



Title: Funktions- und Konstruktionsprinzipien der
Programmgesteuerten mechanischen
Rechenmaschine "Z1"
Author(s): Ursula Schweier, Dietmar Saupe
Date: 1988
Published by: Konrad Zuse Internet Archive
Source: Essay - ZIA ID: 0681

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.

Arbeitspapiere der GMD 321

Ursula Schweier
Dietmar Saupe

Funktions- und Konstruktionsprinzipien
der Programmgesteuerten mechanischen
Rechenmaschine „Z1“

August 1988

Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH

Inhaltsverzeichnis

5.2	Die programmgesteuerten Rechenmaschinen von Konrad Zuse . . .	4
6	Zur Person Konrad Zuse^[28]	5
7	Theoretische Vorbetrachtungen zur Rechenmaschine Z1	12
7.1	Mathematische Grundlagen	12
7.1.1	Das duale Zahlensystem	12
7.1.2	Die halblogarithmische Schreibweise	14
7.1.3	Die Grundrechenarten im Dualsystem	16
7.1.4	Die logischen Grundoperationen	18
7.2	Die mechanische Schaltgliedtechnik	19
7.2.1	Das einfache Schaltglied	19
7.2.2	Das Verteiler-Schaltglied	20
7.2.3	Das Speicher-Schaltglied	21
7.2.4	Die mechanische Konjunktion	22
7.2.5	Die mechanische Disvalenz	23
8	Funktionsbeschreibung der Baugruppen aus dem Speicherwerk der Z1	23
8.1	Der elektromechanische Antrieb	27
8.2	Der Impulsgeber des Speicherwerks	28
8.3	Konstruktionsprinzipien der mechanischen Schaltgliedtechnik . . .	29
8.3.1	Aufbau der Schaltschichten	30
8.3.2	Bewegungs- und Impulsübertragungshebel	31
8.3.3	Fixierung der Funktionsblöcke auf dem Rahmen	32
8.4	Die Programmsteuerung der Z1	33
8.4.1	Der Programmstreifenlocher	34
8.4.2	Der Lochstreifenleser	36
8.5	Das Planwerk (Block 11 b)	40
8.6	Das Wählwerk (Block 11a)	44

8.7	Die Speichersteuerung (Blöcke 12a, 12b, 12c)	47
8.8	Die Speicherblöcke (10a, 10b und 10c)	49
9	Hinweise zur Montage der Baugruppen	51

ab Seite 30 im Original

Nicht die Difference Engine, sondern der Entwurf für die Analytical Engine machten Babbage so bedeutend für die Geschichte des Computers. 1833 begann er mit dem Entwurf, den sein Sohn nach seinem Tod weiterführte (Bild 31).

Abbildung 31: Additions- und Druckwerk der Analytical Engine

Das Konzept der Maschine enthielt erstaunlicherweise bereits alle wesentlichen Elemente eines modernen Computers (Bild 32).

Abbildung 32: Schematische Darstellung der Funktionsblöcke der Analytical Engine

Für das Rechnen sah Babbage dekadische Zählräder, die er bereits in der Difference Engine verwendete, vor. Die Programmsteuerung sollte über Lochstreifen erfolgen. Der Versuch, zu seinen theoretischen Überlegungen ein Modell anzufertigen, scheiterte jedoch. Trotz 30jähriger Arbeit und der Investition großer Geldsummen wurde es nie funktionsfähig fertiggestellt. Dies lag jedoch nicht an Babbages Konzept sondern im wesentlichen an den mangelhaften fertigungstechnischen Möglichkeiten, die ihm zur Herstellung der Zahnräder und Zahnstangen zur Verfügung standen. Die sehr viel einfacheren Verfahren der Elektrotechnik und Elektronik waren damals noch nicht bekannt. Ein späterer Nachbau der Analytical Engine zeigte, daß die Maschine in allen Teilen funktionsfähig war.^[27]

5.2 Die programmgesteuerten Rechenmaschinen von Konrad Zuse

Während der Gedanke des englischen Mathematikers Charles Babbage zum Bau einer digitalen Rechenmaschine fast völlig in Vergessenheit geraten war, entstand etwa ein Jahrhundert später erneut die Idee des programmgesteuerten Rechenautomaten. In Deutschland entwickelte Konrad Zuse ohne Kenntnis der Arbeiten Babbages das Versuchsmodell Z1, welches auf rein mechanischer Basis arbeitete und in den Grundstrukturen dem Konzept Babbages entsprach. Es kamen jedoch einige Neuerungen hinzu, die einen wesentlichen Beitrag zu der gesamten späteren Entwicklung von Rechenmaschinen leisteten:

- Rechnen im dualen Zahlensystem mit gleitendem Komma

- Verwendung bistabiler Schaltelemente
- Rechnen mit Hilfe der logischen Grundoperationen UND, ODER und NEGATION

Das Versuchsmodell Z1 zeigte bereits damals die Funktionstüchtigkeit des Konzeptes. Aufgrund fertigungstechnischer Mängel erfolgte jedoch nie ein Einsatz im Routinebetrieb. Das mechanische Speicherwerk wurde in den Folgemodellen Z2 und Z4, kombiniert mit Relais-Rechenwerken, weiterverwendet. 1941 stellte Konrad Zuse den ersten offiziell anerkannten programmgesteuerten Rechenautomaten der Welt fertig, die Z3. Was das Leben und Wirken Konrad Zuses sowie die Funktionsweise seiner mechanischen Rechenmaschine Z1 angeht, sei auf die nun folgenden Kapitel verwiesen.

6 Zur Person Konrad Zuse^[28]

Am 22.06.1910 wurde Konrad Zuse als Sohn des Emil Zuse und dessen Frau Maria in Berlin geboren. Seine Kindheit verbrachte er in Braunsberg, einer ostpreussischen Kleinstadt. Nachdem er eine dreijährige Vorschule absolviert hatte wurde er dann, wie damals noch möglich, im Alter von neun Jahren ins Gymnasium aufgenommen. Zunächst besuchte er das humanistische Gymnasium Hosianum, an dem auch der berühmte Mathematiker Weierstraß unterrichtete. In der Obertertia wechselte er wegen eines Umzugs auf ein modernes Reform-Realgymnasium in Hoyerswerda. Der dort herrschende freiheitliche Geist kam der schöpferischen Natur des damaligen Schülers sehr entgegen. Bereits zu dieser Zeit zeigte sich ein ausgeprägtes Interesse an allem Technischen und Konstruktiven. Dies reichte vom Umbau alter Fahrräder bis zur umfangreichen Krankonstruktion aus dem Stabilbaukasten, welchen Zuse als sein „ein und alles“ in dieser Zeit beschreibt (Bild 33). Auch das künstlerische Talent auf dem Gebiet des Malens und Zeichnens, das sich ebenfalls schon in der Schulzeit regte, soll nicht unerwähnt bleiben. Es handelte sich zunächst vorwiegend um Karikaturen. Die späteren Werke sind hingegen zumeist expressionistisch.

Abbildung 33: Krankonstruktion im Zimmer des Schülers Konrad Zuse in den Jahren 1926/27

Eine weitere bemerkenswerte Arbeit aus der Schulzeit stellt der Entwurf der Millionenstadt Metropolis dar; ein zentrales Straßensystem löst sich im Zentrum in ein homogenes 60°-System auf (Bild 34). Eine Konzeption, die bereits Fähigkeiten zum komplexeren technischen Denken erahnen ließ.

Abbildung 34: Das zentrale Straßensystem Metropolis, eine Schülerarbeit Konrad Zuses

Nach dem Abschluß des Abiturs im Jahre 1927 begann nun für Konrad Zuse das Studium im Fach Maschinenbau an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg. Dieser Neubeginn war nicht ohne Komplikationen, da er mit bis dahin ungewohntem Formalismus verbunden war, wie Konrad Zuse in seinen Memoiren schildert.^[29] Der Studienbeginn brachte auch den Umzug nach Berlin mit sich. Nach kurzer Zeit entschloß sich der junge Student wegen Mangels an Freiheit für den schöpferischen Geist und der Einengung durch die alles regelnden Normen zum Wechsel des Studienfachs. Die Architektur sollte den Wunsch nach Entfaltung der persönlichen Vorstellungen erfüllen. Aber auch hier sah Zuse seine Interessen nicht getroffen. Er wechselte abermals, diesmal zum Fachbereich für Bauingenieurwesen, einer für ihn idealen Kombination aus Ingenieurwissenschaft und Kunst. Dieser Schritt sollte sich später als sehr bedeutend für die Entwicklung des Computers herausstellen. Eigentlicher Anlaß waren die umfangreichen, ernüchternden Zahlenrechnungen aus der Statik, die Zuse zunächst durch vorgefertigte Formulare zu systematisieren versuchte.

Weitere Überlegungen führten dann über verschiedene gedankliche Zwischenstufen zu dem Ursprung dessen, was wir heute den Computer nennen, der Z1 und ihren Folgemodellen.

Bevor der Weg dorthin und die darauf aufbauenden Entwicklungen detaillierter beschrieben werden, sei der Vollständigkeit halber noch erwähnt, daß der damals etwa zwanzigjährige Student auch auf anderen Gebieten bemerkenswerte Überlegungen anstellte, die ihrer Zeit weit voraus waren. Sehr ausgiebig widmete er sich beispielsweise der Fotografie sowie der automatischen Bildentwicklung. Ein weiteres Interesse galt der optimalen Gestaltung des Zuschauerraumes in einem Kino bezüglich Bildqualität und Sehgröße. Diese Gedanken führten zu der Studienarbeit „Elliptisches Kino“, die eine Sitzplatzverteilung so vorsah, daß an jeder Stelle des Zuschauerraumes die gleiche Sehqualität gewährleistet war. Ebenfalls im Vorfeld des Computers entstand ein, von dem damaligen Studenten entworfener Warenautomat mit Geldrückgabe. Das Gerät war imstande, eine vorher gewählte Ware beliebiger Art und Menge nach Einwurf eines Geldbetrages auszugeben, die eingegebenen Geldstücke im Wert zu addieren, die Differenz zum Kaufpreis zu bilden und den eventuellen Restbetrag ausbezahlen (Bild 35).

