



Title: Ein eigensinniger Erfinder-Unternehmer: Konrad Zuse
Author(s): Hartmut Petzold
Date: 1992
Published by: Konrad Zuse Internet Archive
Source: Essay - ZIA ID: 0682

The Konrad Zuse Internet Archive preserves and offers free access to the digitized original documents of Konrad Zuse's private papers and to other related sources.

The Konrad Zuse Internet Archive is a nonprofit service that helps scholars, researchers, students and other interested parties discover, use and build upon a wide range of content in a digital archive. For more information about the Konrad Zuse Internet Archive, please contact zusearchive@zib.de.

Your use of the Konrad Zuse Internet Archive indicates your acceptance of the Terms & Conditions of Use (<http://zuse.zib.de/tou>) including the following license agreement. If you do not accept the Terms & Conditions of Use you are not permitted to use the material.

This work by Konrad Zuse Internet Archive is licensed under a
Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>).
Based on a work at <http://zuse.zib.de>



Attribution (BY) - You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor (but not in any way that suggests that they endorse you or your use of the work). Attribute with "Konrad Zuse Internet Archive (<http://zuse.zib.de>)".

Noncommercial (NC) - You may not use this work for commercial purposes.

Share Alike (SA) - If you alter, transform, or build upon this work, you may distribute the resulting work only under the same or similar license to this one.

The usage of this document requires the consideration of possible third party copyrights, and might necessitate obtaining the consent of the copyright holder. The Konrad Zuse Internet Archive assumes no liability with respect to the rights of third parties. The Konrad Zuse Internet Archive is not responsible for the claims of any third party resulting from any infringement of copyright laws.

Moderne Rechenkünstler - Die Industrialisierung der Rechentechnik in Deutschland

Hartmut Petzold

Verlag C.H. Beck München, 1992

Kapitel 5: Ein eigensinniger Erfinder-Unternehmer:

Konrad Zuse

Familie, Schule und Studium

Anstelle der Auseinandersetzung zwischen Firmen und politischen Institutionen, denen das Interesse im vorigen Kapitel galt, soll jetzt erneut der Gegensatz zwischen einer einzelnen, schöpferischen Persönlichkeit auf der einen und den politischen, wirtschaftlichen oder auch militärischen Stellen auf der anderen Seite in den Mittelpunkt des Interesses gerückt werden. Dieser Gegensatz bestimmte in diesen Jahren die historische Entwicklung der automatischen digitalen Rechentechnik in Deutschland stärker als die vorhandenen objektiven technischen Möglichkeiten. Die Geschichte der Arbeit von Konrad Zuse zeigt, daß dabei auch der Entwicklung der Theorie des automatischen Rechnens und der unmittelbar daraus hervorgehenden Programmieretechnik von Anfang an eine bedeutende Rolle zukommt.

Die frühen, entscheidenden Arbeiten Zuses fanden lange Zeit kaum Beachtung, da nur wenige Personen, darunter ganz wenige Vertreter des akademischen Wissenschaftsbetriebs, von ihnen überhaupt wußten. Selbst bei diesen blieb das Interesse aus unterschiedlichen Gründen gering, so daß der Einfluß Zuses auf die Entwicklung der seit Beginn der 50er Jahre entstehenden Computerszene oft nur indirekt stattfand. Gerade die Verfolgung der Erfahrungsgänge zeigt jedoch, daß dieser Einfluß tatsächlich gegeben war.

Der 1910 als Sohn eines Postbeamten in Berlin geborene Konrad Zuse hatte seine Kindheit im ostpreußischen Braunsberg verbracht, bis sein Vater, den er später als "preußischen Beamten im besten Sinne" bezeichnen sollte, in die Oberlausitz versetzt wurde. Nach dem Besuch des Reformrealgymnasiums in Hoyerswerda und dem Abitur 1927 schrieb sich der zeichnerisch begabte und technisch allseitig interessierte Zuse an der TH Berlin-Charlottenburg im Fach Maschinenbau ein. Seine Erinnerungen aus dem Jahr 1970, die in überarbeiteter und ergänzter Fassung 1984 erneut herausgegeben wurden, teilen mit, daß er in der Pflicht, beim Maschinenzeichnen die vorgeschriebenen Normen verwenden zu müssen, eine Einschränkung seines schöpferischen Geistes gesehen hätte und deshalb zum Architekturstudium überwechselte. Weil er dort nicht gleich mit dem Entwerfen "technisch großzügiger Bauten" hätte beginnen können, habe er schließlich ein drittes Studium als Bauingenieur begonnen und habe in diesem Beruf endlich "die ideale Kombination von Ingenieur und Künstler" gefunden. Als 1929 die beginnende Wirtschaftskrise den Ingenieurberuf als nicht sehr aussichtsreich erscheinen ließ, scheiterte ein Versuch Zuses, Reklamezeichner zu werden.

In seiner Schulzeit hatte sich Zuse mit der Planung verkehrsgerechter Städte befaßt. Er verwandte einige Zeit auf das Fotografieren und entwarf dafür automatische Entwicklungsanlagen. Andere Beschäftigungen galten dem Entwurf eines neuartigen Kinos oder auch eines Warenautomaten mit Geldrückgabe. Solche Projekte gediehen bis zu ernsthaften zeichnerischen Entwürfen und praktischen Modellen aus dem Metallbaukasten. Die Feststellung, daß es die preußische Beamtenfamilie war, die Zuse später die für ihn entscheidende Fähigkeit mitgab, mit einfachsten Mitteln die wesentlichen Teile seiner technischen Pläne zu realisieren, entspricht einer weder beweisbaren noch widerlegbaren, jedoch ideologieträchtigen Vorstellung.

Folgt man Zuses Erinnerungen, dann gehörten zu den Büchern, die ihn während seiner Studienzeit besonders beeindruckt hatten, neben Henry Fords Autobiographie, in der die Technik einen Weg aus der Wirtschaftskrise zu weisen schien, auch der erste Band von Marx' *Kapital* und Spenglers

Geschichtsphilosophie.

Nach seiner eigenen Schilderung war Zuse in seinen Schüler- und Studentenjahren ständig auf der Suche nach Problemen, bei denen er etwas automatisieren konnte. Wenn er dort auch mitteilt, daß mit Ausnahme der kurzen Zwischenphase, in der er Zeichner werden wollte, der Ingenieurberuf für ihn als Lebensziel festgestanden habe, so war es sicherlich nicht der Ingenieur, der sich durch besonderes Einfühlungsvermögen in eine fest vorgegebene Aufgabenstellung auszeichnete, sondern der erfinderische Unternehmer, der nur sich selbst als Aufgabensteller anerkennt.

Erste Überlegungen zum Rechenautomaten

Während des Bauingenieurstudiums traf Zuse auf die umfangreichen statischen, darunter die besonders aufwendigen, statisch unbestimmten Rechnungen, von denen er berichtete, daß sie um 1930 herum schon sehr gut "programmiert" gewesen seien. Das dabei verwendete Rechenschema beruhte auf einer Zergliederung der mathematischen Aufgabe bis zu den elementaren Rechenschritten, die mit mechanischen Tischrechenmaschinen ausgeführt werden konnten.

Die Abfolge der einzelnen Rechenschritte war auf einem Formular festgelegt, in das auch die Zwischenergebnisse eingetragen wurden. Nachdem ein Ingenieur oder Mathematiker das Formblatt für eine Standardaufgabe einmal erstellt hatte, wurde die Zahlenrechnung von wenig qualifizierten "Rechenknechten" oder Rechnerinnen mit Tischrechenmaschinen mit demselben vervielfältigten Blatt immer wieder von neuem für wechselnde Zahlenwerte ausgeführt. Eine Kontrolle für die Rechnung bestand darin, daß sie von zwei Rechnerinnen, parallel und unabhängig voneinander, durchgerechnet wurde, ohne daß diese Gesamtzusammenhänge verstanden. Stimmt die Ergebnisse überein, dann war die Rechnung mit großer Wahrscheinlichkeit richtig.

Ausgehend von Überlegungen zur Verbesserung solcher Rechenschemata entwickelte Zuse während des Studiums immer konkretere Vorstellungen einer automatischen programmgesteuerten Rechenmaschine. Später beschrieb er seine Gedanken von 1934: Bei der Erstellung der Formblätter und Rechenschemata "sollten möglichst nur die Zahlen (Eingangswerte) eingesetzt werden, und der Ablauf der Rechnung, der sich in der Regel aus Addition, Subtraktion und Multiplikation zusammensetzte, sollte sich aus dem Aufbau der Formulare gewissermaßen von selbst ergeben, möglichst so, daß nebeneinanderstehende Zahlen zu multiplizieren, untereinanderstehende zu addieren und Festwerte (Formelkonstante) gleich an den richtigen Stellen vorgedruckt standen". Die Überlegungen mündeten 1934 in eine umfangreichere Studienarbeit bei Karl Pohl, Professor für Statik, in der er ein Rechenschema für die Berechnung eines neunfach statisch überbestimmten Systems von drei zusammenhängenden Brückenrahmen aufstellte.

Er selbst arbeitete damals mit dem Rechenschieber und nicht mit der mechanischen Rechenmaschine. Auch die Verwendung von Lochkartenmaschinen schloß er "nach einem Blick", wie es in den Erinnerungen von 1970 heißt, kurzentschlossen aus. Sie standen ihm auch gar nicht zur Verfügung.

Zuse konnte sich schnell vom Konzept der vorhandenen Rechenmaschinen lösen, da er sich nicht auf das mechanische Addieren und Multiplizieren beschränken ließ, sondern beliebig komplexe Rechenaufgaben in einzelne elementare Rechenschritte auflösen und automatisch berechnen wollte. In seinen Überlegungen bildeten Rechenschema und Rechenmaschine eine Einheit, die er in einem neuartigen, möglichst weitgehend automatisierten Gerät technisch zusammenfassen wollte.

Offenbar liegt ein Schlüssel für die grundsätzlichen Beiträge Zuses zur Computerentwicklung darin, daß er das System aus Rechenschema und Vierspeziesmaschine, das von den Rechenpraktikern bereits seit Jahrzehnten als erfolgreicher Weg zur effektiven Nutzung der Rechenmaschinen eingeschlagen und systematisch entwickelt worden war, aus dem damals gängigen Blickwinkel des Rationalisierungsingenieurs sah, der eine zu

mechanisierende und zu rationalisierende Einheit verwirklichen wollte.

Die in den Erinnerungen wiedergegebene Folgerichtigkeit der Ideen vollzog sich in der historischen Realität sicherlich nicht in der hier mitgeteilten Klarheit. Die erwähnten Zweifel dürften zu jeder Zeit gewichtig gewesen sein. “Denn nur, was Wind und Wetter wirtschaftlich-praktischer Verwendung auszuhalten vermag, verdient es, als wichtiges Glied der gesamten Entwicklung festgehalten zu werden”, war die Regel des deutschen Historikers der Ingenieur-Technik Conrad Matschoß. “Geistreiche Ideen, die schon bei der ersten Ausführung scheiterten, gehören nur ausnahmsweise, soweit sie zum Verständnis der Entwicklung nötig sind, hierher. ... Im Reiche der Technik gelten Taten und nicht Worte, und deshalb ist es berechtigt und notwendig, am ausführlichsten von diesen Taten zu berichten.” Es war für Zuse nicht nötig, Matschoß’ *Geschichte der Dampfmaschine*, wo diese Sätze stehen, zu studieren. Er richtete sich bei der Abfassung seiner Erinnerungen auch so nach dieser Maxime. Vieles an Widersprüchlichkeiten dieser Autobiographie entspringt daraus. Über das Festhalten der Daten durch Lochung auf nur einmal verwendbaren Lochkartenformularen kam er zum beliebig of benutzbaren Register. Er wollte das Rechenformular, in das die Zahlen eingelocht werden sollten, in dieses Register einlesen. Für die Abtastung des großen Formularbogens sah er anfangs eine Brücke mit Laufkatze vor, erkannte dann jedoch, daß das Formular durch einen leichter abzulesenden Speicher ersetzt werden konnte, wenn die Zahlen entsprechend ihrer topologischen Anordnung auf dem Formular durchnumeriert wurden. Wenn diese Anordnung durch eine Folge von Operationsbefehlen ersetzt wurde, waren Ablesetisch, Brücke und Laufkatze unnötig, und das “Rechenschema” konnte durch einen “Rechenplan” ersetzt werden. “Ein Rechenplan entsteht durch die Auflösung einer Formel in ihre einzelnen elementaren Operationen und Aufzählung dieser Operationen, wobei die betreffenden Werte am einfachsten der Reihe nach numeriert werden”, lautete auch später Zuses Definition.

Die technologische Umsetzung des dualen Zahlensystems

Der entscheidende Schritt, der ihm den Weg für die weitere Konzeption freimachte, war Zuses Entschluß, das Dualzahlensystem zu verwenden. Er sah später in diesem Schritt eine radikale Konsequenz seiner Aufgabenstellung und beantwortete 1968 die Frage, wie er darauf kam: “Ja eigentlich, weil ich von jeher ein Sonderling war, und eben alles anders machen mußte als die anderen Menschen.” Er sei damals “nicht gerade revolutionär” gewesen, “aber irgendwie ein Sonderling schon”.

Zuse schilderte damals seine Überlegungen gegenüber der Mitarbeiterin der amerikanischen *Smithsonian Institution* Uta Merzbach: “Ist das, was die anderen machen, vernünftig? Und gibt es in diesem Fall nicht einen besseren Weg? Zum Beispiel, wenn ich jetzt eine Rechenmaschine baue, die über Tausende von Werten hinweg automatisch rechnet, muß ich dann noch das etwas plumpe Dezimalsystem verwenden?” Dabei kam er “ziemlich leicht auf das einfachste, das binäre Zahlensystem”. Er faßte zusammen: “Das ist eben die Konsequenz, wenn man wirklich neu anfängt.” Rückblickend verglich er seinen Ansatz mit dem der amerikanischen Computerpioniere: “Aiken z. B. hat noch mit Bauelementen der Lochkartenindustrie angefangen, die waren aber dezimal. Da war also durch die Bauelemente der Weg vorgeschrieben. ... Stibitz... war von vornherein in einer Firma tätig, in der die Relaisstechnik zur Tradition gehört. Die Schaltungstechnik mit Relais war ihm schon geläufig und der Gedanke des binären Zahlensystems irgendwie natürlich.”

Zuse war fasziniert, als sich durch das binäre Zahlensystem eine “neue Welt des Rechnens” eröffnete, die sich scheinbar ziemlich problemlos durch entsprechende Schaltelemente realisieren ließ. Er erkannte schon bald, daß die Verwendungsmöglichkeiten des elementaren dualen Schaltbausteins außerordentlich weitreichend und

umfassend sein mußten. Im Gegensatz zur Entwicklung mechanischer Rechenmaschinen schienen zumindest für eine versuchsweise Realisierung seiner Konzeption weder eine aufwendige Werkstatteinrichtung noch feinmechanische Erfahrung und Raffinesse notwendig. Die Entwicklungsarbeit bestand vor allem im Entwurf von Schaltplänen am Schreibtisch.

Auch als er nach dem Entwurf der ersten Schaltungen feststellte, daß mehrere Tausend Telefonrelais für rund 100 000 Mark nötig seien, daß eine derartige Anordnung ein ganzes Zimmer mit Relaischränken füllen würde, blieb er beim Dualsystem. Ihm habe anfangs die Größenordnung einer "besseren Tischrechenmaschine" vorgeschwebt, meinte er später, weshalb er mit großer Energie nach einem kleineren und billigeren Relais suchte. Er fand heraus, daß rein mechanische Dualschaltungen nicht nur möglich waren, sondern sich technologisch sogar einfacher und vor allem raumsparender als die üblichen, auf Zahnrädern beruhenden Dezimalschaltungen realisieren ließen. Die hin- und herzuschiebenden einfachen Blechhebel versprachen eine billige Herstellung in Stanztechnik. [\[5\]](#)⁵

Ein weitreichendes Konzept

Trotz aller praktischen Probleme hatte Zuse gegen Ende seines Studiums 1934/35 den Entschluß gefaßt, sein zukünftiges Leben der Konstruktion und dem Bau rechenplangesteuerter Rechenanlagen zu widmen. Drei Grundprinzipien betrachtete er als unverzichtbar: Das Gerät sollte durch einen Rechenplan in Lochstreifenform gesteuert werden, der nacheinander die Befehle an die einzelnen Teile der Anlage gab; das zentrale Rechenwerk sollte im binären Zahlensystem und mit Gleitkommarechnung aufgebaut werden; während der Rechnung auftretende Zwischenwerte sollten in einem besonderen adressierbaren Speicherwerk für etwa 1 000 Zahlen gespeichert werden. Damit hatte er rein theoretisch, nur durch einige Versuchsbasteleien gestützt, eine Rechenmaschinenkonzeption gefunden, von der er nie wieder abzugehen brauchte, auch wenn sie wesentliche Bestandteile der später als klassisch bezeichneten Konzeption, die mit dem Namen John von Neumanns verbunden ist, nicht enthielt.

