können Dezimalzahlen eingegeben werden und in einem der Register R1 oder R2 gespeichert werden. Ebenso können aber auch die Register gelöscht werden und alle Rechenoperationen durchgeführt werden. Der gemischte Modus ist eine Kombination der beiden vorangegangenen. Sobald das Programm aufgrund eines Lu Befehls stoppt, können manuelle Rechnungen vorgenommen werden.

Die Ausgabeeinheit zeigt das Ergebnis eines Programms oder einer Rechnung auf der Eingabeeinheit an. Dies kann der Befehl Ld auf dem Lochstreifen oder die Taste Ld auf der Eingabeeinheit bewirken. Das Ergebnis steht immer im Register R1. Die Ausgabeeinheit stellt das Ergebnis mit der Anzeige von Lampen dar.

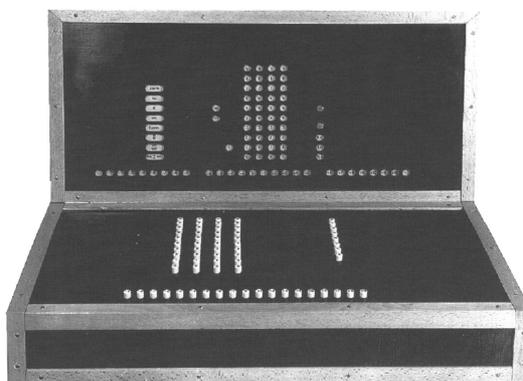


Abbildung 26: Ein- und Ausgabeeinheit des Nachbaus der Z3

2.4 Z4 (1942-1947)

Der mechanische Speicher der Z4 sollte die Möglichkeit besitzen, auf bis zu eintausend Worte zu je 32 Bits ausbaufähig zu sein. Für einen solchen Speicher wären in der Relais-technik $32 \cdot 1000 = 32000$ Relais notwendig gewesen. Aufgrund der widrigen Fertigungsbedingungen während des Krieges konnte die Z4 statt mit sechs nur mit einem Lochstreifenleser und mit 12 statt 64 Worte umfassenden Speicher ausgestattet werden. Im Jahr 1949 wurde der Speicher auf 64 Worte aufgestockt.

Die Z4 sollte in folgenden Gebieten einsatzfähig sein: Vermessungswesen, Schaltungsmathematik, Betriebskalkulation, Statistik, Steuerung von Werkzeugmaschinen, Sprechhirn und Theorie der Brett- und Kartenspiele. Die Z4 besteht aus circa 2200 Relais und 21 Schrittschaltern. Sie beherrscht folgende arithmetische Operationen: x^2 , \sqrt{x} , $1/x$, $\pi * \pi$, $sgn(x)$, $1/2 * x$, $2x$, $-x$, $10x$, $3x$, $1/3 * x$, $1/5 * x$, $1/7 * x$, πx , $1/\pi * x$. Die Wortlänge beträgt 32 Bit, was eine Genauigkeit von bis zur 6. Stelle im Dezimalsystem erlaubt.

Abbildungsverzeichnis

1	Karikatur aus der Schulzeit	1
2	Metropolis	2
3	Warenautomat mit Geldrückgabe	3
4	Zuse als Laienschauspieler	4
5	Formular für statisch unbestimmte Rechnungen	4
6	Entwurf einer vollautomatischen Rechenmaschine zur Mechanisierung der Rechnungen von gelochten Formularen	5
7	Register mit verriegelbaren Stiften	5
8	Erster Entwurf einer programmgesteuerten Rechenmaschine	6
9	Die Z1 in der als Werkstatt eingerichteten Wohnung	7

10	Ausgeführte Konstruktion des mechanischen Speichers.	7
11	Nachbau der Z3	10
12	Der erste amerikanische Computer MARK I	10
13	Hochzeit von Konrad und Gisela Zuse	11
14	Geburtsanzeige seines fünften Kindes	11
15	Die Rechenmaschine Z4	15
16	Die Rechenmaschine Z5	15
17	Die Rechenmaschine Z23 in Transistortechnik	16
18	Die Zuse KG in Bad Hersfeld	17
19	Konrad Zuse als Künstler	17
20	Nachbau der Z1	19
21	Blockschaltbild der Z3	20
22	Lochstreifenleser und 35-mm-Kinonormalfilm	20
23	Taktgenerator der Z3	21
24	Relaisspeicherblock der Z3	22
25	Das Rechenwerk der Z3	22
26	Ein- und Ausgabeeinheit des Nachbaus der Z3	24