Neben dem technischen Bereich zeigte sich auch ein politisches und wirtschaftliches Interesse, wie dem bereits erwähnten Buch Konrad Zuses zu entnehmen ist. Hier findet sich zudem eine Schilderung des damals recht lebhaften Studentenlebens. Er selbst gehörte dem akademischen Verein „Motiv“ an, in dem er sich

Abbildung 35: Warenautomat mit automatischer Geldrückgabe, eine Studienarbeit Konrad Zuses

unter anderem auch als talentierter Laienschauspieler profilierte.

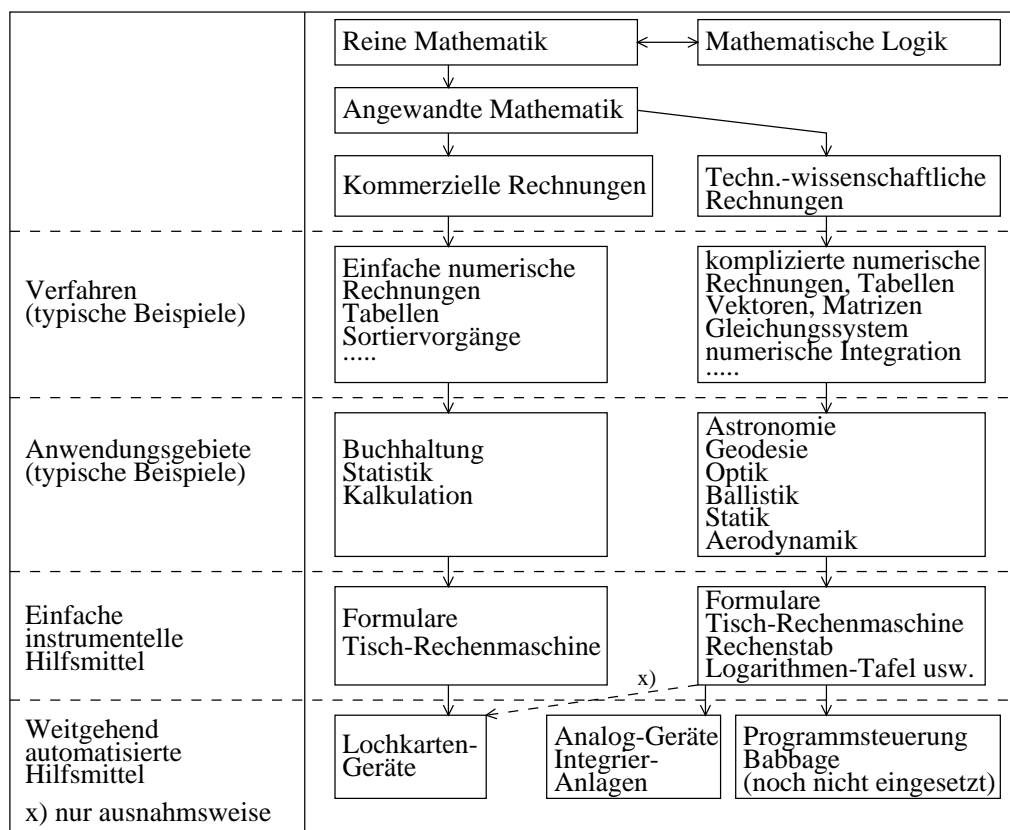
Doch nun zurück zur Entwicklung des Computers. Die ersten Überlegungen zu diesem Thema, so berichtet der Erfinder selbst, fallen in das Jahr 1933. Ein Umstand, der, wenn man die damalige politische Lage in Betracht zieht, sicherlich mit dafür verantwortlich ist, daß der damals so zukunftsweisenden Erfindung lange Zeit nicht die ihr gebührende Beachtung geschenkt wurde. Dies gilt sowohl national als auch international.

Nach erfolgreichem Abschluß des Studiums erfolgte im Jahre 1935 eine kurze Zeit der Berufstätigkeit als Statiker bei den Henschel Flugzeugwerken. Dieser Arbeitsplatz wurde jedoch sehr bald gegen das elterliche Wohnzimmer eingetauscht, das in Zukunft als Erfinderwerkstatt dienen sollte. Mit finanzieller und praktischer Hilfe der Eltern und vieler Freunde konnte die Arbeit begonnen werden. Bemerkenswert ist, daß Konrad Zuse bis dahin weder etwas von Rechenmaschinen noch von seinem berühmten Vorläufer Charles Babbage gehört hatte. Tafel 5 zeigt den damals aktuellen Stand der Rechentechnik und deren Anwendungsgebiete aus späterer Sicht Konrad Zuses.

Zuses Konzept sah zunächst eine rein mechanische Lösung vor. Dies bedeutete hundertfaches Sägen und Feilen an den verschiedensten Blechen, deren Baumaterial zum Teil aus Altmetall bestand. Zunächst entstand das Speicherwerk für 64 Worte zu je 24 Bit, welches bereits im binären Zahlensystem arbeitete. Eine mechanische Schaltzelle konnte zwei diskrete Zustände (0 oder 1) annehmen. Nach dem gleichen Prinzip wurde später auch das gesamte Rechenwerk konstruiert. Die gesamte Anlage Z1 war für die Operationen Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division sowie das Umsetzen vom Dual- in das Dezimalsystem und umgekehrt konzipiert. Die Maschine arbeitete mit Zahlen in Gleitkomma-Darstellung und wurde über einen Rechenplan gesteuert, der mittels eines Lochstreifens eingegeben wurde. Aufgrund der schlechten fertigungstechnischen Möglichkeiten, die kein ausreichend präzises Arbeiten der Schaltglieder erlaubten, konnte die Z1 (Bild 36) nie im Routinebetrieb eingesetzt werden.

Abbildung 36: Das im Aufbau befindliche Original der Z1 (1936)

So entstand das Modell Z2, welches eine Kombination aus einem Relais-Rechenwerk und dem bewährten mechanischen Speicherwerk darstellte. Im Jahre 1939 wurde



Tafel 5 Der Stand der Rechentechnik und deren Anwendungsgebiete um 1933

sie in den wesentlichen Teilen fertiggestellt.

Inzwischen wurde Konrad Zuse zum Wehrdienst einberufen und mußte daher seine Arbeit zwangsweise unterbrechen. Nach halbjährigem Dienst als Soldat wurde er vom Militär freigestellt und abermals bei den Henschel Flugzeugwerken eingesetzt. Neben dieser Tätigkeit beendete er den Bau der Z2 und stellte sie der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) vor. Der Erfolg war eine Teilfinanzierung der bereits im Bau befindlichen Z3. Sie wurde 1941 als erster programmgesteuerter Rechenautomat der Welt voll funktionsfähig fertiggestellt und wies folgende Eigenschaften und Kenndaten auf:

- elektromagnetische Relaistechnik
- 600 Relais im Rechenwerk und 1400 im Speicherwerk
- binäres Zahlensystem und gleitendes Komma
- Wortlänge 22 Bit; Speicherkapazität 64 Worte
- Steuerung über 8-Kanal-Lochstreifen
- Eingabe über Spezialtastatur, bei der die Lage des Kommas relativ zu vier Dezimalziffern eingegeben werden konnte
- Ausgabe durch Anzeige der Resultate auf Lampenstreifen, einschließlich der Lage des Kommas
- Geschwindigkeit etwa 3 Sekunden je Multiplikation, Division bzw. Quadratwurzelziehen

Die zukunftsweisende Bedeutung der Z3 wurde damals bedauerlicherweise nicht erkannt; vielmehr wurde dieser Computer als Spielerei Zuses und seiner Freunde angesehen.

Mitten im 2. Weltkrieg gelang es Zuse, die Firma „Zuse Ingenieurbüro und Apparatebau, Berlin“ aufzubauen. Trotz vieler kriegsbedingter Schwierigkeiten nahm die Entwicklung dieses Unternehmens einen beachtlich guten Verlauf. 1942 begannen die Arbeiten an der Z4, einem Nachfolgemodell der im Krieg stark beschädigten Z3 (Bild 37).

Abbildung 37: Konrad Zuse Ende der vierziger Jahre an seiner Z4

Ogleich es sich bei dem Ingenieurbüro Konrad Zuses um den einzigen Betrieb in Deutschland handelte, in dem zu dieser Zeit programmgesteuerte Rechengeräte

entwickelt wurden, bestand schon ein beträchtlicher Vorsprung gegenüber den USA. Hierin hätte wohl ein enormer wirtschaftlicher Nutzen liegen können, wären die Dinge damals richtig erkannt und eingesetzt worden.

1945 wurde das Modell Z4 fertiggestellt und zum Schutz vor den zerstörerischen Einflüssen des Krieges auf abenteuerlichen Wegen nach Hinterstein im Allgäu gebracht, wogegen die Vorläufer Z1, Z2 und Z3 im Schutt begraben wurden.

Kriegs- und Nachkriegsjahre ließen Zuse wenig Zeit zur wissenschaftlichen Arbeit, auch die angestrebte Promotion unterblieb. Später, als ihm wieder genügend Zeit zur Verfügung stand, entwarf er den Plankalkül, Grundzüge einer formalen höheren Programmiersprache, die sich jedoch gegen die späteren amerikanischen Konkurrenten COBOL, ALGOL und FORTRAN im praktischen Einsatz nicht durchsetzen konnte. Noch während der Kriegsjahre strebte Zuse die Patentierung einiger seiner Entwicklungen an. Unter anderem auch im Jahre 1941 für die Z3. Dies wurde vom Bundespatentgericht nach langjährigem Verfahren 1967 abschlägig beschieden. Als Begründung wurde ein Mangel an „Erfindungshöhe“ vorgelegt. Diese Entscheidung wurde gewiß auch durch die damals herrschende Unsicherheit in der Frage, wessen Gerät als der erste Computer anzusehen ist, beeinflusst. Zuses Z3, oder die von dem amerikanischen Professor Howard H. Aiken gebaute MARK 1 (Bild 38).

Abbildung 38: Die programmgesteuerte Rechenmaschine MARK 1

Heute gilt es als sicher, daß die Rechenmaschine Z3 etwa drei Jahre vor dem Konkurrenten MARK 1 fertiggestellt war, ein Umstand der in vielen Veröffentlichungen falsch dargestellt wird.