Nach dem Studienabschluß begann Zuse im Juli 1935 erst einmal als Statiker bei den neu gegründeten *Henschel-Flugzeugwerken* in Berlin-Schönefeld, wo er für die Konstruktion von Tragwerken Kraft- und Spannungsberechnungen von verwickelten, ebenen und räumlichen, mehrfach statisch unbestimmten Systemen und die Nachrechnung von Beulerscheinungen sowie die Bearbeitung und Auswertung von Festigkeitsversuchen durchführte. Die praktischen Erfahrungen mit der technischen Rechenarbeit bestärkten ihn weiter in seinem Entschluß, sich ganz "der Konstruktion automatischer Rechenmaschinen" zu widmen. Konsequenter und überzeugt von der Bedeutung seiner Erfindung gab er jedoch bereits zum 31. Mai 1936 die von ihm selbst, sicherlich mit Recht, als aussichtsreich bezeichnete Stellung wieder auf und richtete in der Wohnung seiner Eltern eine Werkstatt ein. Von nun an wurde die Arbeit weitgehend von seiner Familie und von Freunden aus der *Akademischen Vereinigung Motiv* ermöglicht. Zuses Vater, bereits pensioniert, ließ sich für ein Jahr reaktivieren. Seine Schwester unterstützte die Arbeit aus ihrem Gehalt. Ein damals beteiligter Studienfreund berichtete von der Werkstatt, die in der Wohnung der Eltern in der Berliner Methfesselstraße eingerichtet wurde, während das große Wohnzimmer die entstehende Maschine selbst aufnahm. Zeitweise wurde noch ein drittes Zimmer als Aufenthaltsraum belegt.

Die Maschine nahm bald das ganze Wohnzimmer ein und konnte nicht mehr daraus entfernt werden. Bereits Ende 1935 hatte Zuse seinen Freunden erklärt, er suche Helfer für den Bau einer Universalrechenmaschine. Seit Sommer 1936 bis zum Kriegsausbruch arbeitete ein halbes Dutzend seiner Freunde abwechselnd, teilweise monatelang, täglich bei ihm. Sie veranlaßten auch Verwandte zu finanziellen Spenden, um die Arbeit weiterführen zu können. Seine Mutter kochte für die Mitarbeiter das Essen. Als einziges überliefertes Motiv für diese allseitige Unterstützung wurde die Überzeugung überliefert, daß Zuse "Großes" vorgehabt habe, wobei man ihm helfen mußte. Die jahrelang dauernde Unterstützung für den damals 26jährigen durch die Angehörigen läßt jedoch darauf schließen, daß man auf eine baldige und erfolgreiche Unternehmensgründung

mit Rückhalt in der Flugzeugindustrie hoffte. Beide Motive schließen sich natürlich nicht aus.

“Die Rechenmaschine des Ingenieurs”

In einem vom 30. Januar 1936 datierten, unveröffentlichten Manuskript mit dem Titel “Die Rechenmaschine des Ingenieurs” formulierte Zuse die wesentlichen Eigenschaften der geplanten Maschine, die nicht wie die üblichen Maschinen statistischen und kaufmännischen Zwecken dienen, sondern lediglich technische Rechnungen ausführen sollte: “Der Ingenieur hat viel mit festen Formeln zu arbeiten, die immer wiederkehren. Man hat gewisse Ausgangswerte, und die Arbeit besteht nur darin, durch eine bestimmte, für eine Formel immer gleiche Aufeinanderfolge von Grundrechnungsarten zwischen bestimmten Zahlen das Resultat zu berechnen... In dieser Art läßt sich für jede beliebig lange Rechnung ein ‘Rechenplan’ aufstellen, in dem im voraus die aufeinanderfolgenden Rechenoperationen dem Charakter und der Reihe nach aufgezeichnet werden, und die im Verlauf der Rechnung auftretenden Zahlen fortlaufend numeriert, oder nach einem anderen Schema geordnet werden, ohne sie zunächst der Größe nach zu bestimmen.”

Weiter hieß es: “Der Ingenieur braucht Rechenmaschinen, die diese Rechenoperationen automatisch ausführen, indem der Rechenplan auf einem Lochstreifen festgehalten wird, der die Befehle für die einzelnen Rechenoperationen selbsttätig und nacheinander an die Maschine gibt. Die Maschine muß auf ‘Befehl’ des Lochstreifens jede verlangte Grundrechnung vollautomatisch ausführen können.

Ferner muß die Maschine über ein Speicherwerk verfügen, in welchem die während der Rechnung auftretenden Zahlen der Nummer nach geordnet werden können, und aus denen durch ein mechanisches Wählwerk jede gewünschte Zahl abgelesen werden kann. Das Speichern und Ablesen der Zahlen wird ebenfalls durch den Befehlslochstreifen dirigiert. Ist es möglich, Rechenmaschinen dieser Art zu bauen, so ist die Art der mit ihnen zu rechnenden Aufgaben lediglich durch die Größe des Speicherwerks begrenzt.” Die Speicherwerke seien “sehr einfach und billig herzustellen, so daß Maschinen mit mehreren hundert Speicherzellen keine Schwierigkeiten” bereiteten.

Die Maschine sollte durchweg im Dualsystem arbeiten. Die Multiplikation von Zahlen im Dualsystem erforderte zwar eine größere Zahl von Einzelmultiplikationen, “dafür sind diese aber in sich einfacher, da die Ziffernwerte kleiner sind”. Die geplante Maschine könne eine große Zahl einfacher Operationen besser ausführen als wenige komplizierte.

Am wichtigsten erschien ihm die einfache Möglichkeit der Speicherung von Dualzahlen. Im Gegensatz zu den bis dahin üblichen Speichern für Dezimalzahlen, die als Zahnräder realisiert wurden, erkannte Zuse bereits damals, daß erst die Verwendung des Dualsystems echte “Massenspeicher” möglich machen würde. Wenn für das Potenzieren mit gebrochenen Exponenten und das Wurzelziehen die logarithmische Rechnung unbedingt gebraucht wurde, so ermöglichte das Zweiersystem auch hier die Lösung. “Man braucht nämlich nur die Logarithmen von 1 bis 2 anstatt von 1 bis 10, selbstverständlich in Bezug auf die Basis 2... Ist die Vorrichtung zum Bilden von Logarithmen einmal vorhanden, so kann man sie auch zum Multiplizieren und zum Dividieren benutzen. Es lassen sich also Produkte mit vielen Faktoren fast ebenso schnell bilden wie die Summe einer Zahlenreihe.”

Ein weiteres Argument für die Verwendung des Dualsystems sah er in der möglichen Rechengenauigkeit. Während beim Rechnen mit Dezimalzahlen die mit der kleinsten Genauigkeit darzustellende Zahl gleich $1/10$ der mit der größten Genauigkeit ist, war dieses Verhältnis bei dualer Zahlendarstellung nur $1/2$. Die Schwankung der Genauigkeit erwies sich bei dualen Zahlen als die kleinstmögliche.

Bei der Rechnung mit Geldbeträgen auf den üblichen Lochkartenmaschinen stand das Komma immer an der gleichen Stelle. Dagegen traten in den statischen Rechnungen und in der Ingenieurrechnung allgemein Zahlen sehr unterschiedlicher Größenordnung in der gleichen Formel auf, beispielsweise die Wärmeausdehnungszahl $\epsilon = 0,000\,012$ und der Elastizitätsmodul $E = 2\,100\,000$. So war es gerade der besondere Erfahrungsgang des Bauingenieurs und Flugzeugstatikers, der ihn auf die Behandlung der Komma Darstellung als Schlüsselproblem des programmgesteuerten Rechenautomaten lenkte. Nach dem Prinzip des in der

Ingenieurarbeit bewährten Rechenschiebers wollte er die Genauigkeit der Multiplikation derartig unterschiedlicher Zahlen erhöhen. Um auch für die Addition eine einheitliche Komma-Position zu ermöglichen, verwendete er eine "halblogarithmische" Zahlendarstellung.⁵⁶

Zur Arbeit mit Rechenplänen erklärte er: "Pläne von allgemeiner Bedeutung entsprechen den heutigen Formelsammlungen und gehören zum dauernden Planbestand eines Büros." Auch dabei hielt er sich eng an die Bedürfnisse der Rechnungen für den Flugzeugbau und führte als Aufgaben, die er als Statiker bei *Henschel* bearbeitete, als Beispiele an: Determinantenberechnung, Auflösung von Gleichungsrastern, Bestimmung der Beulkriterien für Platten allgemeiner Gestalt, Zusammensetzung von Spannungen usw. Diesen "Plänen von allgemeiner Bedeutung" stellte er "Pläne von spezieller Bedeutung" gegenüber, die für spezielle Aufgaben aufgestellt werden sollten und "Allgemein-Pläne" als Teile enthalten sollten. [5]⁶ Als Beispiel, das ihm offenbar als großes Ziel vor Augen stand, führte er ein Rechenplansystem für die Konstruktion eines ganzen Flugzeugs an, das eine hierarchische Gliederung aufwies: 1. Gesamtplan, 2. Plangruppen (Luftlasten, Motorlasten, Knotenlasten, statische Rechnungen), 3. Einzelpläne.

Die Möglichkeit, die gesamte statisch unbestimmte Rechnung für das Flugzeug in einem Gesamtplan zusammenzufassen, lehnte er dagegen als unpraktisch ab, "da man zu Korrekturzwecken jedesmal den ganzen Plan durchrechnen müßte". Für die Verbindung von Einzelrechenplänen und Gesamtplan gab er einige Regeln an. "Bei der Aufstellung des Gesamtplanes, also der Einteilung in Plangruppen und Einzelpläne, ist es nötig, scharfe Disziplin in den Ausgangs- und Resultatwerten zu halten. Sie sind die Fäden, die die einzelnen Pläne miteinander verbinden. Ein bestimmter Einzelplan kann seine Ausgangswerte von verschiedenen anderen Plänen beziehen und seine Resultatwerte weitergeben."

Die Rechenpläne sollten auf einem Formblatt entwickelt werden, an dessen Anfang die Ausgangs- und Resultatswerte aufgezählt wurden, die "eindeutig definiert und u. U. in Gruppen eingeteilt" sein sollten. Es folgte die Liste der durchnummerierten Rechenoperationen. Vorgesehen waren Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division, Quadratwurzelziehen. Ein "Wert" entsprach in der Maschine einem bestimmten Speicherplatz, in dem eine Zahl gespeichert werden konnte. Er wurde im Rechenplan mit der fortlaufenden Nummer bezeichnet. Wenn ein "Wert" in der Rechnung nicht mehr gebraucht wurde, konnte seine Nummer für einen anderen benutzt werden. Bei der Speicherung der neuen Zahl wurde die bis dahin gespeicherte selbsttätig gelöscht. Wurde das Ergebnis einer Teiloperation gleich weiterverwendet, so brauchte es nicht gespeichert zu werden.

Ganz selbstverständlich hatte Zuse die selbstgestellte Aufgabe des Baus einer automatisch arbeitenden Rechenmaschine durch zumindest grobe Regeln für die Erstellung der Rechenpläne und Rechenplansysteme auch auf das Programmieren ausgeweitet. Für ihn gab es damals die später für den Computerbereich so charakteristische und folgenreiche Arbeitsteilung in Hardware und Software noch nicht.

Pionierpatente

Im April 1936 reichte Zuse über einen Patentanwalt eine Anmeldungsschrift mit dem Titel *Verfahren zur selbsttätigen Durchführung von Rechnungen mit Hilfe von Rechenmaschinen* beim Patentamt ein. Die Schrift enthielt etwa die Angaben des erwähnten Manuskripts, war jedoch nicht so stark auf den Flugzeugbau zugeschnitten. Die Anmeldung unter dem Aktenzeichen Z23139 enthielt den Hauptanspruch: "Verfahren zur selbsttätigen Durchführung von Rechnungen, die sich aus elementaren Rechenoperationen in beliebiger Reihenfolge zusammensetzen, mit Hilfe von Rechenmaschinen, dadurch gekennzeichnet, daß einerseits die im Verlauf der Rechnung auftretenden Zahlen gespeichert werden und mittels eines Wählwerks jederzeit einer Rechenvorrichtung zur Verfügung stehen, andererseits die erforderlichen Operationen ausgelöst und gesteuert werden durch das Abtasten eines Rechenplanes, der für jede Operation die auszuführende Grundrechnungsart, die Nummern der die jeweils erforderlichen Zahlen enthaltenden Speicherzellen und die Nummer der das Resultat speichernden Zelle fortlaufend und selbsttätig angibt." Der Anspruch umfaßte auch

die Möglichkeit, daß als Rechenwerk dezimal arbeitende Vierspeziesmaschinen verwendet wurden. Während diese erste Patentanmeldung ein "Verfahren" betrug, war die vollständig dual arbeitende Maschine Gegenstand einer weiteren Anmeldung vom Dezember 1936: "Im Sekundalsystem arbeitende Rechenmaschine, dadurch gekennzeichnet, daß sowohl die eigentlichen Rechenoperationen wie Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division und Quadratwurzelziehen als auch die Übersetzung der Dezimalzahlen in Sekundalzahlen und umgekehrt nach Auflösung in einzelne Additionen auf derselben Rechenvorrichtung durchgeführt werden, indem die Übersetzung durch ziffernweisen Auf- bzw. Abbau der Zahl mit dazwischenliegender Multiplikation mit 10 erfolgt."

Bei dem grundsätzlichen Charakter der Anmeldungen wären intensive Studien auch ausländischer Patentschriften zum Nachweis der Neuheit und zur Abgrenzung gegenüber dem bereits bekannten erforderlich gewesen, worauf Zuse verzichtete – aus Mangel an Geld und Zeit; wahrscheinlich aber auch an qualifizierter Beratung.

Es sollte eine sehr folgenreiche Unterlassung bleiben. Das Patentamt machte beide Anmeldungen "mangels Offenbarung" gar nicht erst bekannt. Zuse ersetzte beide Patentschriften 1941 durch eine präzierte und umfangreichere Neuansmeldung und mußte dafür die alte zurückziehen. Das Prioritätsjahr 1936 ging damit verloren.

Er hielt den Bau einer funktionierenden Maschine für vorrangig. Diese Entscheidung ist in seiner Situation, in der jede Auftragserteilung von einer überzeugenden Demonstration eines Prototyps abhängen mußte, nachvollziehbar. Hätte er damals die Anmeldung unanfechtbar formuliert und mit dem nötigen Nachdruck beim Patentamt vertreten, wäre auf seine Erfindung mit ziemlicher Sicherheit ein außerordentlich weitreichendes Patent erteilt worden. Ein erteiltes Patent hätte ihm bei Verhandlungen mit Firmen wegen Fertigung und Vertrieb mehr Handlungsspielraum gegeben.

Seine Ansprüche wären geschützt gewesen und die Befürchtung, bei der Nutzung seiner Ideen einfach übergangen zu werden, wären weitgehend gegenstandslos gewesen. Der fehlende Patentschutz war zweifellos für seine isolierte Situation in den Kriegsjahren und noch mehr im für die internationale Computerentwicklung so wichtigen Jahrzehnt nach dem Ende des Kriegs entscheidend verantwortlich. Seine praktischen Aktivitäten der folgenden Jahre, die zum Bau seiner Maschine führten, förderten seine Anmeldeverfahren nur in der Vermehrung der Detailansprüche.

Die Kriegs- und Nachkriegsjahre, die Schließung des Patentamtes zwischen 1944 und 1949 und der Aufbau der neuen Firma in den 50er Jahre sollte dann ein mit großem Aufwand erhobener Einspruch der Firma *Triumph*, die auch die Interessen der ungenannt bleibenden IBM vertrat, zu einem langen Verfahren führen, das erst 1967 mit der Ablehnung des Zuseschen Anspruches durch das Bundespatentgericht mangels Erfindungshöhe endete. Die Gegenschriften wären bei der Aufrechterhaltung des Prioritätsjahres 1936 weitgehend gegenstandslos gewesen.⁵⁶

Die Arbeiten bis zum Kriegsausbruch

Nach seiner Kündigung bei *Henschel* begann Zuse 1936 in der elterlichen Wohnung mit dem Bau einer rein mechanisch arbeitenden Rechenmaschine. Er hatte ein vollständiges Konzept und konnte nach sechs Wochen Arbeit das Mustermodeill eines rein mechanischen dualen Speichers vorführen. 1938 sah er eine erste, aus mechanisch funktionierenden Baugruppen zusammengefügte Maschine aus "Teilen von Rollenlagern, Glasplatten, Blechen und Gestängen" als "fertig" an.

1968 sollte er die rein mechanische Konstruktion als Fehlweg bezeichnen. Als sich jedoch die Möglichkeit einer erneuten Realisierung mit modernsten technischen Mitteln und der Unterstützung der *Siemens AG* bot, setzte zwischen 1983 und 1989 der auf 80 Jahre zugehende Zuse noch einmal seine ganze Energie ein, um die rein mechanische Maschine aus dem Gedächtnis zu rekonstruieren. Sie wird heute im Berliner *Museum für*

Verkehr und Technik einer staunenden Öffentlichkeit präsentiert, für die der moderne elektronische Computer mit Tastatur und Bildschirm zum Alltag gehört.