In einem Brief Howard Aikens an Konrad Zuse aus dem Jahr 1962 kommt zum Ausdruck, daß Aiken nicht auf der Anerkennung seiner Person als Erfinder des ersten Computers besteht (Bild 39).

Abbildung 39: Brief Howard H. Aikens an Konrad Zuse aus dem Jahre 1962

Zurück zu dem chronologischen Ablauf der damaligen Geschehnisse. 1947 erfolgte die Gründung des „Zuse Ingenieurbüro, Hopferau bei Füssen“ (Bild 40). In dieser Zeit bahnten sich die ersten Auslandskontakte an. Die Z4 gelangte 1949 an die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und arbeitete dort so zuverlässig, daß man sie auch nachts unbeaufsichtigt durchlaufen ließ. Als letzter großer Relaisrechner ist die Z5 bekannt. Sie wurde, wie auch zahlreiche Folgemodelle, in der optischen Industrie verwendet.^[30]

Abbildung 40: Der Rechner Z4 in der Werkstatt in Hopferau bei Füssen

Inzwischen ermöglichte die damals gute Auftragslage den Ausbau der Firma zur Zuse KG und den damit verbundenen Umzug nach Neukirchen im Kreis Hünfeld in Hessen. Auch hier fand ein ständiges Wachstum statt, so daß schon bald ein weiterer Umzug, diesmal nach Bad Hersfeld, nötig wurde. 1956 begann die Serienproduktion des elektronischen Rechners Z22. Bald folgte die Transistortechnik. Eine weitere bemerkenswerte Entwicklung stellte das Gerät Z64 dar, ein automatischer Zeichentisch, der seiner Zeit weit voraus war. Mit zunehmender Weiterentwicklung der Computer wurde der hohe Aufwand bei der Programmerstellung jedoch zu einem erheblichen Problem. Dieser Umstand war neben wirtschaftlichen Schwierigkeiten verantwortlich für das Ausscheiden Konrad Zuses aus der Firma. Nachdem er zunächst nach der Kapitalübernahme durch die BBC als Komplementär und Berater erhalten blieb, zog er sich im Jahre 1962 vollends zurück.

Später ging das Unternehmen vollständig in den Besitz der Firma Siemens über. Die nun folgende Zeit nutzte Konrad Zuse zur Wiederaufnahme wissenschaftlicher Arbeit. Dies betraf zunächst die Überarbeitung der Programmiersprache Plankalkül, die sich jedoch, wie bereits erwähnt, trotz Anerkennung in Fachkreisen nicht für die Praxis durchsetzen konnte.

Eine weitere Überlegung galt der Idee des „Rechnenden Raums“. Zu diesem Thema führte Zuse gegen Ende der siebziger Jahre, gefördert durch die Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung (GMD), Arbeiten an der Technischen Universität Braunschweig durch. Weiterhin beschäftigte sich Konrad Zuse mit der Automatisierung technischer Abläufe. Er erhielt seitens des Ministeriums für Forschung und Technologie den Auftrag zur Erstellung einer Durchführbarkeitsstudie für das von ihm erdachte „Sich selbst reproduzierende System“. Doch auch hier blieben seine Gedanken im wesentlichen nur auf dem Papier, da sich nicht das erhoffte Interesse in Forschung und Industrie fand.

In den nun folgenden Jahren erhielt Konrad Zuse, zwar recht spät, aber dennoch die ihm gebührenden Ehrungen für seine Erfindung, den programmgesteuerten Rechenautomaten. Hier sei die Verleihung des Dr. Ing. E.h. der Technischen Universität Berlin im Jahre 1956, sowie die Verleihung des Dr. Ing. E. h.c. der Universitäten Hamburg und Dresden in den Jahren 1979 und 1981 erwähnt. Auch im Ausland wurde ihm in Anerkennung seiner Leistungen im Jahre 1986 die Ehrendoktorwürde der Hochschule Islands in Reykjavik verliehen. Eine der bedeutendsten Auszeichnungen stellte die Verleihung des Werner-von-Siemens-Ringes dar. Bemerkenswert scheint eine Aussage Konrad Zuses, seine Ehrungen betreffend, die im folgenden zitiert ist:

„Es liegt in der Natur solcher Ehrungen, daß sie den Leistungen der Vergangenheit gelten. Ich selber würde es als die größte Ehrung ansehen, wenn man auch meinen heutigen Ideen Aufmerksamkeit schenkte und man mir bei ihrer Realisierung hülfe.“ ^[31]

Eine neue Aufgabe hat der heute 78jährige in der Rekonstruktion seiner ersten Rechenmaschine, der Z1 gefunden. Diese Arbeit wurde 1986 begonnen. Mit der Unterstützung der deutschen informationstechnischen Industrie setzt Konrad Zuse all seine geistige und physische Kraft zur Realisierung dieses Projektes ein, das zum offiziellen 50. Geburtstag des Computers 1988 fertiggestellt werden soll (Bild 41).

Abbildung 41: Konrad Zuse bei den Rekonstruktionsarbeiten an der Z1 (1988)

Anliegen der Verfasser ist es, daß die erfolgreichen Rekonstruktionsarbeiten und die hier vorliegende Arbeit zum stärkeren öffentlichen Bewußtsein für die Pionierleistungen Konrad Zuses auf dem Gebiet der Rechnertechnik beitragen.

7 Theoretische Vorbetrachtungen zur Rechenmaschine Z1

Bevor auf die Konstruktionsprinzipien der Z1 eingegangen wird, sollen noch einige Vorbetrachtungen angestellt werden. So beispielsweise, warum die Maschine im Dualsystem und in Gleitkomma-Arithmetik rechnet. Aber auch, wie die logischen Verknüpfungen als mechanische Schaltglieder realisiert werden. An dieser Stelle sei auch darauf hingewiesen, daß die Binärziffer „Eins“ im folgenden stets als „L“ dargestellt wird, um Verwechslungen mit der dekadischen „1“ zu vermeiden.

7.1 Mathematische Grundlagen

7.1.1 Das duale Zahlensystem

Wie bereits in Kapitel 3.4 erwähnt, schuf Gottfried Wilhelm von Leibniz 1679 das duale Zahlensystem. Es geriet jedoch bei den Rechenmaschinenfindern und -herstellern in Vergessenheit, und selbst Charles Babbage, der schon an programmgesteuerten Rechenmaschinen arbeitete, blieb dem dekadischen Zahlensystem treu. Konrad Zuse hielt das Zehnersystem für ungeeignet, da mit ihm folglich auch zehnwertige Schaltelemente verbunden waren. Er entschied sich daher für

Zahlenbeispiel: $367=10^2 \cdot 3,67$	(Zehnersystem)
$L0LL0LLLL=L0^{L000} \cdot L,0LL0LLLL$	(Binärsystem)

Tafel 6: Potenzdarstellung der Zahl 367 im dekadischen und binären Zahlensystem

das Dualsystem mit den beiden Binärziffern „0“ und „L“. Jetzt brauchten nur noch zweiwertige Schaltelemente verwendet zu werden, mit den Zuständen „Ja“, „Nein“ bzw. „Ein“ und „Aus“. Dies stellte sich für die Konstruktion der Rechenmaschinen, wie wir heute wissen, als großer Vorteil heraus. Da die Zahlenein- und ausgabe jedoch in dem für uns leicht verständlichen Zehnersystem erfolgen sollte, wurde ein Übersetzen vom Dezimal- ins Dualsystem und umgekehrt notwendig. Die daraus resultierende Übersetzungszeit war gegenüber der Rechenzeit jedoch verschwindend gering, da durch die Programmsteuerung umfangreiche Rechnungen möglich wurden. Eine Tatsache, die Konrad Zuse in seinen theoretischen Überlegungen vorwegnahm. Wie sich Dualzahlen gegenüber dem Zehnersystem darstellen, ist Tafel 4 (Kapitel 3.4, S. 19 im Original) zu entnehmen. Um die Problematik der hohen Stellenzahlen im Binärsystem zu verdeutlichen, seien hier zwei Zahlenbeispiele angeführt.

Die Zahlen 0,000321 und 310000 des Zehnersystems stellen sich im Binärsystem wie folgt dar:

$$\begin{aligned} 0.000321 &= 0,000000000000L0L0L0000L.... \\ 310000 &= L00L0LLL0L0LLLL0000,00000 \end{aligned}$$

Diese extrem unterschiedlich großen Zahlen, wie sie in den Naturwissenschaften sehr häufig vorkommen, haben im Binärsystem einen Stellenunterschied von 40 Stellen (2^{18} bis 2^{-21}), wobei man für die exakte Darstellung der Zahl 0,000321 in den Binärstellen sogar noch tiefer als 2^{-21} absteigen müßte. Dieser große Stellenunterschied, dem im Zehnersystem nur 12 Stellen (10^6 bis 10^{-6}) entsprechen würden, veranlaßte Konrad Zuse zu einer anderen Darstellung von Zahlen. Es boten sich Geräte an, in denen jede Zahl durch ihren Logarithmus dargestellt wurde. Diese Zahlen dann zu addieren, stieß jedoch auf große Schwierigkeiten. Konrad Zuse übernahm aus der Mathematik die Potenzdarstellung im Zehnersystem (Tafel 6), und wandte diese auf das Binärsystem an. ER nannte diese Schreibweise: „die halblogarithmische Darstellung“. Heute wird diese Art der Zahlenschreibweise als „Gleitkomma-Arithmetik“ bezeichnet.

Der Umgang mit Zahlen in halblogarithmischer Darstellung wird im nun folgenden Kapitel ausführlich dargestellt.

7.1.2 Die halblogarithmische Schreibweise

In der halblogarithmischen Schreibweise wird eine Zahl y folgendermaßen dargestellt:

$$y = B^a \cdot b$$

B – Basis
 a – Exponent (ganzzahlig)
 b – Mantisse mit der Bedingung: $1 \leq b < B$

Hier zunächst einige Zahlenbeispiele für das Zehnersystem, d.h. $B = 10$:

$$\begin{aligned} y = 43 &\rightarrow 43 = 10^1 \cdot 4,3 & a = 1 & b = 4,3 \\ y = 389,17 &\rightarrow 389,17 = 10^2 \cdot 3,8917 & a = 2 & b = 3,8917 \\ y = 0,0385 &\rightarrow 0,0385 = 10^{-2} \cdot 3,85 & a = -2 & b = 3,85 \end{aligned}$$

Es wird deutlich, daß es sich bei dieser Schreibweise nur um ein Verschieben des Kommas und ein analoges Verändern des Exponenten handelt. Auch daß die Mantisse sich zwischen 1 und der Basis 10 bewegt, ist gut zu erkennen. Für das Binärsystem sieht die Bedingung der Mantisse wie folgt aus:

$$1 \leq b < 2 \quad \text{bzw.} \quad L \leq b < L0$$

Auch hier einige Zahlenbeispiele:

$$\begin{aligned} y = LLL0L &\rightarrow LLL0L = L0 \cdot L,LL0L^{L00} & a = L00 & b = L,LL0L \\ y = 0,LL0L0LL &\rightarrow 0,LL0L0LL = L0^{-L} \cdot L,L0L0LL & a = -L & b = L,L0L0LL \\ y = 0,00LL0LLLL &\rightarrow 0,00LL0LLLL = L0^{-LL} \cdot L,L0LLLL & a = -LL & b = L,L0LLLL \end{aligned}$$

Die Z1 rechnet und speichert Zahlen in der dargestellten Form. Da die Mantisse mehr Stellen benötigt als der ganzzahlige Exponent, wird diese in den Speicherblöcken 10 b und 10 c abgespeichert (16 Stellen). Weil die Mantisse stets größer oder gleich Eins ist aber kleiner als Zwei ist, wird nur die Zahl hinter dem Komma gespeichert, und vor jeder Ausgabe wird die Eins im Rechenwerk wieder hinzugegeben. Der Exponent ist in Block 10a abgelegt (8 Stellen), wobei die höchste Stelle (2^7) für das Vorzeichen der Mantisse und somit für die gesamte Zahl y bestimmt ist. Für das Vorzeichen gilt folgende Notation: 0 für „+“ und L für „–“. Demzufolge verbleiben für den Exponenten, der in Komplementdarstellung abgespeichert wird, 7 Stellen ($2^0 \dots 2^6$).

Die Zahl 772552 z.B. wird dann in einer der 64 Zellen, wie in Tafel 7 gezeigt, abgespeichert.

Grundsätzlich lassen sich beliebige Kodierungen im Speicherwerk abspeichern, so z.B. Wörter oder andere verschlüsselte Angaben. Voraussetzung ist natürlich, daß die Verschlüsselung binär erfolgt. Im Zusammenhang mit der Zahlendarstellung ist noch auf die Besonderheit der Stelle 2^6 des Exponenten hinzuweisen. Weist diese Stelle eine 0 auf, so ist der dargestellte Exponent positiv und stellt sich direkt binär dar (nicht als Komplement).

Beispiel:

$$a = 26 \quad \begin{array}{c} 2^7 2^6 2^5 2^4 2^3 2^2 2^1 2^0 \\ \hline \boxed{0 \mid 0 \mid L \mid L \mid 0 \mid L \mid 0} \end{array}$$

Block 10 a	Block 10 b	Block 10 c
$2^7 \ 2^6 \ 2^5 \ 2^4 \ 2^3 \ 2^2 \ 2^1 \ 2^0$	$2^{-1} 2^{-2} 2^{-3} 2^{-4} \dots$	$\dots \quad 2^{-15} 2^{-16}$
0 0 0 L 0 0 L L	0 L L L L 0 0 L	0 0 L L L 0 0 L
↑		
Vorzeichen der Zahl y (hier +)		
Exponent:	$a = +00L00LL$	(19)
Nachkommastellen		
der Mantisse:	$b' = 0LLLL00L00LLL00L$	(0,473526001)
Unter Hinzunahme der Eins ergibt sich die Zahl y in halblogarithmischer Form:		
	$y = L0^{L00LL} \cdot L,0LLLL00L00LLL00L$	$(2^{19} \cdot 1,473526001)$
Das entspricht der Binärzahl L0LLLL00L00LLL00L000 (772552)		

Tafel 7 Die Zahlendarstellung von 772552 im Speicherwerk

Ist dort jedoch „L“ abgespeichert, so handelt es sich um einen negativen Exponenten. Um diesen zahlenmäßig zu entziffern, muß das Zweierkomplement gebildet werden (ausführlich in Kapitel 7.1.3.2 behandelt), wobei alle 7 Stellen mit einbezogen werden.

Beispiel:

$$a = -19 \quad \begin{array}{c} 2^7 2^6 2^5 2^4 2^3 2^2 2^1 2^0 \\ \hline 0 0 L L 0 L 0 L 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 00L00L0 \quad (\text{EK}) \\ + \quad L \\ \hline -L00LL \quad (\text{ZK}) \quad (-19) \end{array}$$

Der größte positive Exponent ist demzufolge:

$$\begin{array}{c} 2^7 2^6 2^5 2^4 2^3 2^2 2^1 2^0 \\ \hline 0 0 L L 0 L 0 L 0 \end{array} \quad (63)$$

↑

0, d.h., der Exponent ist positiv.

Es kann hier keinen größeren Exponenten als 63 geben, denn addiert man nur „L“ hinzu, so ergibt sich in der Stelle 2^6 eine „L“ und somit ein negativer Exponent in der Komplementdarstellung:

$$\begin{array}{r} 0LLLLLL \\ + \quad L \\ \hline L000000 \end{array} \quad (64)$$

↑

L, d.h., der Exponent ist negativ.

Der kleinste bzw. der größte negative Exponent lautet wie folgt:

$$\begin{array}{r}
 2^7 \ 2^6 \ 2^5 \ 2^4 \ 2^3 \ 2^2 \ 2^1 \ 2^0 \\
 \hline
 \boxed{\boxed{L}000000} \\
 \\
 \begin{array}{r}
 0 \ L \ L \ L \ L \ L \ L \\
 + \qquad \qquad \qquad L \\
 \hline
 L \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0
 \end{array}
 \end{array}
 \quad (-64)$$

Auch hier ist die Grenzzahl erreicht, denn -65 ergibt ein Vorrücken auf die Stelle 2^7 , die aber bereits als Vorzeichen der gesamten Zahl belegt ist.

Die größtmögliche in der Z1 zu speichernde Zahl beträgt somit:

$$\begin{array}{ll}
 \text{binär:} & y = L0^{00LLLL} \cdot L, LLLLLLLLLLLLLLLLL \\
 \text{dekadisch:} & y = 2^{63} \cdot 1,9999999999999999 \\
 & y = 1,845 \cdot 10^{19}
 \end{array}$$

Die kleinstmögliche in der Z1 zu speichernde Zahl beträgt:

$$\begin{array}{ll}
 \text{binär:} & y = L0^{LL000000} \cdot L, 0000000000000000 \\
 \text{dekadisch:} & y = 2^{-64} \cdot (-1) \\
 & y = -5421 \cdot 10^{-20}
 \end{array}$$

7.1.3 Die Grundrechenarten im Dualsystem

7.1.3.1 Die Addition

Rechenvorschrift:

$0 + 0 = 0$ $0 + L = L$ $L + 0 = L$ $L + L = 0$ mit Übertrag

Zahlenbeispiel: $13 + 15 = 28$

$$\begin{array}{r}
 LL0L \\
 + LLLL \\
 \hline
 LLL00
 \end{array}$$

7.1.3.2 Die Subtraktion

Rechenvorschrift:

$0 + 0 = 0$ $0 + L = L$ mit neg. Übertrag $L + 0 = L$ $L + L = 0$
--

Die Subtraktion wird auf eine Addition des Komplements vom Subtrahenden zurückgeführt. Dies stellt sich wie folgt dar:

Zahlenbeispiel: $13 - 8 = 5$

- | | |
|--|---|
| 1) $\begin{array}{r} LL0L \\ -L000 \\ \hline \end{array} \Rightarrow \text{EK: } 0LLL$
2) $\begin{array}{r} 0LLL \\ + \quad L \\ \hline L000 \end{array} \text{ — ZK}$
3) $\begin{array}{r} LL0L \\ +L000 \\ \hline L0L0L \\ L0L \text{ — Ergebnis} \end{array}$ | 1) Einerkomplement (EK) des Subtrahenden bilden
(aus 0 wird L und aus L wird 0)
2) Zweierkomplement bilden
(zum EK wird L hinzuaddiert)
3) ZK zum Minuend addieren
Ist der Übertrag L, so wird er gestrichen und
dahinter erscheint das Ergebnis, welches positiv ist.
3.1) Ist der Übertrag 0, so ist das Ergebnis negativ
und es muß das ZK gebildet werden, woraus
das richtige Ergebnis folgt. |
|--|---|

Ein weiteres Zahlenbeispiel zur Subtraktion (mit negativem Ergebnis):

$$14 - 19 = -5$$

$$\begin{array}{r} LLL0 \\ -L00LL \\ \hline ? \end{array} \Rightarrow \text{EK: } \begin{array}{r} 0LL00 \\ + \quad L \\ \hline 0LL0L \end{array}$$

$\begin{array}{r} 0LLL0 \\ +0LL0L \\ \hline LL0LL \end{array}$	Kein Übertrag, d.h. ein negatives Ergebnis liegt vor! Es muß das ZK gebildet werden.
--	---

	$\begin{array}{r} LL0LL \\ \text{EK: } 00L00 \\ + \quad L \\ \hline \text{ZK: } 00L0L \\ \text{Ergebnis: } -L0L \end{array}$
--	--

7.1.3.3 Die Multiplikation

Rechenvorschrift:

$0 \cdot 0 = 0$
$0 \cdot L = 0$
$L \cdot 0 = 0$
$L \cdot L = L$

Zahlenbeispiel: $12 \cdot 5 = 60$

$$\begin{array}{r} LL00 \cdot L0L \\ \hline LL00 \\ 0000 \\ +LL00 \\ \hline LLLL00 \end{array}$$

7.1.3.4 Die Division

Rechenvorschrift:

$0 : 0 = \text{nicht definiert}$
 $0 : L = 0$
 $L : 0 = \text{nicht definiert}$
 $L : L = L$

Zahlenbeispiel: $610 : 5 = 122$

$L\ 00LL\ 000L0 : L0L = LLLL0L0$

$$\begin{array}{r}
 -L0L \\
 \hline
 L00L \\
 -L0L \\
 \hline
 L000 \\
 -L0L \\
 \hline
 LL0 \\
 -L0L \\
 \hline
 L0L \\
 -L0L \\
 \hline
 0
 \end{array}$$

7.1.4 Die logischen Grundoperationen

In der Z1 werden folgende logische Verknüpfungen verwendet, deren mechanische Realisierung in Kapitel 7.2 ausführlich dargestellt ist.