Einer seiner Freunde und Mitarbeiter, der Fernmeldetechnikstudent Helmut Schreyer, baute eine elektrische Laubsäge, mit der Tausende von Blechen für die Schaltglieder maschinell ausgesägt wurden. Derartige Arbeiten konnten seine Freunde ohne weitere Kenntnisse ausführen. Zuse entwickelte nach seinen eigenen Überlegungen nicht nur die Speicher- und Additionsschaltungen, sondern auch die komplizierten Steuerschaltungen für die Gleitkommaarithmetik. Im Zusammenhang mit diesen immer auf die praktische Funktion ausgerichteten Arbeiten, entwickelte er eine eigene Theorie der Bedingungskombinatorik, der er dann durch das Studium der klassischen Arbeiten zum Aussagenkalkül weiter ausbauen konnte. Auf diese Weise übertrug er den vollkommen abstrakt formulierten Aussagenkalkül der mathematischen Logik "ganz unverfroren" und mit Erfolg auf seine praktischen Probleme der Relaischaltungen. Es gelang ihm, die einzelnen Baugruppen in der raum- und geldsparenden mechanischen Schaltgliedtechnik aufzubauen, so daß sie "zufriedenstellend" arbeiteten.

[5]⁶

Die Fertigstellung der Gesamtanlage scheiterte jedoch beim Zusammenbau, der ebenfalls mechanisch mit Gestängen und Hebeln erfolgen sollte.

Zuses Konzept beruhte auf der Vorstellung, daß seine Maschine einmal in Serien von mehreren hundert Stück gebaut werden würde.

Voraussetzung für eine Serienfertigung wäre gewesen, daß ein Industriebetrieb mit der entsprechenden technischen Kapazität Konstruktion, Fertigung und Vertrieb übernommen hätte. 1937 stieß Zuse bei seiner Suche nach einem Finanzier bei dem Fabrikanten für Artillerierechner, Kurt Pannke, auf Interesse. Pannke, der in den 20er Jahren als Konkurrent von *Siemens* und *Zeiss* aufgetreten war, kam in die Werkstatt und ließ sich von dem bis dahin verwirklichten Aufbau der ersten Maschine so weit überzeugen, daß er einen Kredit zur Verfügung stellte.

Zuse hatte sich zuvor noch an keines der Unternehmen der Rechenmaschinenbranche gewandt, wohl aber deren Einschätzung zu seinem Plan ermittelt: "Große und kostspielige Rechenmaschinen für Wissenschaftler, Mathematiker und Ingenieure zu bauen, erschien absurd und versprach keinen gesellschaftlichen Erfolg. Solche Leute hatten doch kein Geld. Und dann die geringen Stückzahlen!" Die Aussicht auf mangelnden geschäftlichen Erfolg hielt Zuse jedoch nicht von seiner Entwicklungsarbeit ab. Pannke, der Zuse zwar die bereits zitierte Einstellung des Rechenmaschinenexperten Christel Hamann entgegenhielt und der selbst durch die Probleme der analogen Feuerleitungsrechner geprägt war, stellte doch 1937/38 rund 7 000 Reichsmark ohne weiteren Vertrag zur Verfügung. Trotzdem blieb Zuse – offenbar nicht ganz ungewollt – nur noch die Möglichkeit, den Weg des klassischen Erfinder-Unternehmers einzuschlagen.

Als sich 1938 die Arbeiten an der mechanischen Maschine hinzogen, kam er zu der Überzeugung, daß die Anforderungen der Konstruktion einer so komplizierten Maschine die Grenzen der Basteltechnologie überschritten. Schreyer drängte auf die Ersetzung der blechernen Mechanismen durch die bewährten elektromechanischen Fernsprechrelais. Da neue Relais trotz des Kredits von Pannke zu teuer waren, wandten sie sich mit Erfolg an einen Altwarenhändler, der ihnen außerdem einige alte Drehwähler verkaufte. Nach Reinigung und Justierung der Relaiskontakte erwies sich die Arbeitsgeschwindigkeit der Schaltung als höher, die Montage als bedeutend einfacher als bei der mechanischen Ausführung. Für die später als Z1 und Z2 bezeichneten, nicht funktionsfähigen Versuchsmaschinen hatte Zuse "einige tausend Mark" aufgewendet. Mit Beginn des Zweiten Weltkriegs erhielt er sofort seine Einberufung. Es gelang jedoch, eine Freistellung als Statiker bei *Henschel* zu erreichen, und bereits im Frühjahr 1940 arbeitete er während seiner Freizeit wieder an den Maschinen. Die zweite Maschine funktionierte nur ein einziges Mal – jedoch zum richtigen Zeitpunkt: als Alfred Teichmann, Professor für Statik, und einige seiner Kollegen von der *Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt* (DVL) seine Werkstatt aufsuchten. Diese Vorführung brachte einen Auftrag der DVL ein. Zuse

stellte die Z2 beiseite und konzentrierte sich auf die bereits begonnene neue Maschine Z3.⁵⁷

Ein Rechenautomat mit Radioröhren?

Dem Fernmeldetechniker Schreyer waren die Lochstreifengeräte der Fernschreibtechnik bekannt. Er schlug vor, als Lochstreifen einen üblichen Kinofilmstreifen zu verwenden. Schreyer war auch mit Fragen der Codierung aus der Fernschreibtechnik vertraut, deren Lochsystem sich mit Zuses Ja-Nein-Prinzip gut ergänzte.^{[5]⁷}

Er machte bereits vor 1938 den damals für Zuse verblüffenden Vorschlag, die Rechenschaltungen mit Elektronenröhren und Glühlampen zu realisieren. Zuses abstrakte Schaltpläne, mit denen Rechenschaltungen sowohl in mechanischer Schaltgliedtechnik als auch in elektromechanischer Relaistechnik darstellbar waren, machte den Schaltungsentwurf von der Technologie unabhängig. „Man brauchte doch nur die Grundschialtung in Röhrentechnik für die drei Grundoperationen Konjunktion, Disjunktion und Negation zu finden, ein passendes Speicherelement und Mittel, um diese Elemente zusammenzuschalten. Die Aufgabe war klar: Wir brauchten kein völlig neues Gerät in elektrischer Technik zu bauen, sondern den Entwurf nur in ‚abstrakter Schaltgliedtechnik‘, das heißt formal mit symbolischen Elementen auszuführen. Unabhängig davon konnten die logischen Grundschialtungen entwickelt werden. Das gab eine gute Arbeitsteilung.“

Schreyer arbeitete 1938 bei Professor Wilhelm Stäblein in der Abteilung Fernmeldetechnik des gerade in *Institut für Schwingungsforschung* umbenannten *Heinrich-Hertz-Instituts* und war seit 1939 Assistent am Institut für Fernmeldetechnik der TH, das ebenfalls von Stäblein geleitet wurde.

Schreyer entwickelte eine elektronische Grundschialtung, bei der eine Röhre den Elektromagneten und eine Glühlampe die Kontakte des elektromechanischen Relais ersetzten. Zur Demonstration der Schaltgeschwindigkeit dieser elektronischen Relais und der Möglichkeit, sie gegenseitig zu verschalten, baute er ein als „Relaiskette“ bezeichnetes Schieberegister auf, das er 1938 zusammen mit Zuse voller Erwartung seinen Institutskollegen vorführte. Der dabei zur Sprache gebrachte Plan eines elektronischen Rechners nach der Zuse-Konzeption mit rund 2 000 Röhren und einigen 1 000 Glühlampen stieß jedoch auf Zweifel und Ablehnung der mit der Röhrentechnologie vertrauten Institutsmitarbeiter. Allein der Fachmann für Fernwirktechnik, Stäblein, habe die neuen Möglichkeiten anerkannt, berichtete Zuse später.

Schreyer befaßte sich in den folgenden Jahren als Assistent mit kriegswichtigen Arbeiten, darunter einem Beschleunigungsmesser für die V2-Rakete, Detektoren für nicht explodierte Bomben und Umsetzern von Radar-Analog-Werten in akustische Signale für Jagdflugzeuge. Er konnte die Relaiskette als neuartigen Frequenzteiler vorstellen, der von 1 bis 5 000 Hertz einwandfrei arbeitete. Eine größere Rechnerschialtung scheiterte am Materialmangel.

Wenige Tage nach Kriegsbeginn schickte er ohne Erfolg einen Bericht über den Stand der Entwicklungsarbeiten an der Rechenmaschine an die Marine, um von dort über einen Entwicklungsauftrag die Freistellung für den bereits eingezogenen Zuse zu erwirken. Die Herstellung von Artillerierechnern für die Marine lag fest in der Hand von Firmen wie der SAM, die ihre erprobten Analoggeräte einbaute. Eine Umstellung auf die von Zuse und Schreyer entwickelte elektromechanische oder gar elektronische digitale Technologie mußte damals nicht nur unnötig, sondern auch riskant erscheinen. Die Überlegenheit des digitalen Prinzips für die Feuerleitung war bei der Arbeitsgeschwindigkeit der Relaisrechner nicht gegeben, und elektrische und elektronische Rechengeräte wurden vom Militär noch insgesamt abgelehnt.

Eine Patentanmeldung Schreyers vom November 1940 mit der Bezeichnung „trägheitsarme Relais-schaltungen in Analogie zum elektromagnetischen Relais“ führte die folgenden Vorteile des elektronischen gegenüber den gebräuchlichen elektromechanischen Relais auf: hohe Schaltgeschwindigkeit und –sicherheit, da keine Schaltkontakte verschmutzen konnten; die Möglichkeit der gleichzeitigen Betätigung mehrerer, voneinander unabhängiger Stromkreise; der un stetige Übergang der Schaltvorgänge, die Lageunempfindlichkeit und das geringe Gewicht.

Im August 1941 reichte Schreyer seine Dissertation ein, die unter dem Titel "Das Röhrenrelais und seine Schalttechnik" auch die in der Patentschrift beschriebenen Schaltungen behandelte. Allerdings enthielt keine der beiden Schriften die von Zuse angegebenen und geforderten logischen Bezeichnungen für die Schaltungen. Als Ziel der Dissertation, die am Institut für Fernsprech- und Telegraphentechnik bei Professor Stäblein vorgelegt wurde, gab Schreyer die "Lösung von Problemen der Steuerungstechnik" an. "Wenn man vom wirtschaftlichen Standpunkt absieht, kann man sogar sagen, daß die Schaltungstechnik in der Lage ist, die Funktionen eines jeden Getriebes beliebiger Art nachzubilden."

Schreyer benutzte an keiner Stelle Begriffe aus der Logik, sondern – wie bereits Hamann – diejenigen der analogen Getriebelehre, die damals, anknüpfend an die Lehre von Franz-Reuleaux, am Lehrstuhl für Fernmeldetechnik der Berliner Technischen Hochschule von Professor Rudolf Franke betrieben wurde.

Der einzige Satz, in dem eine Rechenmaschine erwähnt wird, lautete: "So ist es auch möglich, z. B. das mechanische Getriebe einer Rechenmaschine durch elektromagnetische Relais zu ersetzen, eine Bauweise, die den Vorteil einer größeren Freizügigkeit in der Gestaltung hat, da man nicht so sehr an die räumliche Anordnung gebunden ist." Über die Gründe für diese Zurückhaltung gegenüber Zuses Plänen, die ja nirgends publiziert waren, soll hier nicht spekuliert werden.

Zuse und Schreyer trugen ihren Plan auch beim *Oberkommando* des Heeres (OKH) vor, wo ihn der zuständige Offizier wegen der zwei bis drei Jahre erforderlichen Entwicklungszeit jedoch rundweg ablehnte. Er war nur an einem Gerät interessiert, das in kurzer Zeit hätte geliefert werden können. Bezeichnenderweise teilen die Erinnerungen Zuses und Schreyers nichts über ihre damalige Einschätzung der erforderlichen technischen und personellen Voraussetzungen für das Projekt mit. Es war damals unmöglich, den Aufwand realistisch einzuschätzen. Alfred Teichmann von der DVL erklärte sich jedoch zur Finanzierung eines kleinen Versuchsmodells bereit. Zuse entwarf einen Umwandler von dreistelligen Dezimalzahlen in Dualzahlen, der mit festen Programmen arbeitete. Die Firma *Telefunken* fertigte 150 der von Schreyer entwickelten neuen Spezialröhren. Mit einer schnellschaltenden Glimmlampe konnte er die als "kriegswichtig" erklärte Arbeit am Lehrstuhl für Fernsprech- und Telegraphentechnik durchführen. Die elektronischen Relais wurden in Zuses inzwischen gegründeter Firma zusammengebaut.

Gleichzeitig entwickelte Schreyer ein Parallelspeicherwerk aus Spezialglimmlampen. Da die Dringlichkeit, trotz Kriegswichtigkeit, geringer war als die der anderen Arbeiten Schreyers, wurde das Versuchsmodell erst etwa Anfang 1943 fertig. Verschiedene Verbesserungen ermöglichten bald eine Schaltfrequenz von 10 000 Hertz.

Als der schwere Luftangriff vom 12. November 1943 auch die TH traf, wurde das Versuchsmodell beschädigt. Eine Reparatur verzögerte sich wegen der nun immer häufigeren Luftangriffe. Zuse nahm Schreyers Demonstrationsmodell in den letzten Kriegstagen mit nach Göttingen, wo es samt einem Koffer mit Spezialröhren verloren ging. Schreyer beteiligte sich 1947 noch an einem von der britischen Marine organisierten Treffen von Rechenmaschinen-Fachleuten in Göttingen. 1949 wanderte er nach Brasilien aus. Er wies später darauf hin, daß neben Zeit- und Geldmangel vor allem das fehlende Personal eine Weiterentwicklung der elektronischen Rechenanlage verhindert hatte. Eine Hilfe von Laien, wie sie bei Zuses mechanischen Entwicklungen noch möglich war, hätte beim Bau der elektronischen Maschine nicht viel genutzt.⁵⁸

Zusammenarbeit mit der DVL ...

Professor Alfred Teichmann arbeitete mit einer Statikergruppe bei der DVL bereits seit langem an der Erforschung des Flattereffekts bei Flugzeugen und suchte nach Möglichkeiten zur Beschleunigung der umfangreichen Rechenarbeiten. Jeder Flugzeugentwurf erforderte eine individuelle Untersuchung der

Flattereigenschaften. Jede Rechnung nahm 100 bis 400 Arbeitsstunden in Anspruch und erhöhte sich bei Variationsbetrachtungen auf das zehn- bis 15-fache.

Erst im Dezember 1941 teilte Teichmann vor den Mitgliedern der Akademie für Luftfahrtforschung in einem Vortrag die Verwendung von selbsttätigen Rechengeräten als Grundbedingung für eine wünschenswerte Gestaltung der Flatterberechnung mit. Auch der führende Flugzeugtheoretiker und Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung, Ludwig Prandtl, horchte damals auf.

[5]⁸

Teichmann verwendete sich dafür, daß die DVL Zuses Arbeit förderte. Das Ergebnis war die erwähnte Teilfinanzierung der im Sommer 1940 von Zuse selbst bereits begonnenen dritten Maschine. Die Teilfinanzierung der DVL und der Rest der von Dr. Pannke geliehenen Mittel reichten jedoch wieder nur für einen Aufbau mit gebrauchten Relais.

Im Mai 1941 konnte er diese dritte Maschine erstmals voll funktionsfähig vorführen. Speicher und Rechenwerk des noch immer in der Wohnung der Eltern stehenden Apparats waren in elektromechanischer Relaistechnologie ausgeführt. Er charakterisierte sie später als "verhältnismäßig betriebssicher". Sie wurde Vertretern verschiedener Dienststellen vorgeführt, jedoch nie im Routinebetrieb eingesetzt. 1943 fielen Haus, Wohnung und Maschine den Bomben zum Teil, 1944 ganz zum Opfer. Viel später meinte Zuse, daß die Maschine von denen, die von ihr wußten, mehr oder weniger als Spielerei angesehen wurde und überhaupt nur verwirklicht werden konnte, weil sich einige Freunde und er selbst in der Freizeit dafür eingesetzt hätten. Als Gesamtkosten der später als "Z3" bezeichneten Maschine nannte er später einmal 23 000 Reichsmark. Die Maschine galt als Provisorium und Muster für die wirklich verwendbare Nachfolgemaschine "Z4", an deren Bau bereits 1941 begonnen worden war. Die seit den 50er Jahren üblichen Bezeichnungen "Z1" bis "Z4" entstanden erst in der Nachkriegszeit, als die Firma *Zuse KG* die Numerierung ihrer Typen mit Z5 fortsetzte. Tatsächlich liefen die verschiedenen Entwicklungen unter der Bezeichnung "Versuchsgerät" V1 bis V4, was ihrem provisorischen Charakter entsprach.