1. Konjunktion $A \wedge B$
 Gesprochen: „A und B“
 $A \wedge B$ ist dann und nur dann positiv, wenn A und B positiv sind.
2. Disjunktion $A \vee B$
 Gesprochen: „A oder B“
 $A \vee B$ ist dann und nur dann positiv, wenn wenigstens eine der beiden Aussagen A oder B positiv ist.
3. Negation \overline{A}
 Gesprochen: „A nicht“
 \overline{A} ist dann und nur dann positiv, wenn A negativ ist.
4. Äquivalenz $A \sim B$
 Gesprochen: „A äquivalent B“
 $A \sim B$ ist dann und nur dann positiv, wenn A denselben Wert hat wie B .
5. Disvalenz $A \approx B$
 Gesprochen: „A disvalent B“
 $A \approx B$ ist dann und nur dann positiv, wenn der Wert von A entgegengesetzt dem Wert von B ist.

6. Implikation $A \rightarrow B$

Gesprochen: „wenn A , so B “

$A \rightarrow B$ ist dann und nur dann negativ, wenn A positiv und B negativ ist.

7.2 Die mechanische Schaltgliedtechnik

Wie bereits erwähnt, werden in der programmgesteuerten Rechenmaschine Z1 alle logischen Ausdrücke durch mechanische Schaltglieder verwirklicht. Der prinzipielle Aufbau sieht grundsätzlich eine Kombination aus Festblech (Maske), Steuerblech, bewegendem Blech (aktives Blech) und bewegtem Blech (passives Blech) vor. In definierten Ausschnitten der Bleche sitzt ein meist zylindrisch geformter Schaltstift, der sich je nach Stellung des steuernden Bleches und der Form der Ausschnitte in den übrigen Blechen verschieben läßt. Bei dieser Bewegung nimmt der Schaltstift das bewegte Blech mit und bringt dieses aus seiner „0“-Stellung in die Stellung „L“ oder umgekehrt. Der Schaltstift liegt auf einem Grundblech auf und läßt sich nur in horizontaler Richtung bewegen. Es kommen folgende drei Grundtypen von Schaltgliedern zur Anwendung:

- das einfache Schaltglied
- das Verteiler-Schaltglied
- das Speicher-Schaltglied

Aufbau und Funktionsweise der einzelnen Schaltgliedtypen sowie die mechanische Realisierung der grundlegenden Verknüpfungen Konjunktion, Disjunktion und Disvalenz sind nachfolgend beschrieben.

7.2.1 Das einfache Schaltglied

Das einfache Schaltglied ist in der Lage, zwei definierte Positionen einzunehmen. Es kann somit die binären Ziffern „0“ und „L“ darstellen. In Bild 42 ist der schichtförmige Aufbau dieses Schaltgliedes zu erkennen. Die abgebildeten Bleche können sich jeweils nur in *einer* horizontalen Achse bewegen und sind nicht drehbar gelagert. Dies gilt auch für die Bleche aller übrigen Schaltgliedtypen. Das gezeigte Schaltglied befindet sich in Schaltstellung, das heißt, das steuernde Blech hat den Schaltstift in eine Stellung gebracht, die es dem bewegenden Blech ermöglicht, bei einer Veränderung seiner Lage in negative x -Richtung das bewegte Blech mitzunehmen (Schaltstellung „L“). Eine Stellungsänderung des steuernden Bleches in positive y -Richtung hat eine Entkopplung des bewegenden und des bewegten Bleches zur Folge (Schaltstellung „0“).

Das Festblech dient zur Führung des Schaltstiftes und gibt gleichzeitig mit seinem Ausschnitt die Bewegungsmöglichkeiten des Schaltstiftes an. Bild 43 zeigt das Schaltsymbol für das einfache Schaltglied.

Abbildung 42: Darstellung des einfachen Schaltgliedes (die Abbildung ist in der Höhe verzerrt)

Abbildung 43: Schaltsymbol für das einfache Schaltglied

7.2.2 Das Verteiler-Schaltglied

Bild 44 zeigt die symbolische Darstellung des Verteiler-Schaltgliedes. Der mechanische Aufbau dieses Schaltgliedtyps ist in Bild 45 veranschaulicht. Die bewegenden Bleche geben in ihrer „0“-Stellung den gesamten Ausschnitt des Festbleches frei, so daß der Schaltstift jede beliebige Stellung innerhalb des quadratischen Feldes einnehmen kann. Im folgenden Takt kann das steuernde Blech eine Bewegung in x -Richtung durchführen. Befindet es sich in seiner linken Stellung, wie in Bild 45 dargestellt, so wird der Schaltstift im darauffolgenden Takt durch die Schaltkante des bewegenden Bleches (1) in negative y -Richtung verschoben. Befindet sich das steuernde Blech in rechter Stellung, so erfolgt eine Verschiebung des Schaltstiftes in positive y -Richtung, ausgelöst durch die Schaltkante des bewegenden Bleches (2). Der Schaltstift nimmt bei seinen oben beschriebenen Bewegungen das bewegte Blech in die jeweilige Richtung mit. Das Verteiler-Schaltglied findet folgende Anwendungen:

- Umlenkung eines Schaltimpulses
- Taktverzögerung eines Schaltimpulses
- Verteilen eines Schaltimpulses auf verschiedene Schaltglieder

Abbildung 44: Schaltsymbol für das Verteiler-Schaltglied

Abbildung 45: Explosionsdarstellung des Verteiler-Schaltgliedes (die Abbildung ist in der Höhe verzerrt)

7.2.3 Das Speicher-Schaltglied

Bild 46 zeigt vier einzelne Speicher-Schaltglieder in einer Explosionszeichnung. Die Anordnung der einzelnen Schaltbleche ist in der höhenverzerrten Zeichnung gut zu erkennen. Jede Zelle dient der Aufnahme eines Ja-Nein-Wertes, das heißt eines Bits. Die symbolische Darstellung einer Speicherzelle ist in Bild 47 gezeigt.

Abbildung 46: Höhenverzerrte Explosionsdarstellung von vier Speicher-Schaltgliedern

Abbildung 47: Schaltsymbol der Speicherzelle

Die Bewegungsabläufe während des Speichervorgangs sind Bild 48 zu entnehmen. Zur besseren Übersicht ist in dieser Abbildung das Festblech nur durch seine Schaltnase angedeutet. Die Steuerbleche werden bei einzuspeichernder Ziffer „0“ nach rechts und bei Ziffer „L“ nach links verschoben (a). Dann wird das Zellenblech nach oben verstellt (b). Daraufhin werden die Steuerbleche wieder zurück in ihre Grundstellung gebracht, so daß die Schaltnasen des Grundblechs und der steuernden Bleche einander genau gegenüber zu liegen kommen. Die Schaltstifte werden bei dieser Bewegung durch die Schaltnasen der Steuerbleche mitgenommen (c). Abschließend ist auch das Zellenblech wieder zurück in seine Grundstellung zu bringen (d). Steht der Schaltstift nach diesem gesamten Ablauf rechts neben der Schaltnase des Festbleches, so ist der Wert „L“ abgespeichert, befindet er sich links von der Schaltnase, so stellt dies den Wert „0“ dar.

Die einzelnen Phasen während des Lesevorgangs in einer Speicherzelle sind in Bild 49 veranschaulicht. Der Schaltstift befindet sich im oberen Schaltglied links (Ziffer „0“) und im unteren Schaltglied rechts (Ziffer „L“) neben der Schaltnase des Festblechs (a). Zunächst wird das Zellenblech wieder nach oben gezogen (b). Im folgenden Arbeitstakt führt es daraufhin eine sogenannte Lesebewegung durch, wobei es im abgebildeten Fall nach links verschoben wird. Bei gespeicherter Ziffer „L“ besteht über den Schaltstift eine Kopplung mit dem Steuerblech, welches beim Lesevorgang als bewegtes Blech dient. Bei eingespeicherter Ziffer

Abbildung 48: Darstellung der Bewegungsabläufe während des Speichervorgangs. Die Festbleche sind in den Abbildungen der besseren Übersicht halber durch ihre Schalt Nase angedeutet. ^[32]

„0“ wird sowohl der Schaltstift als auch das Steuerblech nicht von der Lesebewegung des Zellenblechs beeinflusst (c). Über Schaltglieder, die an die steuernden Bleche angeschlossen sind, werden die ausgeführten Bewegungen verarbeitet (hier nicht abgebildet). Im letzten Arbeitsschritt wird das Zellenblech zurück in seine Arbeitsstellung gebracht.

Abbildung 49: Darstellung der einzelnen Phasen während des Lesevorgangs in einer Speicherzelle. Die Grundbleche sind der besseren Übersicht halber nur durch ihre Schalt Nasen angedeutet. ^[33]

7.2.4 Die mechanische Konjunktion

Die konjunktive Verbindung zweier oder mehrerer einfacher Schaltglieder ist als symbolische Schaltung in Bild 50 dargestellt.

Abbildung 50: Symbolischer Schaltplan der konjunktiven Verknüpfung

Die mechanische Realisierung der in Bild 50 gezeigten Schaltung erfolgt über einfache Schaltglieder in Verbindung mit sogenannten „schwimmenden“ Blechen. Diese Bleche dienen dem impulsübertragenden Schaltglied als bewegtes Blech, dem daran konjunktiv angeschlossenen Schaltglied hingegen als bewegendes Blech. Die Anordnung der Schaltelemente ist Bild 51 zu entnehmen. Es sind hier drei Schaltglieder konjunktiv verbunden. Die steuernden Bleche befinden sich alle in „0“-Stellung. Eine Impulsübertragung von dem bewegenden Blech auf das bewegte Blech ist jedoch nur dann möglich, wenn alle drei Steuerbleche in „L“-Lage gebracht werden. Betrachten wir beispielsweise die Kombination „00L“ der Steuerbleche, so ist zu erkennen, daß das bewegende Blech in der Lage ist, seine Stellungsänderung auf das rechte schwimmende Blech zu übertragen. Dieses ist jedoch durch die „0“-Stellung des mittleren Schaltgliedes nicht mit dem links liegenden schwimmenden Blech gekoppelt und kann daher den Schaltimpuls nicht weiterleiten. Eine Schaltung des bewegten Bleches ist folglich nicht möglich.