... und mit der Henschel-Flugzeug-Werke AG

Seit Zuse 1936 bei *Henschel* gekündigt hatte, arbeitete er in der elterlichen Wohnung in der Berliner Methfesselstraße 10. Nachdem er als Freischaffender am 26. August 1939, bereits einige Tage vor dem offiziellen Kriegsausbruch, zur Infanterie eingezogen worden war, gelang die Freistellung zum März 1940 wiederum nur als Statiker bei der *Henschel-Flugzeug-Werke AG*, wo er anfangs voll, seit September 1941 nur noch für eineinhalb Tage in der Woche beschäftigt war. Zu dieser Zeit leitete er die Gruppe "Statik" von Professor Herbert Wagners "Sonderabteilung F". Dabei führte er sämtliche Festigkeitsversuche durch, stellte die Lastannahmen gemeinsam mit der Prüfstelle des *Oberkommandos der Luftwaffe* (OKL) auf und vertrat gegenüber dieser Stelle die ermittelten Festigkeitsnachweise für die als "F-Geräte" bezeichneten ferngesteuerten Bomben.

Wagner, der bereits durch den aerodynamischen Entwurf der *Junkers*-Flugzeuge bekannt geworden war, hatte seit Januar 1939 bei *Henschel* eine Abteilung für die Entwicklung und Fertigungskontrolle der als Hs293 und Hs294 bezeichneten ferngelenkten "fliegenden Bomben" eingerichtet. Um ein möglichst einfaches Fernlenksystem verwenden zu können, mußte jede Stelle der Oberfläche sehr genau bekannt sein, weshalb Wagner Flügel und Leitwerke aus dem Vollen fräsen ließ. Später ging er auf die im Flugzeugbau üblichen, billigeren Blechteile über, deren Oberflächenform jedoch nicht so genau einzuhalten war.

Um die Abweichungen der Oberfläche durch eine Korrektur der Flügel und des Leitwerks ausgleichen zu können, mußten die Ungenauigkeiten der aerodynamischen Flächen an jedem einzelnen Flugkörper sehr genau gemessen werden. Die mittels einer Meßbrücke mit etwa 100 analog anzeigenden Meßuhren ermittelten Daten wurden im Zweischichtbetrieb mit etwa einem Dutzend Tischrechenmaschinen in die nötige Leitwerkskorrektur umgerechnet. Als sich diese Maschinen der Dauerbeanspruchung nicht gewachsen

zeigten, bot Zuse Wagner an, die Berechnungen in einem speziellen Rechengerät automatisch ausführen zu lassen. Er baute aus 800 Relais ein Spezialrechengerät mit festem Programm und Festkommarechnung. Das Gerät, dem bald ein zweites folgte, arbeitete von 1942 bis 1944, als es den Bomben zum Opfer fiel, ununterbrochen Tag und Nacht. Damit war die Zuverlässigkeit der elektromechanischen Rechner erstmals bewiesen. Zuse, der seit 1941 immer mehr in seiner eigenen, neugegründeten Firma tätig war, blieb jedoch der einzige, der es warten konnte. Selbst jetzt, als sich sein System bewährte, erfolgte keine breitere Einführung in die Industrie.

Später versuchte Zuse erfolgreich, auch die Abtastung und Eingabe der Meßwerte in das Rechengerät zu automatisieren. Dafür war es erforderlich, die analog gemessenen Werte mechanisch in digitale umzuwandeln. Wagner erteilte den notwendigen Auftrag und verzichtete auf eine erprobte, in den Kasseler Fieseler Werken entwickelte Meßbrücke, die vermutlich für die Entwicklung und Fertigung der später als V1 bezeichneten Flügelbombe Fi-103 verwendet worden war.⁵⁹

Theoretische Arbeiten in der Isolation

Bezeichnend für die Situation Zuses von 1936 war, daß selbst noch der elektrische Fernsprechrelaisaufbau zu kostspielig und zu aufwendig war, weshalb er zu der erwähnten, rein mechanischen Anordnung überging und dabei zu einem System kam, das er als "mechanische Schaltgliedtechnik" bezeichnete. Die Entwicklung eines derartigen Speichers war einfacher, weil er zunächst völlig davon absehen konnte, daß "Zahlen" festgehalten werden sollten, und weil nur die Bildung von Ja-Nein-Wertkombinationen möglich sein mußte. Auch der Aufbau der Vorrichtung zur Ansteuerung der Speicherzellen erfolgte konsequent im dualen Zahlensystem. Das Volumen des geplanten 1 000-Zellen-Speichers sollte nur einen halben Kubikmeter groß sein. Der entsprechende Relaispeicher mit rund 40 000 Relais hätte mehrere Schränke gefüllt.

Auch bei den eigentlichen Rechenschaltungen hielt Zuse konsequent an dualen Konstruktionselementen fest. Die Erkenntnis, daß dies überhaupt möglich war, bezeichnete er später als "einen wichtigen Wendepunkt in der Rechengeräte-Entwicklung überhaupt" und als "den Schlüssel zu einer neuen Welt des Rechnens".

Spätestens seit 1936 beruhten alle Konzepte Zuses auf der Überzeugung, daß nicht nur Speicher und Rechenwerk, sondern das gesamte Rechengerät einschließlich aller Steuereinrichtungen nach dem Prinzip der Ja-Nein-Werte aufzubauen waren.

Wie faszinierend die sich eröffnenden Gedankengänge für Zuse waren und wie weit er sie sofort erfaßte, geht daraus hervor, daß er sich bereits 1936 mit Überlegungen zu einem "mechanischen Gehirn" befaßte. Im Juni 1937 notierte er in seinem Tagebuch im Zusammenhang mit dem künstlichen Gehirn die Feststellung, "daß es ‚Elementaroperationen‘ gibt, in die sich sämtliche Rechen- und Denkoperationen auflösen lassen". Die Elementaroperation bestand nach seiner Erkenntnis im Vergleich zweier Dualziffern auf Gleichheit, wobei das Resultat wieder als Dualziffer angegeben werden konnte.

Bereits für den Bau der ersten Maschine entwickelte er eine besondere theoretische Methode. Das duale System ermöglichte und verlangte es, die Maschine in allen möglichen Kombinationen von Schaltzuständen der einzelnen dualen Schaltelemente theoretisch zu durchdenken. Bei den Dezimalmaschinen mit Zahnrädern hatte es nie den Ansatz einer theoretischen Systematik zur Erfassung sämtlicher möglicher Kombinationen von Zahneingriffen zwischen den einzelnen Zahnrädern gegeben. Das war auch nicht unbedingt nötig, da die Zahl der Zahnräder zumindest in den digitalen Maschinen im Vergleich zur Zahl der Schaltelemente der Dualrechner gering war. Auch deshalb kam es nie zu einer abstrakttheoretischen Beschreibung der dezimalen Maschinen, so daß deren Weiterentwicklung auch hier eine Grenze gesetzt war.

Es ist zweifellos einer der eindrucksvollsten Züge Zuses, daß er den richtigen theoretischen Ansatz fand und daß er dessen Bedeutung von Anfang an in einer Weise einschätzte, die erst zwei Jahrzehnte später als realistisch gelten konnte. Seine Überlegungen enthielten Lücken, brauchten aber nie revidiert zu werden. Erst

später erfuhr er von den Arbeiten, die Claude Shannon etwa gleichzeitig in den USA durchgeführt und publiziert hatte.

Er gelangte vom "mehr oder weniger unsystematischen ‚Herumknobeln‘" zu den logischen Gesetzmäßigkeiten. Die bereits 1935/36, bei Beginn der Arbeiten an seiner ersten Maschine vorhandenen Ideen baute er während der praktischen Arbeit in den folgenden Jahren aus. [5]⁹

Er berichtete später, daß sich der Entwurf der kompliziertesten Steuerungsorgane seiner Maschine zur Entwicklung der schon erwähnten "Bedingungskombinatorik" gut eignete und faßte diese anfangs als praktische Konstruktionshilfe entwickelten Regeln 1938 in einem Manuskript "Einführung in die Dyadik, Vorarbeiten zur Schaltungsmathematik" zusammen. In dem Bewußtsein, damit einen Beitrag zur Wissenschaft der Mathematik zu leisten, erwähnte er diese Gedanken gegenüber seinem ehemaligen Mathematiklehrer, der ihn auf die klassischen Arbeiten zum Aussagenkalkül der mathematischen Logik hinwies. Zuse beschäftigte sich seither intensiv mit Arbeiten von Gottlob Frege, Ernst Schröder und David Hilbert.

Als er die grundlegenden Arbeiten der mathematischen Logik endlich kennenlernte, konnte er sie sofort als "Werkzeug" verwenden. Besonders die Schaltungen für die arithmetischen Operationen mit Zahlen in halblogarithmischer Darstellung erwiesen sich als so kompliziert, daß ihre Realisierung ohne den mathematisch ausgearbeiteten Formalismus kaum möglich gewesen wäre. Der Entwurf der Addierwerke mit der Bedingungskombinatorik und mathematischen Logik bestärkte ihn in dem weitreichenden Gedanken, "grundsätzlich alle Angaben" in Ja-Nein-Werte aufzulösen.

Der theoretische Weg, den er zur Entwicklung der eigentlichen Rechenschaltungen entwickelt hatte, konnte er auch beim Entwurf aller anderen Komponenten seiner Rechenmaschinen, insbesondere der Steuerungseinrichtungen, beibehalten. Damit ging das Dualprinzip, das sich anfangs nur als optimale Möglichkeit der Zahlendarstellung angeboten hatte, weit über die Anwendung für den mit Dezimalzahlen üblichen Rechenbereich hinaus. In der Folge begann er mit der Ausarbeitung einer "Theorie des allgemeinen Rechnens", mit der er nichts weniger als das gesamte Gebiet "Rechnen" auf eine höhere Stufe heben wollte. Er hielt sich dabei von Diskussionen zurück, verzichtete von vornherein auf die Zustimmung anderer und hing diesen Überlegungen nach, während er seit Kriegsausbruch im September 1939 bis zum März 1940 Soldat war.

Kurz vor Kriegsausbruch hatte er noch das Schachspiel erlernt, das er für ein gutes Modell hielt, um ein Rechenmaschinenkalkül zu entwickeln und zu erproben. Er versuchte, die komplizierte Verflechtung von Bedingungen und Fallunterscheidungen mit der mathematischen Logik zu formalisieren. Später meinte er, daß seine Militärzeit deshalb wesentlich zur Klärung seiner Gedanken beigetragen habe.

Als ihm 1941/42 die Firma *Henschel* Arbeitskräfte zur Verfügung stellte, kam auch der Mathematiker Hans Lohmeyer in seine Firma, der als Schüler des Professors für mathematische Logik und Grundlagenforschung an der Universität Münster, Heinrich Scholz, als erster ausgewiesener Logiker mit Zuse diskutierte.

Zusammen studierten sie Arbeiten von Frege und die 1928 erstmals erschienenen *Grundzüge der theoretischen Logik* von David Hilbert mit dessen Schüler Wilhelm Ackermann. Zuses weiterreichendes Ziel war damals die Entwicklung einer universellen Sprache, in der man sich mit dem bereits erwähnten künstlichen Gehirn unterhalten konnte. Dafür studierte er auch die Kunstsprache Esperanto und Rudolf Carnaps *Logische Syntax der Sprache*. Shannons Arbeit von 1938 war ihm noch nicht bekannt. Er fühlte sich jedoch durch zwei Aufsätze von Hansi (Johanna) Piesch in seinen Theorien bestätigt.

Ende 1942 entstand ein Kontakt zu Alwin Walther in Darmstadt, und Zuse bemühte sich, seine "Theorie des Allgemeinen Rechnens" in einer Doktorarbeit zusammenzufassen. Er konnte diese anspruchsvolle Ausarbeitung aber weder während der Kriegsjahre noch während der Nachkriegszeit fertigstellen. Es dürfte auch nicht ohne Probleme gewesen sein, eine derartige Arbeit bei Walther unterzubringen, der der Anschaulichkeit analoger Technik den Vorrang gab.

1944 traf Zuse in Berlin mit Scholz persönlich zusammen. Ein anerkennendes Urteil über die Anwendung des Logikkalküls in der "Dissertation von Herrn Dipl.-Ing. K. Zuse", das Scholz verfaßte, entstand im März 1945. Dort heißt es: "In der vorstehenden Arbeit ist der Logikkalkül planmäßig eingesetzt zur Lösung von

rechen- und schaltungstechnischen Aufgaben, die wohl umschriebenen, weitgehenden Ansprüchen genügen. Die planmäßige Einsetzung des Logikkalküls für solche Zwecke ist die erste in ihrer Art. Sie darf als ungewöhnlich originell und anregend bezeichnet werden. Die volle Beherrschung des Logikkalküls in den Grenzen, in denen er in Anspruch genommen wird, ist zusätzlich festzustellen." Zuse berichtet auch, daß sich Scholz der Frage nach dem künstlichen Gehirn gegenüber sehr aufgeschlossen gezeigt habe.

Zu einer weiteren Begegnung mit Scholz kam es jedoch auch später nicht mehr, als die Bedeutung der digitalen Rechenautomaten offensichtlich wurde. Zuse verzichtete auf eine Publikation dieser größeren Arbeit. Es mußte ihm inzwischen klar geworden sein, daß die akademische Anerkennung für eine neue Rechentechnik oder gar für ein neues theoretisches System für sein Unternehmen praktisch unverzichtbar war. Im gleichen Jahr arbeitete er auf dem Papier verschiedene, weit über seine gebauten Maschinen hinausreichende Entwürfe und Pläne für Rechner mit Programmspeicherung und Adressenumrechnung aus. Der Entwurf für eine entsprechende Patentschrift enthielt auch den Plan für einen assoziativen Speicher. Als notwendige theoretische Voraussetzung für die Programmierung dieser komplizierten Maschinen entwarf er eine neue, umfassende, als "Plankalkül" bezeichnete Systematik, auf deren Bedeutung später eingegangen werden soll.

Ein theoretischer Fixpunkt: Die "logistische Rechenmaschine"

Ein weiteres Ergebnis der Beschäftigung mit der mathematischen Logik war der Entwurf einer "logistischen Rechenmaschine", den Zuse noch im Oktober 1944, kurz vor der Schließung des Patentamtes, zur Patentanmeldung einreichte. Der einleitende Satz der Anmeldungsschrift zeigte, daß auch hier, ähnlich wie beim "künstlichen Gehirn", eine Maschine mit außerordentlich allgemeinem Charakter angestrebt wurde, "eine Rechenvorrichtung zum Ableiten von Resultatangaben aus irgendwelchen gegebenen Angaben nach einer Vorschrift".

Die mit der Rechenvorrichtung zu lösenden Aufgaben umfaßten nicht nur numerische Probleme, sondern darüber hinaus "ein Rechnen mit Zuständen, Begebenheiten und Bedingungen". Zuse definierte das Rechnen als "das Ableiten von Resultatangaben aus irgendwelchen Angaben nach einer Vorschrift".

Die Anmeldeschrift mit 39 Patentansprüchen beschrieb als Anwendungsbeispiel die Verwendung der "logistischen Rechenmaschine" zur "Erfassung der Gefolgschaftsmitglieder von Großbetrieben": Jede Person sollte über eine Anzahl verschiedener Kennzeichen erfaßt werden, z. B. a = männlich, b = Inländer, c = verheiratet usw. Die Kennzeichen wurden nicht als Zahlen verschlüsselt, wie es bei den Lochkartensystemen seit langem üblich war, sondern als "Aussagen" im logischen Sinne aufgefaßt und verrechnet. Personen mit einer bestimmten Kombination von Eigenschaften sollten durch eine "logistische Formel" ausgewählt werden. Zum Beispiel erfaßte die Formel $(a \& b \& c) \vee (\bar{a} \& \bar{b} \& \bar{c})$ alle Personen, die entweder männlich oder weiblich, Inländer und verheiratet waren, kurz: alle verheirateten Inländer und Inländerinnen.

Als weiteres Anwendungsgebiet wurde die Automatisierung von Konstruktions-, Fertigungs- und Bauverfahren erwähnt. In seinen Erinnerungen bezeichnete Zuse diese "Maschine" später als "Babbage-Boole-Maschine", die man wie die bekannte Turing-Maschine als eine mögliche rein theoretische Grundform programmgesteuerter Maschinen verwenden sollte. Das Rechenwerk der ursprünglich geplanten Maschine sollte nur aus wenigen Relais bestehen, mit denen die drei Grundoperationen des Aussagenkalküls, Konjunktion, Disjunktion und Negation, geschaltet wurden. Das Speicherwerk brauchte pro Zeile nur einen Ja-Nein-Wert aufzunehmen. Er baute 1944 ein kleines Versuchsmodell, das ohne praktische Bedeutung blieb.

Das einfache Rechenwerk mußte mit einer sehr großen Zahl von einzelnen Operationen erkaufte werden. Die notwendigerweise umfangreichen und komplizierten Programme benötigten hohe Rechenzeiten. Als prinzipieller Nachteil stellte sich außerdem heraus, daß eine derartige Maschine keine bedingten Befehle verarbeiten konnte. Die erst 1953 bekanntgemachte Anmeldungsschrift stellte Zuses zweite, grundsätzliche und umfassende Patentanmeldung dar. Auch sie wurde 1967 in zweiter Instanz abgelehnt.

Die logistische Rechenmaschine ließ den erst wenig bewußten Gegensatz zwischen Hardware und Software von einer extremen Position aus erkennen. Während es die bisherige Erfahrung nahelegte, daß Maschinen möglichst billig gebaut werden sollten, gab es über die komplementäre Größe der Programmierung, die als eine Art aufwendiger Maschinenbedienung angesehen wurde, noch keine systematisch bewerteten Erfahrungen.

Bisher bekannte Automaten führten relativ einfache, sich wiederholende Routinearbeiten aus. Man stellte sie richtig ein und sie arbeiteten. Zuses Rechenautomat erforderte jedoch ein nach mathematisierten Regeln ausgearbeitetes Programm.⁶⁰

Kann die Technologie frei gewählt werden?

Zuse berichtete, daß er in seiner jugendlichen Unbekümmertheit an den Bau der programmgesteuerten Rechenmaschine ging und sich nicht viel um bereits vorhandene Konstruktionen kümmerte. Nachdem er im elektromechanischen Telefonrelais ein zuverlässiges und billiges, elementares duales Schaltelement erkannt hatte, fand er die zumindest für ihn noch billigere und platzsparende, rein mechanische Schaltgliedtechnik. Beide Technologien waren damals gleichermaßen verfügbar, und als einige Jahre später Schreyer die elektronischen Röhrenrelais entwickelt hatte, stand theoretisch noch vor Beginn des Zweiten Weltkrieges eine dritte Technologie zur Auswahl. Die offenbar freie Wahlmöglichkeit der Technologie für die Realisierung seines Rechnerkonzepts von 1934/35 brachte ihn zu der erwähnten "technologieneutralen" Darstellungsform der Schaltungen auf dem Papier. Weder als Student noch anschließend als Angestellter bei den Henschel-Flugzeugwerken oder als freier Erfinder mit Bastelwerkstatt war seine Konzeption an die Verwendung einer bestimmten Technologie fest gebunden.

Bei der Neuentwicklung eines industriellen Produkts stellte die zu verwendende Technologie eine nur mit großem Aufwand veränderbare Ausgangsposition dar, welche in einer Fabrik durch ihren Maschinenpark, die Qualifikation ihrer Beschäftigten und auch ihren Marktsektor gegeben war. Eine technologieneutrale Entwicklung hätte kaum im Interesse einer Industriefirma gelegen. Bei allem materiellen Mangel, der dem Bastler Zuse als festangestelltem Entwicklungsingenieur in einer Firma erspart geblieben wäre, hatte er doch den Vorteil, technologisch weitgehend ungebunden zu sein. Er versuchte, in der billigsten Technologie ein Demonstrationsmuster zu erstellen, um die neutrale Konzeption später auf die leistungsfähigste Technologie übertragen zu können.

Selbst Zuse konnte jedoch nicht ganz neutral gegenüber den möglichen Technologien sein. Die mechanische Technologie mit individuellem Bastlercharakter beherrschte er seit langem hervorragend, während er mit der Schaltungstechnik von elektromechanischen Telefonrelais noch keine Erfahrung hatte. Er hielt es rückblickend sogar für einen Vorteil, nicht alle Raffinesse der traditionellen Fernsprech-Relaischaltungstechnik in seine Rechnerschaltungen aufgenommen zu haben und glaubte, daß gerade die Verwendung relativ einfacher Schaltungen das Funktionieren der Gesamtmaschine ermöglichte. Dagegen mußte er die elektronische Technologie ganz dem Fachmann Schreyer überlassen.

Mit gleichzeitig drei Technologien vor Augen entwickelte er seine Maschine in einer abstrakten Form, die auch für die erforderliche Programmierung gleich übernommen werden konnte und mit dem Plankalkül einen gewissen Abschluß fand. Auf diese Weise fiel Zuse der Schritt in das später als Software bezeichnete Gebiet nicht schwer.

Die technologieneutrale Konstruktion erwies sich auch deshalb als günstig für Zuse, weil für die Ausführung der technologisch festgelegten praktischen Arbeiten kein Verständnis der Gesamtkonzeption erforderlich war. So verstanden Zuses Motiv-Freunde, die ihn zwar jahrelang unterstützten und praktisch mitarbeiteten, seine Pläne letztendlich nicht. Selbst Schreyer scheute sich, in seiner Dissertation anders als mit dem Begriff der "Getriebelehre" an Zuses Konzeption anzuknüpfen. Später, als er sich in Brasilien selbst mit dem Bau einer digitalen Rechenmaschine beschäftigte, teilte er Zuse mit, daß auch er dessen Maschinen bisher "nicht so

richtig verstanden” hatte. Schreyer war mit der Entwicklung des elektronischen Relais in der dafür zur Verfügung stehenden Zeit vollständig beschäftigt.^{[6]⁰}

Zuse brauchte wiederum die elektronischen Schaltungen nur in ihrer äußeren Wirkungsweise zu verstehen. Seine Rechnerkonzeption reduzierte die Technologie auf die Realisierung der Schaltelemente. So deutete sich bereits in der Geburtsstunde des programmgesteuerten Digitalrechners an, daß später die Herstellerindustrie der dann elektronischen Schaltelemente sich weitgehend unabhängig von den eigentlichen Rechnerfabrikationen entwickeln konnte.

Anfang der 60er Jahre, nachdem die Epoche der Röhrenelektronik im Computerbau bereits abgeschlossen war, korrigierte Zuse die ein Vierteljahrhundert früher entstandene Vorstellung der Unabhängigkeit der Technologie von der Konzeption. Weltweite Erfahrungen hätten in den Nachkriegsjahren zu der Einsicht geführt, daß Schaltungen der Rechner mit elektromechanischen Relais zwar in elektronischer Technologie nachgebildet werden könnten, daß dies jedoch großen Aufwand erforderte. Die Technologien hätten sich bei gleicher Maschinenkonzeption nicht als einfach austauschbar erwiesen. Eine Rechnerkonzeption mußte in vieler Hinsicht umgestellt werden, um der schnellen elektronischen Technologie zur optimalen Wirkung zu verhelfen.⁶¹

Kriegsaufträge

1941 hatte das “provisorische Rechengerät” den Zustand erreicht, mit dem es Jahrzehnte später unter der Bezeichnung Z3 als weltweit erster, voll funktionsfähiger, frei programmierbarer Rechner Anerkennung erfahren sollte. In seinen Erinnerungen bezeichnete Zuse die Z3 von 1941 rückblickend als “das erste Gerät, das wirklich voll funktionsfähig alle wichtigen Elemente einer programmgesteuerten Rechenmaschine für wissenschaftliche Zwecke nach dem Stand der Technik enthielt”. Auch der britische Informatiker und Chronist der Computerentwicklung Brian Randell, der die weltweite Entstehungsgeschichte des Computers vor Augen hatte, bezeichnet die Z3 als “the world’s first general purpose program-controlled computer”. Trotzdem stellte die Maschine, gemessen an den Maßstäben für serienmäßig fabrizierte moderne Computer, ein Provisorium dar, an dem sein Erbauer immer wieder etwas veränderte und ausprobierte und das die Zusesche Wohnung nie verließ. Gleichzeitig schickte Zuse den Entwurf eines wiederum neuen, nun als “voll einsatzfähig” bezeichneten “Rechengeräts” mit mechanischem Speicher, Relaisrechenwerk und einer Genauigkeit von 6 bis 7 Stellen an die DVL. Die Realisierung einer ersten nicht mehr nur provisorischen Maschine schien jetzt greifbar nah. Die DVL stellte im Dezember 1941 einen Kredit von 50 000 Mark zur Verfügung, der bis zum Jahresende 1949 zurückgezahlt werden sollte. Sie räumte sich ein Vorkaufs- und Vormietrecht auf die erste Maschine ein und behielt sich vor, die “interessierten Stellen der deutschen Luftfahrt” vertraulich über die Entwicklung zu informieren. Zuse, der seinen Privatbesitz als Pfand einbringen mußte, wollte die fertige Maschine in einem eigenen Rechenbüro für Auftragsrechenarbeiten einsetzen. Das Paradoxe dieses und der folgenden scheinbar so soliden Verträge der Kriegszeit bestand darin, daß zwar alle Eventualitäten für den Fall des siegreichen Kriegs juristisch bedacht waren, die realistischste Möglichkeit der militärischen Niederlage – Hitlers Armeen wurden gerade vor Moskau erstmals zurückgeschlagen – jedoch völlig außerhalb der Überlegungen blieb.

Für Zuse bedeutete die enge Bindung an die DVL nicht nur finanziellen Spielraum und einen Abnehmer, der nicht erst überzeugt zu werden brauchte, sondern auch das dringend notwendige Prestige der Anerkennung durch eine technisch-wissenschaftliche Einrichtung mit höchstem Renommee bei Technikern und Politikern. Die kurze Episode einer zweiten Einberufung Zuses Ende 1941 zeigte drastisch, welche Alternative drohte, wenn die einflußreichen Stellen der Flugzeugindustrie kein Interesse mehr hatten.

Daß das Interesse an Zuses Maschinen zunahm, geht auch daraus hervor, daß im Juli 1943 die *Forschungsführung des Reichsministers der Luftfahrt und Oberbefehlshaber der Luftwaffe* mit der Dringlichkeitsstufe SS (Sonderstufe) die *Henschel-Flugzeugwerke* “namens und im Auftrag des Reiches” mit

der Entwicklung und Herstellung eines "Rechengerätes zur Durchführung algebraischer Rechnungen" beauftragte.[6]¹

Die Firma reichte den Auftrag, der bis zum 31. Mai 1944 erfüllt sein sollte und der die für die DVL begonnene Maschine betraf, an Zuse weiter. *Henschel* zahlte den Kredit an Zuse zurück. Jetzt sollte die fertiggestellte Maschine *Henschel* kostenlos zur Benutzung überlassen werden, wobei dies auch in einem Rechenbüro der Firma *Zuse* der Fall sein konnte. Ein weiterer Kriegsauftrag vom August 1944, der die "Schaffung eines mathematischen Versuchsgerätes zum Rechengerät Bauart Zuse" mit dem Zweck der "Vereinfachung der Eingabe des Rechenschemas in die Rechenmaschine" betraf, sollte mit wiederum der höchsten Dringlichkeitsstufe bis zum 31. Januar 1945 ausgeführt sein.

Die *Dipl.-Ing. K. Zuse Ingenieurbüro und Apparatebau*, die im November 1942 in die Gewerberolle eingetragen worden war, war von Zuse als Angestelltem der *Henschel-Flugzeugwerke AG* bereits am 1. April 1941 gegründet worden und gehörte seit 1943 der Wirtschaftsgruppe Elektroindustrie an. Als Arbeitsgebiet war die Entwicklung und Musterfertigung von "kriegswichtigen Sondergeräten zur Aufstellung aerodynamischer und ballistischer Berechnungen" angegeben. 1944 war die Umwandlung in eine Kommanditgesellschaft geplant. Zuse wollte damals über 300 Maschinen in Serie fertigen und beantragte die Anerkennung als "Wehrwirtschaftsbetrieb mit Beteiligung ,Wehrmacht"". Er konnte jetzt, zumindest formal, für "eingearbeitete Wissenschaftler", Ingenieure und Facharbeiter selbst die Freistellung beantragen. Kaum jemand zweifelte daran, daß die sich immer deutlicher abzeichnende vollständige militärische Niederlage auch das Ende des Hitlerstaats bedeuten würde. Die Ministerien für Rüstung und für Luftfahrt reagierten nicht mit dem vorsichtigen Zurückschrauben ihrer Ansprüche, sondern mit immer größeren Rüstungsprogrammen. Die gesamte Industrie trug diese Entwicklung mit, und Zuses Firma, die gerade wegen dieser Situation von einem ersten Aufwind erfaßt wurde, war keine Ausnahme. Herbert Wagner äußerte Ende 1944 gegenüber der Forschungsführung des OKL, es sei "mit Sicherheit" damit zu rechnen, daß "die an dem Gerät interessierten Kreise in Zukunft stark anwachsen werden". Diese, aus der Distanz des Historikers gesehen, weitsichtige Formulierung war damals wohl als pragmatisches Argument gedacht. Bei allem Realismus über den Ausgang des Krieges, den man Wagner zubilligen könnte, dürfte er damals kaum geahnt haben, daß das Kriegsende für ihn, der im Rahmen der Aktion "Paperclip" bereits im Mai 1945 in die USA gelangte, nur einige wenige Wochen der kurzen Unterbrechung seiner Arbeit bedeuten würde – ganz im Gegensatz zu Zuse.

Der erste Auftrag an Zuses Firma erfolgte im Rahmen des "Jägerprogramms", das die Luftwaffe 1944, als die Bombenangriffe auf die deutschen Städte längst zum Dauerzustand geworden waren, mit einer gesteigerten Anzahl von Jagdflugzeugen versorgen sollte. Das Jägerprogramm war nicht mehr Görings *Luftfahrtministerium*, sondern Speers *Rüstungsministerium* unterstellt.

Ende 1944, als die deutsche Führung mit zunehmendem Aufwand versuchte, sich auf die Verteidigung gegen die technisch immer überlegeneren Waffensysteme der Alliierten einzustellen, wird der Beginn einer echten Nachfrage nach den Zusemaschinen erkennbar. Mit dem bereits erwähnten "Planfertigungsgerät" zur automatischen Herstellung von "Rechenplänen" für die noch nicht ganz fertiggestellte Z4 sollten die mathematischen Formeln automatisch in die erforderliche Folge von Maschinenbefehlen umgewandelt und, auf einem Lochstreifen abgelocht, nacheinander von der Maschine gelesen und ausgeführt werden. Zuse wollte die Programmierung automatisieren, noch bevor sich die betroffenen Mathematiker der Flugzeugindustrie damit beschäftigt hatten.

Ein vermutlich letzter Kriegsauftrag der Forschungsführung des RLM vom Januar 1945 mit der Bezeichnung "Schaffung von Unterlagen für die Konstruktion und Fertigung algebraischer Rechengeräte in mechanischer Ausführung" bestätigt den Eindruck einer bevorstehenden Serienfabrikation. Einen Monat später – die Rote Armee stand bereits an der Oder – bestätigte der Leiter des Planungsamtes des Reichsforschungsrates, der SS-Offizier Werner Osenberg, daß Zuses Entwicklungen im Rahmen der "Flakaktion" liefen und zum "Notprogramm der Rüstungsendfertigung" gehörten, weshalb einige "wertvolle Geräte" außerhalb von Berlin sicherzustellen seien. Der Transportbefehl lautete nach Göttingen, wo die beinahe fertiggestellte Maschine in

der *Aerodynamischen Versuchsanstalt* (AVA), einem der wissenschaftlichen Zentren der Flugzeugtechnik, vorgeführt werden sollte. Eine weitere Bescheinigung bewahrte unter dem "Stichwort ‚Forschung‘" Zuse und acht Beschäftigte vor der drohenden Einberufung zur "Verteidigung Berlin".

Die Organisation und Ausführung des Transports nach Göttingen gelang, und die Professoren der AVA, darunter auch Prandtl, kamen in den letzten Kriegstagen noch in den Genuß der Vorführung der Z4 mit einem Speicher, der gerade 16 Plätze enthielt. Anschließend bemühte sich Zuse erfolgreich um einen Marschbefehl für Familie und Mitarbeiter im Gefolge der Raketengruppe General Dornbergers in Hitlers "Alpenfestung". In Hinterstein, dem letzten Ort vor der wenig später wieder existierenden Grenze nach Österreich, löste sich die Gruppe bald auf. Die Z4 stand die nächsten vier Jahre ungenutzt in verschiedenen Scheunen herum. Zuse sollte mit seiner Familie zwei Jahre lang in Hinterstein und zwei weitere Jahre im nicht weit entfernten Hopferau bleiben. In dieser Zeit entwickelte er Zukunftspläne und bemühte sich um alle möglichen Kontakte zu wissenschaftlichen Stellen und zu Firmen. Er nahm im Sommer 1947 an dem von britischen Fachleuten organisierten Treffen deutscher Rechenmaschinenexperten in Göttingen teil, veröffentlichte im gleichen Jahr eine Beschreibung der Z4 in einer amerikanischen Fachzeitschrift, fuhr 1948 zu einer amtlichen Befragung nach England, hielt Vorträge an Universitäten und schlug einen Verkauf seiner Patente an die Firma IBM aus, die zwar eine Anstellung versprach, die Fertigung von Zuse-Maschinen jedoch ablehnte. Durch Zufall ergab sich 1949 eine Verbindung in die Schweiz, in deren Folge die Z4 an die ETH Zürich gelangte.⁶²

Die programmgesteuerte Rechenmaschine und der Aufbau der deutschen Luftwaffe

Zuses Studienabschluß und Arbeitsbeginn bei den *Henschel-Flugzeugwerken* 1935 fielen in die Zeit des forcierten Aufbaus einer neuen deutschen Luftwaffe. Bereits im Sommer 1933 hatte das neue Luftfahrtministerium Görings den Bau von 4 000 Flugzeugen in den nächsten 21 Monaten geplant. Planer und treibende Kraft war Görings Staatssekretär Erhard Milch, der den Bau von Flugzeugen oder Teilen auch bei den Firmen veranlaßte, die bisher andere Produkte gefertigt hatten. Neben der *Schiffswerft Blohm & Voß*, den *Waggon-Fabriken Gotha* oder ATG hatte auch die Kasseler *Lokomotivfabrik Henschel* den Flugzeugbau in Berlin-Schönefeld als neues Arbeitsgebiet aufgenommen.