Abbildung 51:

Abbildung 52:

(Zwei Seiten fehlen im Original.)

Abbildung 53: Schaltsymbol für die disjunktive Verknüpfung zweier Schaltglieder

7.2.5 Die mechanische Disvalenz

Die mechanische Disvalenz arbeitet ähnlich wie die Konjunktion mit Hilfe von sogenannten „schwimmenden Blechen“. Bild 54 zeigt die disvalente Verknüpfung zweier Schaltglieder in einer Explosionszeichnung. Das zugehörige Schaltsymbol ist in Bild 55 dargestellt. Das bewegte Blech soll dann und nur dann durch das bewegende Blech in seine „L“-Stellung befördert werden, wenn die beiden steuernden Bleche sich in entgegengesetzter Lage befinden. Um diese Bedingung zu erfüllen, sind zwei „schwimmende“ Bleche erforderlich. Die Lage der L-förmigen Ausschnitte in diesen Blechen sind gegeneinander gespiegelt. In Bild 54 befinden sich beide Steuerbleche in Mittelstellung. Wird das linke Steuerblech in seine „L“-Lage gebracht und das rechte Steuerblech in „0“-Lage, so erfolgt das Schalten des bewegten Bleches über das untere „schwimmende“ Blech. Es dient dem linken Schaltglied als bewegtes Blech, dem rechten hingegen als bewegendes Blech. Das obere schwimmende Blech gibt für diesen Fall in beiden Schaltgliedern den Schaltstift frei. Steht das linke Steuerblech auf „0“ und das rechte auf „L“, so erfolgt die Kopplung der beiden Schaltglieder über das obere „schwimmende“ Blech. Das untere „schwimmende“ Blech gibt beide Schaltstifte frei. In den Schaltstellungen „0,0“ und „L,L“ ist keine Impulsübertragung auf das bewegte Blech möglich.

8 Funktionsbeschreibung der Baugruppen aus dem Speicherwerk der Z1

Das mechanische Speicherwerk der Z1 baut sich aus folgenden Grundsegmenten auf:

Abbildung 54: Explosionsdarstellung der disvalenten Verknüpfung mechanischer Schaltglieder

Abbildung 55: Schaltsymbol der mechanischen Disvalenz

- mechanischer Antrieb
- Impulsgeber
- Programstreifenlocher
- Lochstreifenleser
- Planwerk (Block 11 b)
- Wählwerk (Block 11 a)
- Speicherblöcke (10 a, 10 b und 10 c)
- Speichersteuerung (Blöcke 12 a, 12 b und 12 c)

Die aufgeführten Blöcke werden von einem Stahlrahmen getragen, der auf Rollen gelagert ist. Das gesamte Speicherwerk steht auf Stahlschienen. Es kann somit leicht vom Rechenwerk getrennt und separat montiert und geprüft werden. Die einzelnen Funktionseinheiten sind so konzipiert, daß sie jederzeit getrennt abnehmbar sind. Bild 56 stellt die räumliche Anordnung der Segmente schematisch dar.

In der Vorderansicht des gesamten Speicherwerks (Bild 57 (a) und 57 (b)) ist der schichtförmige Aufbau der Anlage zu erkennen. Zwischen oberer und unterer Platte erfolgt die Impulsübertragung auf drei Niveaus (N1-N3). Über sogenannte Impulshebel findet die Übertragung der Bewegungen des Impulsgebers auf die verschiedenen Schaltschichten statt. Diese sind auf der oberen Platte aufgebaut und haben je nach Funktion etwa 3 – 9 mm Höhe pro Schicht.

Der Antrieb der Rechenmaschine erfolgt mittels eines 220 V-Wechselstrommotors mit 250 W. Über ein Getriebe ist dieser an den Impulsgeber gekoppelt. Die Verbindung ist so konstruiert, daß der Antrieb wahlweise manuell (Handkurbel) oder über den Motor erfolgen kann. Der Impulsgeber sorgt für die Zerlegung eines Arbeitsspiels (eine Umdrehung der Handkurbel) in vier Arbeitstakte (= Arbeitsschritte). Je nach Art und Reihenfolge der auszuführenden Operationen werden

Abbildung 56: Symbolische Übersichtsskizze der räumlichen Anordnung der einzelnen Funktionsblöcke der Z1 (die Pfeile geben die Richtung des Informationsflusses an)

Abbildung 57: (a) Vorderansicht der Z1 (linker Teil): die Abbildung zeigt das Planwerk mit aufgesetztem Lochstreifenleser, Speichersteuerung 12 a, Speicherblock 10 a sowie Impulsgeber und Antrieb (Anschlußzeichnung siehe Seite 25)

die Schaltgliedgruppen über Impulshebel an die entsprechenden Arbeitsschritte (I – IV) angeschlossen.

Die Speicherkapazität der Z1 beträgt 1536 Bit. Hierzu stehen drei Speicherblöcke zu je 8 Speicherschichten zur Verfügung. In jeder Schicht liegen 64 einzelne Speicherschaltglieder. Die maximale Wortlänge beträgt 24 Bit. Es handelt sich hierbei um einen Direktzugriffsspeicher mit paralleler Datenverarbeitung intern und Parallelschnittstelle zum Rechenwerk.

Der Lochstreifenleser greift je Arbeitsspiel, d.h. im Abstand von vier Takten, eine Information zu 8 Bit von dem externen Programmträger, einem gelochten Filmstreifen ab. Es stehen drei Bit für die Auswahl der Speicherschicht, drei Bit für das Ansteuern einer Speicherzelle und zwei Bit für die Befehle „Speichern“, „Lesen“ und „Rechnen“ bereit. Ist der Befehl „Rechnen“ aktiv, so wird über eine Schaltung im Planwerk (Block 11 b) dafür gesorgt, daß die sechs Bit, die während des Speicherns und Lesens für die Auswahl der Speicherzelle und der Speicherschicht vorgesehen waren, nun für die Spezifizierung der gewünschten Rechenoperation frei werden.

Über acht Schaltglieder werden die vom Lochstreifen abgetasteten Werte an das unter dem Lochstreifenleser liegende Planwerk übertragen. Dieses sorgt für die Weitergabe der Informationen an das Wählwerk und gegebenenfalls an das Rechenwerk. Weiterhin erfolgt hier die Impulsübertragung an die Speichersteuerung und die Koordination des Zusammenspiels zwischen Speicherwerk und Rechenwerk.

Abbildung 57: (b) Vorderansicht der Z1 (Anschlußzeichnung des Bildes 57): die Abbildung zeigt die Speichersteuerblöcke 12 b und 12 c sowie die Speicherblöcke 10 b und 10 c

Im Wählwerk finden wir drei wesentliche Schaltgliedgruppen vor, den Schichtenwähler, den Zellenwähler und die Stellglieder für die Befehle „Lesen“ und „Speichern“. Es dient somit der Auswahl der Speicherzelle, in die abgespeichert oder aus der ausgelesen werden soll.

Die Blöcke 12 a, 12 b und 12 c (Speichersteuerung) stellen die Verbindung der Speicherblöcke zum Rechenwerk her. Hier werden die aus dem Rechenwerk kommenden Zahlen in die angesteuerte Speicherzelle eingegeben oder im umgekehrten Fall eine Zahl aus der gewünschten Speicherzelle an das Rechenwerk übermittelt.

In den folgenden Unterkapiteln sind die Funktionsweisen der Hauptbaugruppen der Z1 detailliert beschrieben. Zur Veranschaulichung dient Bild 58, in dem die wichtigsten Schaltgliedgruppen und Impulshebel mit ihren Bezeichnungen und Bewegungsrichtungen aufgeführt sind. Die Erläuterungen erfolgen anhand symbolischer Schaltpläne und Impulsverteilungszeichnungen. Die Bedeutungen der einzelnen in diesen Plänen verwendeten Symbole sind der Aufstellung in den Bildern 59 (a)–(c) zu entnehmen. ^[34]

Abbildung 58: Übersicht der Schaltgliedgruppen. Bewegungshebel und Impulsübertragungshebel in der Draufsicht (die hier nicht abgebildeten Blöcke 10 b, 10 c, 12 b, 12 c sind analog 10 a und 12 a aufgebaut).

Abbildung 59: (a) Erklärung der in den Impulsverteilungszeichnungen und den Symbolschaltplänen verwendeten Symbolik

Abbildung 59: (b) Fortsetzung der Symbolerläuterungen in Bild 59(a)

Die Symbolschaltpläne weisen eine ähnliche Gestaltung wie elektrische Schaltpläne auf. Hier sind Wirkungsweise und Verknüpfung der Schaltglieder einer Schaltschicht erfaßt. Die Teilenummern der zugehörigen Schaltbleche sind an den entsprechenden Symbolen vermerkt. Weiterhin sind die Anschlüsse an die Impulshebel gekennzeichnet. In den Impulsverteilungszeichnungen befinden sich die Impulstangen mit ihren Anschlüssen. Sie zeigen die Ankopplung der Funktionsblöcke an den Impulsgeber.

Eine komprimierte Darstellung der gesamten Abläufe im Speicherwerk sei zunächst mit Hilfe der Ablaufpläne in den Bildern 60 (a)–(c) gegeben. Für jeden Arbeitsblock sind hier die Impulsfolgen während eines Arbeitszyklus (= 8 Arbeitstakte)

Abbildung 59: (c) Fortsetzung der Symbolerläuterungen in Bild 59(b)

graphisch dargestellt. In den vier Spalten finden sich die Bezeichnungen der jeweiligen Blöcke und Impulse, die Taktangaben mit zugehöriger Bewegungsrichtung der Impulshebel sowie kurze Erläuterungen zu den beschriebenen Vorgängen. Die ansteigenden Flanken in den Diagrammen zeigen den Übergang eines Impulshebels in seine Arbeitsstellung. Die abfallende Flanke bezeichnet die Rückbewegung in den Ruhezustand. Die Markierungen durch ein Kreuz stehen für die Bewegung eines Zwillingshebels (siehe 8.3); hier werden beide Ausschläge des Impulshebels (Hin- und Rückbewegung) als Arbeitsbewegung benötigt.

Abbildung 60: (a) Graphische Darstellung der Impulsfolge in den Speicherblöcken 10a–10c

Abbildung 60: (b) Graphische Darstellung der Impulsfolge im Wählwerk (Block 11a)

8.1 Der elektromechanische Antrieb

Die gesamte Antriebseinheit ist seitlich am Speicherwerk unterhalb des Impulsgebers angebracht (Bild 57 (a)). Der Antrieb dient für beide Hauptgruppen (Speicherwerk und Rechenwerk). Der Aufbau des Antriebs ist Bild 61 zu entnehmen. Die Seitenansicht von rechts ist bei entferntem Seitenblech gezeichnet. Während des Betriebes wird zum Schutz vor rotierenden Teilen eine Plexiglasabdeckung an der Frontseite angeschraubt. Um bei ausgeschaltetem Motor noch den Handbetrieb zu gewährleisten, ist der Freilauf (Pos. 6, Bild 61) zwischengeschaltet. Da der automatische Freilauf für den Handbetrieb zuviel Reibung aufweist, wurde nachträglich der Ankopplungsmechanismus (Pos. 9) installiert. Dieser wird durch Lösen der M6-Schraube seitlich herausgeklappt, wodurch der Mitnehmerbolzen (Pos. 11) sich nicht mehr im Eingriff befindet und es zu einer völligen Entkopplung von Impulsgeber und Antrieb kommt. Die Motordrehzahl wird durch ein Vorgelege (Pos. 2) stark untersetzt ($i = 95$). Eine Korrektur auf eine höhere Drehzahl erfolgt über den Kettenantrieb ($i = 1/1,55$), so daß die eigentliche Antriebsdrehzahl der Impulsgeber 47 min^{-1} (0,78 Hz) beträgt. Es ergibt sich hieraus

Abbildung 60: (c) Graphische Darstellung der Impulsfolge im Planwerk (Block 11b) (allgemeine Betrachtung)

Abbildung 60: (d) Graphische Darstellung der Impulsfolge im Planwerk (Block 11b) unterschieden nach Lese- und Speicherbefehl

folgende Taktfrequenz: $f = 0,195$ Hz. Nachfolgend sind ergänzend die Kenndaten von Motor und Kondensatoren aufgeführt:

Motor:	Kondensator:
Hersteller: Groschopp & Co	Hersteller: Bosch
Nr. 7753498 0532500	$12\mu\text{F} \pm 10\%$
$3 \sim \text{Mot. MOM 100-70}$	$240 \text{ V} \sim \text{DB/HPFNT}$
$\gamma/\Delta 380/220 \text{ V } 0,8/1,4 \text{ A}$	$260 \text{ V} \sim \text{DB/HSFNT}$
$250 \text{ W } \cos \varphi = 0,7$	$340 \text{ V} \sim \text{AB } 10\% \text{ ED/SD } 2\text{h/HSFPU}$
$1 \sim \text{Mot. C } 25\mu\text{F } U_C = 240 \text{ V}$	
$\Delta 220 \text{ V } 1,45 \text{ A}$	
$180 \text{ W } \cos \varphi = 0,96$	
$2850 \text{ min}^{-1} 50 \text{ Hz}$	

8.2 Der Impulsgeber des Speicherwerks

Der Impulsgeber liefert die für das Speicherwerk erforderlichen Takte. Diese Takte (Impulse) werden von einer exzentrisch ausgefrästen Kurvenscheibe (Pos. 1) erzeugt. Vier symmetrisch angeordnete Abtasthebel (Pos. 3) sind über Nadellauger (Pos. 4) in der Fräsnut geführt. Der Exzenter wurde so gewählt, daß jeweils am Ende eines Taktes unmittelbar der nächste Takt erfolgt. In Bild 62 ist eine solche Übergangsstellung zweier Takte zu sehen (Takt IV \rightarrow Takt 1). Bei einer Umdrehung der Kurvenscheibe wird jeder Abtasthebel einmal durch den Exzenter nach außen, d.h. in Arbeitsrichtung (stets mit Pfeil gekennzeichnet) gebracht. Auf diese Weise werden die vier Hauptimpulsstangen (Pos. 5) nacheinander in Arbeitsstellung geschoben und fallen sofort wieder in Ruhestellung zurück; die

Abbildung 60: (e) Graphische Darstellung der Impulsfolge in der Speichersteuerung (Blöcke 12a-12c)

Abbildung 61: Der elektromechanische Antrieb der Z1

Hauptimpulshebel stehen dann rechtwinklig zu den Hauptimpulsstangen. Diese Stangen liegen, wie in der Vorderansicht zu sehen, auf gleicher Höhe etwas unterhalb von Niveau 2 (N2). Die Hauptimpulshebel (Pos. 6) sind von ihrem Drehpunkt (schwarz ausgezeichneter Kreis) bis zum Eingriffsstift 45 mm lang. Die Abtasthebel, die über eine Achse fest mit den Hauptimpulshebeln verbunden sind, weisen eine Hebellänge von 60 mm auf. Durch diese Hebeldifferenz wird der Hub von 16 mm (durch den Exzenter erzeugt) auf 12 mm untersetzt. Die Impulshebel (Pos. 7) haben konstante Hebellängen von 45 mm, wodurch die Impulsstangen (S1 ... S19) jeweils einen Hub von 12 mm ausführen. Dieser Hub wird an den Anschlußstellen zu den Schaltgliedern auf 8 mm untersetzt. Die Impulsstangen sind, je nachdem wie die angeschlossenen Blöcke es verlangen, auf drei verschiedene Höhenniveaus (N1, N2, N3) verteilt. Diese Niveaus sind in der gesamten Maschine gleich, damit die Verbindungsstellen der einzelnen Blöcke ineinandergreifen. Die Impulsstangen sind in der Richtung ihres Hubes verstellbar (Pos. 11), somit ist der Hub in seiner Lage, jedoch nicht in seiner Größe einstellbar! Da die Hauptimpulsstangen gleich mehrere Impulshebel antreiben, sind sie in ihrer Führung überbestimmt; das heißt, sie sind an mehr als zwei Punkten geführt. Jeder zusätzliche Führungspunkt (Anschluß von Impulshebeln an eine Hauptimpulsstange) verursacht bei geringstem Versatz seiner „Sollposition“ Biegespannungen in den Hauptimpulsstangen. Diese Spannungen würden insbesondere im Handantrieb einen unnötigen Mehraufwand an Antriebsleistung bedeuten. Um diese Biegespannungen auszugleichen, sind in den Hauptimpulsstangen sogenannte „Verjüngungen“ eingearbeitet, die den Ausgleich der Überbestimmung realisieren. In der Draufsicht ist die obere Platte (Pos. 8) demontiert, wodurch auch die Fixierbolzen (Pos. 10) (ausführlich in Kap. 8.3 beschrieben) deutlich zu sehen sind.

Abbildung 62: Impulsgeber des Speicherwerks

8.3 Konstruktionsprinzipien der mechanischen Schaltglied-technik

Die gesamte Konstruktion der Funktionsgruppen sowie der Einzelteile der Z1 orientiert sich an einem Raster von 15×15 mm. Das bedeutet, daß jedes Schaltglied

und alle Führungs- und Orientierungsstifte, soweit technisch realisierbar, auf einem fiktiven Rasterpunkt liegen. Dies trägt wesentlich zur Vereinfachung der Erstellung der Konstruktionspläne bei und ermöglicht das einwandfreie Zusammenspiel der einzelnen Arbeitsblöcke. Die exakte Lage der Schaltgliederschichten wird durch sogenannte Orientierungsstifte (\varnothing 6 mm) gewährleistet. Sie durchstoßen an definierten Stellen einen gesamten Funktionsblock einschließlich der Impulsübertragungsniveaus.

8.3.1 Aufbau der Schaltschichten

Der prinzipielle Aufbau einer Schaltschicht ist in Bild 63 dargestellt. Zunächst wird eine 10 mm dicke Aluminium-Grundplatte auf die obere Platte aufgesetzt und verschraubt. Durch die eingangs erwähnten Orientierungsstifte ist sie genau justiert. In dieser Platte befinden sich M4-Gewindebohrungen zur Aufnahme der Gewinde- und Führungsstifte. Da der Schaltstift aus Stahl auf der weichen Aluminiumplatte Schleifspuren hinterlassen würde, befindet sich direkt auf der Grundplatte ein 1 mm dickes Grundblech, auf dem der Schaltstift gleitet. Dieses dient gleichzeitig als Abdeckblech einer Schaltschicht, sofern sich eine weitere Schaltschicht anschließt. Ist dies nicht der Fall, so wird als Abdeckung eine 6 – 10 mm dicke Plexiglasscheibe aufgeschraubt. Grundblech oder Abschlußplatte liegen, wie in Bild 63 zu sehen, nicht direkt auf den Schaltblechen, sondern auf Distanzhülsen auf. Diese Hülsen werden auf Gewindestifte aufgesetzt und sind 0,2 mm höher als die Schaltstifte. Außer als Sockelfunktion für höherliegenden Schaltschichten dienen sie zusätzlich der Führung von Schaltblechen und zur Festlegung der Höhe einer Schaltschicht. Als Schaltstifte werden Wälzkörper aus Zylinderrollenlagern verwendet.

Abbildung 63: Beispiel für den konstruktiven Aufbau einer Schaltschicht in Vorderansicht und Draufsicht bei abgenommener Plexiglasplatte

Die in der Regel aus 0,5 mm dickem Chrom-Vanadium-Stahl gefertigten Schaltbleche liegen lose aufeinander und sind meist in folgendem Rhythmus geschichtet: Grundblech, Festblech, bewegendes Blech, bewegtes Blech, Steuerblech, bewegendes Blech und oberes Festblech. Bewegende Bleche und Festbleche liegen doppelt, um ein Kippen des Schaltstiftes zu vermeiden. Dies würde zu ungünstigen Bewegungsverzögerungen, zu einer Verkürzung des Hubes oder zur Kollision des Schaltstiftes mit der oberen Abdeckung der Schaltschicht führen (Bild 64).