Die gewaltige Expansion der Flugzeugindustrie, die bis 1935 noch im geheimen gegen die Bestimmungen des Versailler Vertrags die Luftwaffe aufbaute, wurde seit dem Januar 1933 von damals noch knapp 4 000 Beschäftigten bis 1937 auf 230 000 ausgeweitet. Bereits Ende 1933 beschäftigte die Luftwaffe direkt und indirekt zusätzlich zwei Millionen Arbeiter mit dem Bau und dem Betrieb von Flugplätzen und Fabriken. Der Flugzeugbau produzierte nicht für einen Markt, dessen Bedürfnisse in Relation zu den Entwicklungs- und Herstellungskosten gesetzt werden mußten. Zahlreiche neue Betriebsanlagen, neue Produktionsverfahren und -technologien wurden ebenso eingerichtet wie wissenschaftlich-technische Forschungs- und Entwicklungsstellen.

Auch Zuse verdankte seine Stelle in der Flugzeugindustrie diesem Aufschwung, und der Schluß, daß hier seine Rechenmaschine am ehesten verwendet werden würde, ergab sich wohl weniger aus nüchternem Kalkül als aus der Situation. Es fehlte ihm jedoch ein funktionierendes Muster, mit dem er seine Pläne überzeugend demonstrieren konnte. Vorerst war weder die Flugzeugindustrie noch die wissenschaftliche Flugzeugtechnik davon angetan, aufgrund einer Beschreibung den Bau eines Prototyps angemessen zu unterstützen. Für die Forderung nach einer derartigen Entwicklung waren nicht die politischen und militärischen Stellen ausschlaggebend, die Flugzeuge oder Raketen in Auftrag gaben und dafür Termine setzten, sondern die Entwicklungsabteilungen selbst. Entwicklungsingenieure unter Termindruck sind jedoch wenig geneigt, ihnen bekannte Methoden zugunsten von absolut unbekannten aufzugeben. Sie hätten das maschinenunterstützte Konstruieren wahrscheinlich eher übernommen, wenn es von einer akademischen, wissenschaftlichen Stelle erprobt und ausgearbeitet worden wäre. In diesem Fall hätten die Flugzeugingenieure erst einmal die

Erstellung der Rechenpläne, das Programmieren, erlernen müssen.^{[6]²}

Offenbar entsprach Zuses Konzept der Rationalisierung der von Hand ausgeführten Rechenarbeit, das ja noch aus der jetzt diffamierten "Systemzeit" der 20er Jahre stammte, auch nicht der Arbeitsweise in der Flugzeugindustrie. Erst die Kriegsproduktion sollte hier eine Änderung bringen.

Der Schritt in ein wissenschaftlich-technisches Institut war für Zuse, der seine eigenen Pläne realisieren wollte, nicht möglich. Dort bestimmte damals Vannevar Bushs Integrieranlage die Diskussion, so daß kaum jemand Interesse an einer weiteren neuen, ganz andersartigen Rechenmaschine hatte, die noch nicht einmal existierte und der sowohl die anschauliche analoge Arbeitsweise abging, die der Ingenieurausbildung so gut entsprach, als auch die internationale wissenschaftliche Anerkennung der Bush-Maschine.

Der Aufschwung der Flugzeugindustrie forderte immer zahlreichere, umfangreichere, detailliertere Berechnungen. Die 30er Jahre brachten den Übergang zum Ganzmetallflugzeug und damit ganz neue statische Rechenprobleme. Bisher hatte man fachwerkartige Konstruktionen aus Stäben mit Stoff bespannt. Jetzt entwickelte man Ganzmetallkonstruktionen aus kompliziert verformten und verspannten Platten. Die zivile und militärische Bedeutung höchstmöglicher Fluggeschwindigkeiten machte die aerodynamische Formgebung zum vorrangigen Thema. Dabei mußten allgemeine strömungstechnische Formeln immer wieder neu berechnet werden, bis endlich ein bestimmter Zahlenwert des Durchmessers einer Verstrebung in Millimetern ermittelt war.

Welche Dimensionen die Entwicklungsarbeit in der Flugzeugtechnik angenommen hatte, erkennt man daran, daß in den Vorkriegsjahren die Luftwaffe noch weitgehend mit Doppeldeckern ausgerüstet war, während man gleichzeitig bei der Firma *Heinkel* schon mit Strahltriebwerken experimentierte und auch noch vor Kriegsausbruch flog.

Zuse hatte spätestens 1935 während seiner Statikertätigkeit bei den *Henschel-Flugzeugwerken* erkannt, daß die Entwicklung der Flugzeugtechnik zunehmend von der Umsetzung physikalisch-mathematischer Theorie in technische Angaben und Daten bestimmt wurde. Für ihn war klar, daß das programmierte Rechnen zumindest auf diesem Gebiet früher oder später zur notwendigen Voraussetzung der Konstruktionsarbeit werden würde.

Im Unterschied zu Gustav Tauschek, der zehn Jahre zuvor allein mit Plänen und Entwürfen einen Vertrag mit der Firma *Rheinmetall* geschlossen hatte und mit den Mitteln und nach den Maßstäben dieses Betriebes und dessen Stand der Fertigungstechnik seine Maschine entwickeln und konstruieren ließ, stürzte sich Zuse nicht nur in die theoretische Entwicklungsarbeit, sondern nahm auch Konstruktions- und Fertigungsarbeiten auf sich allein, wobei er über keinerlei Kapital verfügte. Während Tauschek mit seinem neuen Lochkartensystem zur Automatisierung der Buchhaltung einen Markt erobern wollte, der durch die Arbeiten der *Dehomag* und *Powers* bereits strukturiert und deutlich erkennbar war, stellte die Automatisierung der Ingenieur-Rechenarbeit durch Zuse in beinahe jeder Beziehung Neuland dar.

Die sich mehrenden Zeichen, daß mit den neuen Flugzeugen ein Revanchekrieg vorbereitet wurde, hemmten Zuses Arbeiten zu keiner Zeit. Im Februar 1935 hatten Hitler, Blomberg und Göring den Erlaß unterzeichnet, der die bisher geheim aufgebaute Luftwaffe als dritten Wehrmachtteil offiziell neben Reichswehr und Reichsmarine stellte. Neue elegante Uniformen tauchten auf und waren sofort besonders populär. Damals hatte Zuse gerade sein Diplom gemacht. Ein Jahr später, am 7. März 1936 – Zuse war jetzt Statiker bei den *Henschel-Flugzeugwerken* – marschierten deutsche Truppen ins Rheinland ein, das nach den Bestimmungen der internationalen Verträge von Versailles und Locarno entmilitarisiert war. Die Luftwaffe, die mit dem Ende des Ersten Weltkrieges Gegenstand der Kontrolle der Siegermächte und damit der Außenpolitik war, wurde dabei erstmals als Mittel der nationalsozialistischen Politik demonstrativ für einen Bruch des internationalen Vertragssystems eingesetzt.

Im Juli desselben Jahres – Zuse hatte gerade mit der Arbeit in der Wohnung der Eltern begonnen – begann mit der Unterstützung der Luftwaffe der Putsch General Francos gegen die Spanische Republik. Der als *Legion Condor* bezeichnete, anfangs geheime, Verband erprobte in Spanien nicht nur die neuen Flugzeuge in der militärischen Praxis, sondern trug entscheidend zum Sturz der gewählten Regierung eines europäischen

Staates bei. Offiziell wurde dieser Einsatz der Luftwaffe noch geheimgehalten.

Zuse berichtet jedoch selbst von einem Bekannten, der der *Legion Condor* angehörte, gut verdiente und einen Teil seiner Ersparnisse für Zuses Rechnerentwicklung beisteuerte. Auf die Frage, wann denn seine Maschine fertig sei, antwortete Zuse damals: "Wenn Franco Madrid erobert hat."

Eine der zahlreichen Bemerkungen, die Zuses Erinnerungen zum wichtigen Zeitzeugnis machen, gilt seinem Bekenntnis zu Oswald Spengler, dessen Bücher in den 20er Jahren in immer neuen Auflagen verbreitet waren und bedeutenden Einfluß auf die bürgerliche Kultur der ersten deutschen Republik hatten. Er bedauerte auch später, daß Spenglers "preußischer Sozialismus" so wenig verstanden wurde. Die zitierten Sätze über das "Schöpferische" und "Faustische" zeigen die Seite der Spenglerschen Lehre, die auch dem Absolventen des Reformgymnasiums und Angehörigen einer aufgeschlossenen und liberalen Studentenverbindung imponierten. Sie überzeugten ihn so stark, daß Zuse auch noch lange nach dem Ende des Kriegs die Passagen in Kauf nahm, in denen Spengler erklärte, daß der preußische "richtige" und "wahre" Sozialismus im Blut und in der Rasse der Germanen liege. "Wir Deutsche sind Sozialisten", die anderen "können es gar nicht sein", dozierte Spengler und erläuterte: In dem "nun ganz nach außen gewandten Instinkt lebt der alte faustische Wille zur Macht, zum Unendlichen, weiter in dem furchtbaren Willen zur unbedingten Weltherrschaft im militärischen, wirtschaftlichen, intellektuellen Sinne, in der Tatsache des Weltkrieges und der Idee der Weltrevolution, durch die Mittel faustischer Technik und Erfindung das Gewimmel der Menschheit zu einem Ganzen zu schweißen. Und so ist der moderne Imperialismus auf den ganzen Planeten gerichtet... Wir kennen keine Grenzen... Wie wir glauben, sollten alle glauben. Was wir wollen, sollen alle wollen. Und da Leben für uns äußeres Leben, politisches, soziales, wirtschaftliches Leben geworden ist, so sollen alle sich unserem politischen, sozialen, wirtschaftlichen Ideal fügen oder zugrunde gehen". Der Erfinder und Techniker hatte auch in der deutschen Außenpolitik eine besondere Rolle zu spielen, lehrte Spengler. Er stellte geradezu eine Triebfeder dar. Der Humanismus des Goetheschen Faust mußte hinter derartigen Tönen verblassen.

Ob Zuse damals in Hitlers Staat wirklich eine Neuauflage des von Spengler als sozialistisch bezeichneten alten preußischen Staates Friedrich II. sah, in dessen Dienst sich der schöpferische Mensch rückhaltslos zu stellen hatte, mag dahingestellt sein. Immerhin war während seiner acht ersten Lebensjahre sein Vater als Postbeamter direkt dem Kaiser als oberstem Dienstherrn unterstellt gewesen, wobei die Reichspost eine viel mehr technokratische als militärische Institution gewesen war. Obwohl er Kreisen angehörte, die der nationalsozialistischen Politik einiges an Kritik entgegensetzten, billigte er, wie viele andere damals auch, der Politik Hitlers so viel Berechtigung zu, daß er seine Erfindung, an der seine Existenz hing, in ihren Dienst stellen konnte. Der faustische Geist konnte es nicht zulassen, daß die Konzeption einer Rechenmaschine mit Programmsteuerung, Dualsystem und Gleitkommarechnung von 1935 nicht realisiert werden würde. Vorerst war jedoch eine Fertigstellung der Maschine noch gar nicht abzusehen, und später ging der Krieg zu schnell zu Ende, als daß ein wirklicher Beitrag zum Flugzeugbau noch in Frage gekommen wäre.

Zuse war der einzige, der damals in Europa die technische Entwicklung der programmgesteuerten Rechenmaschine im Dualsystem in dieser Konsequenz systematisch durchdachte. Er war aber auch der einzige, der beschlossen hatte, daß diese Maschine gebaut werden sollte und daß der Bau sinnvoll und berechtigt war.

Von Spengler beeindruckt, war er überzeugt, auch einen Beitrag zur weltgeschichtlichen Entwicklung zu leisten: "Erstreben die Amerikaner die Vervollkommnung durch umfangreiche Versuche, so wäre die den deutschen Verhältnissen angepaßte Methode die Erweiterung der Rechnung. Drüben Geld und Material, hier Theorie und Rechnung. Es bleibt uns nichts anderes übrig als die fehlenden günstigen Verhältnisse durch Gehirn zu ersetzen."

Die Z4 wird genutzt

An der ETH Zürich hatte kurz nach Kriegsende Eduard Stiefel die Leitung des neuen Instituts für Angewandte Mathematik übernommen und ähnlich wie Alwin Walther in Darmstadt neben dem

Mathematiker Heinz Rutishauser mit Ambros P. Speiser auch einen Elektroingenieur als Assistenten eingestellt.

Alle drei besuchten längere Zeit die USA und besichtigten dort die bereits fertiggestellten und in Arbeit befindlichen Rechner an der *Harvard-Universität*, im *Institute für Advanced Studies*, in Princeton sowie bei den Firmen *Bell* und *IBM*.

1950/51 veröffentlichten sie in der ebenfalls neu gegründeten *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik* einen umfassenden Bericht, der im gesamten deutschsprachigen Raum auf breites Interesse stieß. Die Einrichtung dieses Instituts war eine staatliche Maßnahme, die der Schweizer Industrie, Wirtschaft und Wissenschaft die soeben in den USA und in England entstehende Computertechnik zugänglich machen sollte. Zuse hatte mit der Schweizer Firma *Contraves* Verbindung aufgenommen, deren Generaldirektor, Oberst Brändli, mit Stiefel nach Hopferau kam. Brändli war gleichzeitig Präsident des Schweizer Schulrats und damit Chef der dem Schweizer Bund unterstehenden wissenschaftlichen Einrichtungen, zu denen die Züricher ETH gehörte. Obwohl die Z4 gegenüber den elektronischen Maschinen in den USA um Größenordnungen langsamer arbeitete und weniger Speicherkapazität enthielt, und obwohl die im Speicher verwendete, rein mechanische Zuse-Technologie völlig unbekannt war, kam es zum Abschluß eines Mietvertrags über fünf Jahre.

Man war zwar entschlossen, mit dem in den USA erworbenen Wissen an der ETH einen eigenen elektronischen Rechner zu bauen, aber die Möglichkeit der schnellen Aufnahme eines praktischen Rechenbetriebs mit der Z4, zu einer Zeit, als auf dem europäischen Kontinent nirgends ein Computer betrieben wurde, versprach praktische Erfahrungen direkt in der Schweizer Umgebung. Der elektronische Rechner konnte noch einige Zeit zurückgestellt werden. Zuse sollte die Möglichkeit der Z4 jedoch zuvor noch durch einige Ergänzungen erweitern.

Im hessischen Neukirchen führte die soeben gegründete *Zuse KG* im engen Kontakt mit dem Züricher Institut den Umbau der Z4 schnell aus: Neben den Schaltungen zur Ausführung bedingter Befehle und einem zweiten Lochstreifenabtaster forderte Stiefel die Erweiterung des mechanischen Speichers von 16 auf 64 Speicherzellen und einen zusätzlichen Locher, mit dem auf einem weiteren Lochstreifen Zwischenwerte eingestanzte werden konnten, so daß er als Zwischenspeicher wirkte.

Der Rechenbetrieb an der ETH begann mit einem Festakt im Juli 1950, und die Maschine war in den folgenden Jahren täglich rund zehn Stunden in Betrieb. Stiefel untersuchte die Anwendung numerischer Rechenverfahren auf der Maschine und berichtete auf internationalen Fachkongressen über die Arbeiten. Nach der Nutzung für die weitgehend routinemäßigen statischen Rechnungen kamen erst jetzt die Möglichkeiten der Z4 wirklich zur Geltung. Die Maschine brachte die Züricher Mathematiker auf Antrieb in eine attraktive Situation: Sie bot nicht nur die Möglichkeit, Rechenverfahren auszuprobieren, sondern ließ es zu, die Gedanken über Aufbau und Konzeption mit praktischen Versuchen zu untermauern. Das Interesse an den neuen Rechenmöglichkeiten nahm sofort ständig zu und ließ schnell erkennen, daß der Bedarf an programmierter maschineller Rechenarbeit die Möglichkeiten der zwar zuverlässigen, aber doch langsamen Relaismaschine bereits überstieg und der Aufwand für eine elektronische Maschine gerechtfertigt sein würde. Während des praktischen Rechenbetriebs gedieh auch die Überzeugung, daß eine entscheidende Voraussetzung für eine weitere Verbreitung des Rechnens mit Computern darin bestand, daß Anwender mit normaler mathematischer Hochschulbildung ihre Programme selbst schreiben konnten. Die Forderung nach einer Programmiersprache, in der jedermann, ohne die Rechenmaschine benutzen zu müssen, das Programm für seine Aufgabe schreiben konnte, um es dann nur noch zur Ausführung im ETH-Rechenzentrum abzugeben, wurde aktuell. Rutishauser entwickelte eine Methode, nach der die Z4 Programme mit den von der Maschine ausführbaren Befehlen selbst "berechnen" und lochen konnte. In den USA entstand zu dieser Zeit die erste Version der maschinenunabhängigen Programmiersprache FORTRAN.

Seit 1952 hatte man an der konkreten Planung und Entwicklung des elektronischen Rechners gearbeitet, der die Z4 1955 ablöste und mit der Bezeichnung ERMETH deren Rolle auf höherem Niveau weiterspielte. Die Z4 war während der folgenden vier Jahre am *Deutsch-Französischen Forschungsinstitut Saint Louis* bei Basel in Betrieb.

Das *Deutsche Museum* in München akzeptierte sie als "Meisterwerk der Technik", und man kann die überlieferten Reste dort besichtigen.⁶³

Visionen von der Zukunft

Die oft gestellte Frage, wie es zu der ebenso entschiedenen wie individualistischen und isolierten Erfindertätigkeit des Ingenieurs Konrad Zuse kam, ist auch die Frage nach der Ursache und den Umständen des deutschen Beitrags zur internationalen Entstehungsgeschichte "des" heute allgegenwärtigen, universellen Computers. Wie ist es möglich, daß die Idee und die Aktivität des Individuums eine breite weltverändernde Entwicklung auslöst und bestimmt? Ist es zulässig, daß ein Individuum beschließt, die Welt und damit die Lebensbedingungen der Zeitgenossen und die aller zukünftigen Generationen zu verändern? Zuse stellte sich derartige Fragen offenbar schon früh und beantwortete sie für sich und für andere unter Berufung auf Oswald Spenglers Ideen mit dem "Faustischen", das manchen Menschen angeboren sein und sie zu Weltveränderern mache.

Bereits in den 30er Jahren galten Zuses weitreichendste Ideen der technischen Machbarkeit eines künstlichen Gehirns und der Möglichkeit, das gesamte Wissen zu speichern. Im Vordergrund seiner Überlegungen, Pläne und Aktivitäten stand jedoch immer die sehr politische Frage, wie der Bau der Maschinen überhaupt ermöglicht werden könnte.

Während der Vorkriegsjahre widmete er sich ganz der theoretischen und praktischen Lösung der technischen Probleme. Trotz der Orientierung an den Problemen der Flugzeugkonstruktion ist die Unabhängigkeit von einer speziellen Anwendung ein Charakteristikum seiner Arbeit. Die Frage nach der konkreten Anwendung der Maschine stellte geradezu einen Widerspruch zum Anspruch ihrer Universalität dar. Er kannte die dort übliche sture Wiederholung der Rechenarbeiten aus eigener Erfahrung, lehnte es jedoch bewußt ab, eine Spezialmaschine für diese Rechnungen zu entwickeln. Seine Maschine sollte außerdem die Wettervorhersage und vor allem das Schachspiel berechnen können.

Im Rahmen der Bemühungen um die Freistellung vom Militär argumentierten Zuse und auch Schreyer mit der Möglichkeit, die Maschine zur Feuerleitung der Artillerie zu verwenden. Die seit Jahrzehnten erprobte und bewährte analoge Feuerleitung auf den deutschen Kriegsschiffen stand jedoch damals nicht zur Disposition. Ähnliches galt für den Vorschlag der Berechnung von Wetterkarten für die Luftwaffe.^{[6]³}

Am überzeugendsten mußte das Argument vorteilhafter Verwendung im Flugzeugbau wirken. Die schematische Rechenarbeit für hochqualifizierte Arbeitskräfte, Ingenieure und Wissenschaftler könne verringert, die Qualität der Flugzeuge erhöht, Material und kostspielige Versuche könnten eingespart werden. Andere Stichworte waren Stahl- und Eisenbetonbau, Feldvermessung, Schwingungslehre, Aerodynamik. Ausgangspunkt war immer die Notwendigkeit der Wiederholung derselben Rechnung mit veränderten Parametern, wie sie die Konstruktionsarbeit erforderte.

Auch im Motorenbau, bei komplizierten aerodynamischen Problemen und auch bei der Atomtheorie könne die Maschine kostspielige Versuche ersparen. Die Verwendung seiner Maschine ermögliche es, "die Rechnungen stets 'frisch' zu erhalten, d. h. sie laufend dem neuesten Stande der Konstruktion anzupassen". Zuse wollte mit seiner Maschine die Ingenieurarbeit verändern; die Ingenieure sollte ihre "ganze Arbeitskraft" auf sie einstellen. Mit Recht kritisierte er, dass viele technische Probleme zwar theoretisch weitgehend erforscht seien, daß sie in der Praxis aber nur mit vereinfachenden Faustregeln bearbeitet würden. "Praktische

Anwendung finden nicht die besten, sondern die einfachsten Theorien. Hier beginnt die eigentliche Aufgabe der Maschine. Probleme, die bisher nur annähernd durch Versuche erfasst werden konnten, können jetzt rechnerisch durchschaut werden.”

Bei der Verwendung seiner Rechenmaschine sollte der Umfang der Zahlenrechnung eine untergeordnete Rolle spielen. “Die Arbeit des Theoretikers bekommt bleibenden Wert. Ist zum Beispiel die aerodynamische Berechnung eines Flügelprofils bestimmten Typs einmal in Lochstreifenform festgehalten, so ist die Gedankenarbeit des Theoretikers gewissermaßen konserviert. Geht der praktische Ingenieur an die Berechnung nach dieser Formel heran, so braucht er sich nicht in die Gedankengänge des Theoretikers zu versenken.

Er bezieht die Formel gewissermaßen ab Fabrik. So wie der Benutzer eines Elektromotors nicht zu wissen braucht, wie die Wicklungen im Anker liegen, braucht der Benutzer der Formel die Art der Berechnung nicht zu kennen. Er muß sie ‚bedienen‘ können, d. h., ihr die richtigen Ausgangswerte zuführen und die Resultate richtig verwerten können. Der Theoretiker kann also die Berechnung beliebig kompliziert gestalten und sein Spezialwissen auf dem Gebiet voll einsetzen. Die Formel braucht nur nach außen ‚narrensicher‘ zu sein, innerlich ist sie wie durch einen Panzer geschützt. Damit ist der Weg zur Verfeinerung frei.”

Erst in der verzweifelten Situation während der letzten Kriegsmonate, als bereits auf einige funktionierende Zuse-Geräte verwiesen werden konnte, wurden einige Aufträge erteilt. Zuse dachte aber auch damals schon an das Bankwesen, für das er jedem Konto eine Speicherstelle zur Verfügung stellen wollte, um so “jederzeit blitzschnell” Konto-Auszüge und Tagesbilanzen “oder dergl.” erstellen zu können. Der Standpunkt der Banken dürfte derselbe gewesen sein, der 10 Jahre früher bereits Tauschek mitgeteilt wurde.

Nach dem Kriegsende arbeitete Zuse in Hinterstein weitere Anwendungsmöglichkeiten für seine Maschine aus, die er als Werbeschriften, auch an das Konsulat in den USA, verschickte. Das geringe Interesse ist leicht nachzuvollziehen. Seine Angaben über die Bedeutung der logistischen Geräte, “die über das Zahlenrechnen hinausgehen”, mußten geradezu utopisch anmuten. In den Speicherwerken könnte “das ganze schematisierbare Wissen auf abgegrenzten Gebieten wie z. B. der Algebra, der Statik” bereitgehalten werden. Die im vorigen Kapitel geschilderten Dimensionen vergleichbarer Projekte im Lochkartensystem machen deutlich, daß nur große Unternehmen oder staatliche Institutionen derartige Pläne realisieren konnten.

Ein Vorschlag betraf die “Mechanisierung eines Warenhausbetriebs”, wobei jeder Kunde beim Betreten des Hauses eine Blechmarke mit einer gelochten Kennziffer erhalten, mit ihr die Waren aussuchen und sie bei Bezahlung wieder abgeben sollte. Weitere ausgearbeitete Vorschläge betrafen die “Gefolgschaftskontrolle” und erneut den Wetterdienst.

Zählwerke mechanischer Tischrechenmaschinen, die die Aufgabe des Speichers erfüllten, kosteten in Zuses damaliger Vergleichsrechnung 150 Reichsmark, bei seiner bisher gebauten Maschine jedoch nur 50 Reichsmark. Er argumentierte in seiner Kalkulation mit einer Serie von 1 000 Geräten gleicher Konstruktion und einer Kapazität von 1 000 Zellen und glaubte, “ohne weitere Änderung der Herstellungsmethoden” mit drei bis fünf Reichsmark pro Zelle rechnen zu können.

Durch Verkleinerung der Konstruktion, “so daß die Größe der Teile nicht an die Größe der menschlichen Finger gebunden ist”, durch Normierung und durch Mechanisierung der Fertigung und Montage, wiederum mittels Verwendung von Zuse-Rechnern, könnten die Kosten weiter gesenkt werden. Zu dieser zweifellos realisierbaren Möglichkeit der Miniaturisierung von Zuses mechanischer Schaltgliedtechnologie, die man sich ähnlich wie ein großes, aber mit beweglichen Teilen dicht gepacktes Schloß denken kann, sollte es jedoch nie und nirgends kommen. Zuses mechanische digitale Rechentechnologie blieb ein realisierbarer Vorschlag, den die Geschichte nicht nutzte. Der ingenieurtechnisch konsequente Weg erwies sich als unternehmerische Fehleinschätzung.

Charakteristisch für die Pläne und Konzeptionen Zuses war in den 30er und 40er Jahren gleichermaßen, daß sie von provisorischen Demonstrationsmodellen und letztlich von nicht existierenden Maschinen ausgingen. Auch die Z4 konnte in ihrer ersten Ausführung kaum mehr als ein Prinzip demonstrieren. Ohne die klaren Angaben der Züricher Wissenschaftler hätte Zuse die dann erfolgten Ergänzungen, mit denen die Z4 der Arbeitsweise der damaligen amerikanischen Computer so nahe kam, wie es möglich war, nicht ausgeführt.

Bei alledem sind Zuses Überlegungen zur Bedeutung der programmgesteuerten Rechenautomaten in den folgenden Jahrzehnten in bemerkenswerter Weise Realität geworden, auch wenn er selbst höchstens indirekten Einfluß darauf hatte. Sie berührten jedoch immer wieder das Interessengebiet der Lochkartenfirmen.

Obwohl sie ihm aus seiner Zusammenarbeit mit Schreyer bekannt waren, spielten die Möglichkeiten der Elektronik und der elektronischen Technologie in Zuses damaligen Vorschlägen keine vorrangige Rolle. Aus heutiger Sicht ist klar, daß die Realisierung der Automatisierungsvorschläge nur mit hohen Rechengeschwindigkeiten vorteilhaft und möglich waren. Obwohl er von den elektronischen Rechnern in den USA und England wußte, war deren Rechengeschwindigkeit für ihn bis in die Mitte der 50er Jahre kein Argument. Hier liegt die partielle Unschärfe und Inkonsequenz, die wahrscheinlich für alle prophetischen Pläne typisch ist. Gerade die logistische Rechenmaschine hätte den Gedanken an eine Hochgeschwindigkeitsmaschine nahelegen müssen.

Die Pläne Zuses aus der direkten Nachkriegszeit mußten vor dem Hintergrund der zerstörten Städte und der ungewissen Zukunft Deutschlands für viele völlig abwegig erscheinen. Er wollte den amerikanischen Markt interessieren, jedoch nicht in die USA auswandern. Kein amerikanisches Warenhaus wäre jedoch damals auf die Idee gekommen, seinen Betrieb von einem unbekannten deutschen Erfinder automatisieren zu lassen und dafür das bewährte Lochkartensystem und die komfortabel organisierte Zusammenarbeit mit Firmen wie IBM aufzugeben.⁶⁴

Im Windschatten von Demokratie und Wirtschaftswunder

In der gerade erst gegründeten Bundesrepublik gab es keine staatlichen Projekte wie den Flugzeugbau der Kriegsjahre oder auch die durch das Kriegsende nicht beendeten amerikanischen großen Rüstungsprojekte, in deren Rahmen die Entwicklung großer elektronischer Rechner hätte stattfinden können. Auch galt das Verbot elektronischer Entwicklungen durch den alliierten Kontrollrat noch immer. In dieser Situation wollte Zuse betriebssichere und "verhältnismäßig einfache Geräte" bauen, die "rentabel, aber nicht superleistungsfähig" sein sollten. Die Vermietung der Z4 an die Schweizer ETH ermöglichte ihm 1949 die Gründung der *Zuse KG*, der nach Bückners *Rechenautomaten GmbH* zweiten deutschen Spezialfirma für große Rechenmaschinen. Sie etablierte sich in dem kleinen Hessischen Ort Neukirchen im alten Gebäude einer Pferderelaisstation.

Der erste gewichtige Auftrag nach dem Umbau der Z4 kam von der optischen Firma *Leitz*, die eine große Relaisrechenanlage für die optischen Berechnungen bestellte. Obwohl diese als Z5 bezeichnete Maschine sechsmal so schnell arbeitete wie die Z4 und 200 000 DM kostete, stellte auch sie nicht die Hochleistungsmaschine dar, die alle Möglichkeiten der Zuseschen Theorie enthielt. [6]⁴

Der für eine kaum eingeführte kleine westdeutsche Firma damals erreichbare Markt an großen Relaismaschinen erwies sich damit bereits als erschöpft, und die weitreichenden Maschinenkonzepte aus Zuses Schublade sollten auch später nicht mehr realisiert werden.

Zuses bisherige Maschinen konnten sinnvoll nur von Personen benutzt werden, die selbst Hand anlegen wollten. Eine perfekt funktionierende Anlage und die Garantie eines jederzeit kurzfristig anrufbaren Service, wie sie die Lochkartenfirmen boten, standen der *Zuse KG* nicht zur Verfügung.

Der Auftrag, mit dem die kleine Firma in den folgenden Jahren überlebte, betraf ein programmgesteuertes elektromechanisches Rechenggerät zum Anbau an die Lochkartenmaschinen der Schweizer *Remington*. Rund 30 solcher Zusatzgeräte wurden ausgeliefert.

Das erste, komplette, serienmäßig gebaute, programmgesteuerte Rechenggerät in der Bundesrepublik erhielt die Bezeichnung Z11 und wurde seit 1956 in 40 bis 50 Exemplaren hauptsächlich für die standardisierten Rechnungen der Optik und des Vermessungswesens, aber auch der Rentenrechnung verkauft. Den Prototyp, den die *Zuse KG* zur Serienfertigung übernahm, hatte der bayrische Flurbereinigungsbeamte Heinrich Seifers

in Zusammenarbeit mit Zuse an der TH München entwickelt. Die relativ kleine Maschine arbeitete mit festen Programmen und entsprach wieder keineswegs den anspruchsvollen Plänen, auf deren Realisierung Zuse seit dem Kriegsende hoffte. Die Bedingungen des Markts forderten von dem Unternehmer Zuse jedoch entschieden die weitere Zurückstellung und letztlich die Aufgabe dieser Pläne.

Der so lange verzögerte Schritt zur Elektronik gelang beinahe gleichzeitig mit der Aufnahme der Serienfertigung der elektromechanischen Z11. Aber auch bei der Entwicklung der seit 1958 ausgelieferten Z22 in elektronischer Röhrentechnologie fand sich Zuse aus der Position des Entwicklungsingenieurs und Erfinders ganz in die des Unternehmers versetzt. Das eigenwillige, ganz auf einen einfachen und billigen, aber möglichst vielseitig nutzbaren Hardware-Aufbau abzielende Konzept dieser Maschine mit der Bezeichnung MINIMA stammte von dem Freiburger Mathematiker Theodor Fromme, der sich am Konzept des niederländischen Ingenieurs W. L. van der Poel orientierte. Frommes Fragestellung lautete: "Wie baut man eine einfache und preiswerte Maschine, die mit angemessener Rechengeschwindigkeit mathematische Programme, die für Probleme an der Universität Freiburg anfallen, ausführt?" Welche Art von Rechenaufgaben dort anfielen, läßt sich daraus schließen, daß der Institutschef, Henry Görtler, Spezialist für Gasdynamik war und sein Institut in Personalunion mit dem französischen Rüstungsforschungsinstitut in St. Louis betrieb, dem Vorort von Basel hinter der französischen Grenze und nicht weit von Freiburg. Elektronische Bausteine galten als teuer, während die Programmierarbeit "selbst gemacht" werden konnte und deshalb scheinbar nichts kostete. Entsprechend wurde die Frage behandelt, ob Multiplikationen mit einer besonderen elektronischen Schaltung schnell, aber kostspielig ausgeführt, oder ob sie über ein Multiplizierprogramm aus Additionen erzeugt werden sollten. Die längere Rechenzeit sollte und konnte durch raffinierte Gestaltung der Programme ausgeglichen werden.

Mit dem Schritt zur elektronischen Technologie erfolgte in der *Zuse KG* auch der zum abänderungsfähigen gespeicherten Programm und damit zum von-Neumann-Konzept. Alle bisherigen frei programmierbaren Zuse-Maschinen hatten ihre Befehle hintereinander von einem Lochstreifen abgelesen und dann ausgeführt. Die Begrenzung der Arbeitsgeschwindigkeit durch den Lesevorgang war bei den Relaismaschinen nicht ins Gewicht gefallen. Trotzdem war auch die Z22 nicht als "datenverarbeitende" Maschine mit leistungsfähigen Aus- und Eingabegeräten geplant. Dieser Markt galt als Domäne von Firmen wie IBM. Der Preis der Z22 war viel niedriger als der der so erfolgreichen Maschine IBM 650, die inzwischen ebenfalls in der Bundesrepublik gefertigt wurde.

Daß der Wunsch nach einer größeren Verbreitung elektronischer Rechenanlagen auch in der Mitte der 50er Jahre keine Selbstverständlichkeit war, beleuchtet die Position der *Deutschen Forschungsgemeinschaft* (DFG). Zuse hatte Wolfgang Haack, Professor für Mathematik an der TU Berlin, der sich vergeblich um die aus Zürich abgegebene Z4 bemüht hatte, die erste fertiggestellte Z22 zugesagt. Haacks Assistenten beteiligten sich sogar an den Entwicklungsarbeiten und kamen häufig nach Neukirchen. Haacks Antrag auf 180 000 DM für die Finanzierung der Entwicklung des Rechners für die TU bei der DFG blieb erfolglos.

Die DFG vertrat Ende 1956 noch immer die Meinung, daß es sich bei der Beschäftigung mit den kostspieligen Computern um ein Spezialgebiet handele und es völlig ausreiche, wenn man sich in Göttingen, Darmstadt und München damit beschäftigte.

Das Interesse an der Benutzung einer der wenigen in Europa verteilten elektronischen Rechenanlagen, die oft weite Anreisen erforderten, war in dieser Zeit jedoch bereits geweckt und nahm schnell zu. Trotzdem war die Notwendigkeit der Anschaffung eigener Anlagen nicht überall anerkannt. Selbst von den Mathematikern waren um 1956 nur wenige an einer Entwicklung interessiert, wie sie Stiefels Institut in Zürich zeigte. An erster Stelle standen die "angewandten" Mathematiker, die sich während des Krieges mit Problemen des Flugzeugbaus, der Ballistik oder der Gasdynamik auseinandergesetzt hatten. Die gewichtigsten Vertreter waren Görtler in Freiburg, Haack in Berlin und Sauer in München. Obwohl sie nicht erst seit der Wiederbewaffnung der Bundesrepublik entsprechende Forschungsarbeiten betrieben, wurden sie von der Rechnerförderung der DFG, mit Ausnahme Sauers, nicht bedacht.

Wie in einem späteren Kapitel gezeigt werden wird, konnte die Z22 nur entwickelt, gefertigt und im wesentlichen auch verkauft werden, nachdem der Bundestag ein besonderes Finanzierungsprogramm

beschlossen hatte. Die Universitäten sollten mit Rechnern ausgestattet werden, die allerdings von der deutschen Industrie entwickelt sein sollten. Ohne diese staatliche Maßnahme, die den Prinzipien von Ludwig Erhards reiner Marktwirtschaft widersprach, hätten die amerikanischen Firmen ein wahrscheinlich absolutes Monopol auf dem gerade entstehenden deutschen Computermarkt gehabt. Tatsächlich konnte die *Zuse KG* nicht nur schon 1957 ein neues Fabrikgebäude in Bad Hersfeld beziehen, sondern alle 41 bestellten Z22 bis 1960 installieren.

Die Entwicklung der Computertechnik nahm im internationalen Maßstab ein atemberaubendes Tempo an, dem die mittelständische Zuse KG bald nicht mehr gewachsen war. Ähnlich wie die Z4 zum Zeitpunkt ihrer Aufstellung in Zürich durch elektronische Rechner in den USA bereits technologisch überholt war, so war im Zeitraum der Entwicklung der Röhrenmaschine Z22 bereits die Transistortechnologie aktuell. Der niedrige Preis und staatliche Industrieförderungs- und Beschaffungspolitik ermöglichten es jedoch, daß auch noch 1960 Röhrenmaschinen neu installiert wurden.

Die immer neuen Entwicklungsanforderungen verlangten nicht nur innerhalb ganz kurzer Zeit die Einführung der Transistortechnologie und neuartiger Speichertechnologien, von denen jede selbst einer schnellen Weiterentwicklung unterlag, sondern auch die Ausstattung mit Standardprogrammen. Dazu gehörte bereits ein Übersetzungsprogramm für die ebenfalls gerade entstandene maschinenunabhängige Sprache ALGOL. Ein ALGOL-Compiler für die Z22 wurde vom Team um F. L. Bauer an der Universität Mainz entwickelt und der Zuse KG kostenlos zur Verfügung gestellt. Der Ehrgeiz, eigene Programme zu erstellen, der für die Kunden der ersten Rechner noch charakteristisch gewesen war, hatte bald einer Haltung Platz gemacht, die den für eine bestimmte Maschine verfügbaren Programmen wachsende Beachtung schenkte.⁶⁵

[6]⁵

[55] ZuP 009/001; ZuP 030/002; ZuP 014/008; K. H. Czauderna, Konrad Zuse. Der Weg zu seinem Computer Z3, München 1979, S. 88f.; C. Matschoß, Die Entwicklung der Dampfmaschine, 2 Bände, Berlin 1908, Bd. 1, S. VIII; K. Zuse, Der Computer, mein Lebenswerk, München 1970, überarbeitete Neuauflage, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1984; K. Zuse, Vom Bauingenieurstudium zum Computer, in: K. Schwarz (Hg.), 100 Jahre Technische Universität Berlin 1879-1979, Katalog zur Ausstellung, Berlin 1979, S. 358-361.

[56] ZuP 005/001; ZuP 005/021; H. Petzold, Die Ermittlung des "Standes der Technik" und der "Erfindungshöhe" beim Patentverfahren Z391, Dokumentation nach den Zuse-Papieren, GMD-Studien Nr. 59, St. Augustin 1981.

[56] ZuP 005/001; ZuP 005/021; H. Petzold, Die Ermittlung des "Standes der Technik" und der "Erfindungshöhe" beim Patentverfahren Z391, Dokumentation nach den Zuse-Papieren, GMD-Studien Nr. 59, St. Augustin 1981.

[57] ZuP 014/001; H. Dorsch, Konrad Zuses Z1 – Berlin 1936, Museum für Verkehr und Technik, Berlin 1989; E. Heinkel, J. Thorwald, Stürmisches Leben, Taschenbuchausgabe, München 1976, S. 360ff.; D. Irving, Die Tragödie der Deutschen Luftwaffe. Aus den Akten und Erinnerungen von Feldmarschall Erhard Milch, Taschenbuchausgabe, Frankfurt, Berlin, Wien 1975, S. 66-77; O. Spengler, Preußentum und Sozialismus, München 1920, S. 4 u. 23f.; K. H. Völker, Die deutsche Luftwaffe 1933-1939. Aufbau, Führung und Rüstung der Luftwaffe sowie die Entwicklung der deutschen Luftkriegstheorie, Stuttgart 1967, S. 69; G. Wissmann, Geschichte der Luftfahrt von Ikarus bis zur Gegenwart, Eine Darstellung der Entwicklung des Fluggedankens und der Luftfahrttechnik, 4. Aufl. Berlin 1975, S. 389ff.

[58] ZuP 001/010; ZuP 004/002; ZuP 017/008; W. de Beauclair, Erinnerungen eines Pioniers auf dem Gebiet der Computerentwicklung, in Czauderna, Anm. 55, S. 97ff.; W. Heinzerling, E. E. Knausenberger, M. Osietzki, Herbert Wagner. Dokumentation zu Leben und Werk, o. O., o. J. (München 1984); H. Schreyer, Schaltung von Glimmlampe und Elektronenröhre als Röhrenrelais, Patentanmeldung 19. Nov. 1940; H. Schreyer, Das Röhrenrelais und seine Schaltungstechnik, Diss. TH Berlin 1941, Mikrofilm, Bibliothek der TU Berlin; H. Schreyer, Schaltungsanordnung eines elektrischen Kombinationsspeicherwerkes, Patent 937170, 29. Dez. 1955; K. Zuse, Über programmgesteuerte Rechengeräte für industrielle Verwendung, in: H. Cremer (Hg.), Probleme der Entwicklung

programmgesteuerter Rechengerte und Integrieranlagen, Aachen 1953, S. 55-59; Zuse, Der Computer, Anm. 55, S. 70ff., 80ff.

[59] ZuP 014/000; ZuP 014/004; ZuP 014/008; A. Teichmann, Das Flattern von Trag- und Leitwerken, Vortrag, gehalten in der 9. Wissenschaftssitzung der Ordentlichen Mitglieder am 12. Dez. 1941 mit Aussprache, Sitzungsperiode 1941/42, Schriften der Deutschen Akademie der Luftfahrtforschung H. 49, Berlin 1942, S. 39; Zuse, Der Computer, Anm. 55, S. 84.

[60] ZuP 017/014; ZuP 020/001; H. Piesch, Begriff der allgemeinen Schaltungstechnik, AET 33. 1939, S. 672-686; H. Piesch, Über die Vereinfachung von allgemeinen Schaltungen, AET 33. 1939, S. 733-746; C. Shannon, A symbolic analysis of relay and switching circuit, TAIEE 57. 1938, Supplementband S. 713-723; Zuse, Der Computer, Anm. 55, S. 46-94; K. Zuse, Rechenvorrichtung, Patentauslegeschrift Z394 vom 11. Okt. 1944, Deutsches Patentamt Berlin.

[61] ZuP 030/002; K. Zuse, Entwicklungslinien einer Rechengerte-Entwicklung von der Mechanik zur Elektronik, in: W. Hoffmann Anm. 18, S. 508-532; Zuse, Der Computer, Anm. 55, S. 41 u. 56f.

[62] ZuP 014/001; ZuP 014/005; ZuP 014/008; ZuP 017/001; ZuP 017/009; ZuP 020/001; W. Beauclair, Alwin Walther, Anm. 15; H. Billing, Zur Entwicklungsgeschichte der digitalen Speicher, ER 19. 1977, S. 213-217; Czauderna, Anm. 55, S. 94ff.; R. C. Lyndon, The Zuse Computer, Mathematical tables and other aids to computation, 1947, S. 355-359; Zuse, Der Computer, Anm. 55, S. 84, 89, 107, 111f.

[63] ZuP 017/005; Liste der 1950-1955 mit der programmgesteuerten Rechenmaschine Z4 ausgeführten Aufträge und mathematischen Untersuchungen, mM, IAM ETH Zürich, 11. Juli 1955; Nichtsignierte Unterlagen im Rechenzentrum der TU Berlin; Drucksache 551, Deutscher Bundestag, 3. Wahlperiode, 30. September 1958; Drucksache 707, Deutscher Bundestag, 3. Wahlperiode, 27. November 1958; C. Böhm, Calculatrices digitales. Du déchiffage de formules logico-mathématiques par la machine même dans la conception du programme, Diss. ETH Zürich 1952, Ann. Mat. Pura appl. Ser. 4, 37. 1957, S. 5-47; E. Engeler u. a., Konrad Zuse und die Frühzeit des wissenschaftlichen Rechnens an der ETH, Dokumentation zu einer Ausstellung um die Z4 – den ersten an der ETH Zürich 1981; H. Petzold, Konrad Zuse, die Technische Universität Berlin und die Entwicklung der elektronischen Rechenmaschinen, in: R. Rürup (Hg.), Wissenschaft und Gesellschaft, Beiträge zur Geschichte der Technischen Universität Berlin 1879-1979, Bd. 1, Berlin, Heidelberg, New York 1979, S. 389-402; H. Rutishauser, A. Speiser, E. Stiefel, Programmgesteuerte digitale Rechengerte, ZAMP 1. 1950, S. 277-297 u. 340-363, 2. 1951, S. 2-92; H. Rutishauser, Automatische Rechenplanfertigung bei programmgesteuerten Rechenmaschinen, Mitteilungen aus dem IAM ETH Zürich, Nr. 3, 1952; H. Rutishauser, Maßnahmen zur Vereinfachung des Programmierens (Bericht über die in 5jähriger Programmierungsarbeit mit der Z4 gewonnene Erfahrung), NTF 4. 1956, S. 26f.; A. Speiser, Projekt für den Bau einer neuen programmgesteuerten Rechenmaschine, mM, IAM ETH Zürich, 1. Mai 1953; A. Speiser, Digitales Rechnen, Vergangenheit und Zukunft, Vortrag beim Gedenkkolloquium für Eduard Stiefel, Zürich 7.7.1979, mM; A. Speiser, Die Z4 an der ETH Zürich. Ein Stück Technik- und Mathematikgeschichte, Elemente der Mathematik 36. 1981, S. 145-153; E. Stiefel, La machine à calculer arithématique Z4 de l'Ecole Polytechnique fédérale à Zurich (Suisse) et son application à la résolution d'une équation aux dérivées partielles du type elliptique, in: Colloques Internationaux de Centre National de la Recherche Scientifique, 37, Les machines à calculer et la pensée humaine, Paris 1953, S. 33-40; E. Stiefel, Rechenautomaten im Dienste der Technik, Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, H. 48, Köln 1955, S. 35; J. Waldvogel, U. Kirchgraber, H. R. Schwarz, P. Henrici, Eduard Stiefel, ZAMP 30. 1979, S. 133-140; Zuse, Der Computer, Anm. 55, 155.

[64] Mathematical tables and other aids to computation 1947, S. 367f.; ZuP 010/003; ZuP 010/007; ZuP 010/012; ZuP 010/014; ZuP 010/015; ZuP 010/030; ZuP 017/008.

[65] Tagung in St. Louis, ZAMM 25, 27. 1947, S. 208; Beauclair, Rechnen mit Maschinen, Anm. 2; T. Fromme, Eine Bemerkung zum Thema Schachmaschine, ZAMM 30. 1950, S. 293f.; T. Fromme, H. Pösch, H. Wittig, Modell eines Rechenautomaten mit kleinstem Aufwand zum Studium von Programmierungsproblemen, Laboratoire des Recherches Techniques de St. Louis, 17.3.1955, Mémoire Nr. 2m/55, Classement Q117; F. R. Güntsch, Einführung in die Programmierung digitaler Rechenautomaten, 2. Aufl. Berlin 1963, S. 269; W. Händler, Digitale Universalrechenautomaten, in: K. Steinbuch (Hg.), Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung, 2. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York, 1967, S. 996; W. L. van der Poel, A

simple electronic computer, *Applicated Scientific Research*, B2, 1952, S. 367ff.; *W. L. van der Poel*, Microprogramming and trickology, in: *W. Hoffmann* (Hg.), *Digitale Informationswandler*, Anm. 61, S. 269-311; *H. Pösch*, Eine automatische Rechenmaschine mittels Röhren, *ZAMM* 25/27, 1947, S. 140f.; *H. Pösch*, *T. Fromme*, Programmorganisation bei kleinen Rechenautomaten mit innerem Programm, *ZAMM* 34. 1954, S. 307f.; *K. Prause*, *W. Möhlen*, *W. Fliess*, Stand des elektronischen Rechnens und der elektronischen Datenverarbeitung in Deutschland, *Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Rechenanlagen* (Hg.), Darmstadt 1961, S. 20; *H. Seifers*, Die Anwendung des Rechengerätes Z11 in der Geodäsie, *Zeitschrift der Deutschen Geodätischen Kommission A*, 28. 1958, S. 63-71; *H. Seifers*, Rechengerät Z11 für geodätische Aufgaben, Diss. TH München, Veröffentlichungen der Deutschen Geodätischen Kommission C34. 1959; *H. Zemanek*, "Mailüfterl", ein dezimaler Volltransistor-Rechenautomat, *Elektrotechnik und Maschinenbau* 75. 1958, S. 453-463; *Zuse*, Über programmgesteuerte Rechengeräte, Anm. 58; *K. Zuse*, Der Programmator, *ZAMM* 32. 1952, S. 246; *K. Zuse*, Erfahrungen mit dem programmgesteuerten Rechengerät Z5, in: *L. Biermann*, (Hg.), *Vorträge über Rechenanlagen*, gehalten in Göttingen 19.-21. März 1953, im Auftrag der Kommission Rechenanlagen der DFG, Göttingen 1953, S. 42-46.