Bei der Konstruktion der Schaltbleche ist besonders darauf zu achten, daß eine saubere Führung jedes einzelnen Bleches gewährleistet ist. Hierzu dienen die schon erwähnten Führungsstifte und die auf die Gewindestifte aufgesetzten

Abbildung 64: Anordnung der Schaltbleche zur Vermeidung einer Kippbewegung des Schaltstiftes

Hülsen. Beide weisen einen Außendurchmesser von 6 mm auf. Da die Impulshebel und damit auch die angeschlossenen Schaltbleche eine leichte Drehbewegung ausführen, ist ebenso die Gefahr einer überbestimmten Führung zu berücksichtigen, die das Verkanten des Schaltbleches zur Folge hätte. Das Blech darf daher nicht in mehr als zwei Punkten geführt werden. Die beiden Beispiele in Bild 65 geben verschiedene Führungsmöglichkeiten an.

Abbildung 65: Möglichkeiten zur Führung von Schaltblechen über Führungsstifte und Hülsen

Da die unterschiedlichen Schaltbleche häufig eine gegenläufige Arbeitsrichtung aufweisen, ist bei der Formgebung besonders zu beachten, daß diese sich nicht gegenseitig in ihrer Bewegung behindern. Die Stoßgefahr wird durch scherförmiges Überlappen der Bleche vermieden (siehe Bild 66).

Abbildung 66: Beispiel einer konstruktiven Maßnahme zur Vermeidung von Stoßstellen

8.3.2 Bewegungs- und Impulsübertragungshebel

Die Bewegungs- und Impulsübertragungshebel liegen in drei Grundformen vor (Bild 67). Die Sonderform des Winkelhebels wird zur 90°-Umlenkung eines Impulses verwendet. Der Zwillingshebel dient in der Regel als Anschluß für Verteilerschaltglieder.

Impulsübertragungshebel dienen zur Weitergabe der Schaltimpuls des Impulsgebers auf die einzelnen Schaltglieder. Die konstruktive Auslegung ist in Bild 68 dargestellt. Die Auslenkung dieses Hebels ist auf ± 4 mm beschränkt. Eine Justiermöglichkeit des Hubes besteht über den abgebildeten Klemmhebel, an dem auch die Impulsstange eingehangen ist. Die Lagerung erfolgt über Paßbohrungen in der oberen und der unteren Platte. Zur Sicherung gegen vertikales Verschieben ist unter der oberen Platte ein Feststellring auf den Impulshebel geschraubt. Die

Abbildung 67: Grundtypen von Bewegungs- und Impulsübertragungshebeln

Drehachse (\varnothing 8 mm) ist in eine entsprechende Bohrung des oberen Anschlußhebels eingepreßt. Zur Sicherung gegen Verdrehen ist diese Verbindung zusätzlich verstiftet. Der Anschlußstift ist ebenfalls eingepreßt. In seiner Länge ist er der Höhe der jeweiligen Schaltschicht angepaßt.

Der Bewegungshebel ist ähnlich aufgebaut wie der Impulsübertragungshebel. Es fehlt hier lediglich der Klemmhebel zum Anschluß an den Impulsgeber. Die Aufgabe dieses Hebels ist die Übertragung von Bewegungen zwischen den einzelnen Schaltgliedern. Die Drehachse ist, da sie nur geringe Kräfte zu übertragen hat, etwas schwächer dimensioniert als die des Impulshebels. Die Lagerung erfolgt ebenfalls in Paßbohrungen der oberen und der unteren Platte.

Abbildung 68: Konstruktive Auslegung des Impulsübertragungshebels (die Übertragung der Impuls erfolgt in drei übereinanderliegenden Niveaus, wovon hier nur das unterste dargestellt ist)

8.3.3 Fixierung der Funktionsblöcke auf dem Rahmen

Das Fixieren der Funktionsblöcke auf dem Rahmen erfolgt über drei Spezialbolzen, die in Bild 69 dargestellt sind. Der Fixierbolzen wird in eine Paßbohrung der unteren Platte und des Rahmens eingesetzt und garantiert damit den exakten Sitz des Blocks. Um die Notwendigkeit einer zweiten im Hundertstelbereich exakten Bohrung zu vermeiden, wird als zweite Fixierung ein sogenannter Ausgleichbolzen verwendet, der als stark abgeflachter Zylinder ausgearbeitet ist und somit senkrecht zur Abflachung ein geringes Spiel zuläßt. Der Schraubbolzen dient zur Sicherung des Ausgleichbolzens gegen Verdrehung und gegen unbeabsichtigtes Herausheben aus der Bohrung. Zur Montage der Bolzen wird ein Spezialwerkzeug benötigt, das auf den Bolzenkopf aufgeschoben und mittels einer Klemmschraube befestigt wird. Bild 70 zeigt die beschriebene Anordnung in montiertem Zustand.

Abbildung 69: Konstruktionszeichnungen der Spezialbolzen zur Fixierung der Funktionsblöcke auf dem Rahmen (M 1:1)

Abbildung 70: Darstellung der Spezialbolzen zur Fixierung der Funktionsblöcke in montiertem Zustand

8.4 Die Programmsteuerung der Z1

Die Z1 arbeitet mit einer linearen Programmierung, d.h., es wird eine Folge von Befehlen chronologisch hintereinander ausgeführt, wobei Verzweigungen nicht möglich sind. Auch die Datenabspeicherung auf dem Programmstreifen ist nicht möglich! Daten bzw. Zahlen können ausschließlich in die Eingabevorrichtung des Rechenwerks eingegeben werden. Die Programme oder, wie man früher sagte: „Rechenpläne“ enthalten nur Ein-Adress-Kode und werden auf Normalfilm (35 mm) mittels des Programmstreifenlochers (Kap. 8.4.1) erstellt. Die Lochung des Filmstreifens erfolgt zweireihig, wobei die beiden Reihen zueinander versetzt angeordnet sind (Bild 71), dadurch erhält jede Lochung auf dem Lochstreifen ihre eigene Spur, und bei der Abtastung durch den Lochstreifenleser kann es nicht zu Verwechslungen kommen. Es handelt sich hierbei um eine 8 Bit-Verkodung. Die Notation der Verkodung ist Tafel 8 zu entnehmen. Die mit „x“ markierten Stellen entsprechen der Binärziffer 1 also einer Lochung. Grundsätzlich wird von der Maschine an der 7. Stelle zwischen Speicher- bzw. Lesebefehl und Operationsbefehl unterschieden, und zwar mit folgender Festlegung: „L“ für Speicher- bzw. Lesebefehl und „0“ (also keine Lochung) für Operationsbefehle.

Abbildung 71: Der Filmstreifen als Programmträger

Die Binärstellen 0 – 7 haben beim Programmstreifenlocher folgende Tastenzuordnung:

Binärstelle	Taste
0	1
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128

Das Unterscheidungskriterium für den Speicher- bzw. Lesebefehl liegt in der 6. Binärstelle [Speichern $\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ L & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}$ und Lesen $\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ L & L & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}$], wobei hier die Stellen 0,1,2 für die Wahl der Speicherzellen und die Binärstellen 3,4,5 für die Spei-

Befehlscode der Z1									
Befehl	Binärstelle								Bedeutung
	7	6	5	4	3	2	1	0	
Sp	x								Speichern
L	x	x							Lesen
Op.		x							Operationsbefehle
↗		x						x	Zehnersyst. → Binärsyst.
↘		x				x	x		Binärsyst. → Zehnersyst.
+		x					x	x	Addition
−		x					x		Subtraktion
×		x				x			Multiplikation
÷		x				x		x	Division

Tafel 8 Die Notation der Befehlscode in der Z1

cherschichten belegt sind. Anhand von zwei Beispielen soll dies verdeutlicht werden:

1. Speichern von Zelle 5 in Schicht 3: $\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ L & 0 & 0 & L & L & L & 0 & L \end{pmatrix}$
2. Lesen von Zelle 2 in Schicht 7: $\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ L & L & L & L & L & 0 & L & 0 \end{pmatrix}$

Diese beiden Beispiele sind in Bild 71 als Lochung auf dem Programmstreifen wiederzufinden. Hier wird auch deutlich, warum die beiden Lochreihen (links in Bild 71 zu sehen) $1\frac{1}{2}$ Perforationsabstände voneinander entfernt liegen. Dadurch ist eine Verschachtelung der Programmschritt möglich (Bild 71, rechts), und der Lochstreifenleser tastet nach jedem Spiel (4 Takte) einen neuen Befehl ab. Die in Tafel 8 aufgelisteten Befehlscode sind maßgebend für die Programmerstellung. Bei der Programmierung ist darauf zu achten, daß vor jeder Zahleneingabe der Befehl „Übersetzen vom Zehner- ins Zweiersystem“ erfolgt. Umgekehrt muß vor jeder Zahlenausgabe der Befehl „Rückübersetzen aus dem Zweier- ins Zehnersystem“ erfolgen. Die Programmierung der Z1 soll in Tafel 9 durch ein einfaches Formelbeispiel verdeutlicht werden: $E = m \cdot c^2$

8.4.1 Der Programmstreifenlocher

Diese bereits in der Z3 verwendete Apparatur dient ausschließlich zur Erstellung der Rechenpläne (Programme) (Bild 72).

Die nachfolgenden Erläuterungen beziehen sich auf die vier Ansichten des Programmstreifenlochers (Bild 74 – Bild 77). Der schräg angeschnittene Filmstreifen (Bild 73) wird unterhalb der Tasten zwischen die Platten Nr. 29 und Nr. 30

Programm- zeile	Befehl	Kodierung	Bedeutung	Erläuterung
1	↗	$\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L \end{pmatrix}$	Dezimal→Dual	Eingabe von „c“
2	Sp	$\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	Speichern	„c“ in Schicht 0, Zelle 0
3	↗	$\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L \end{pmatrix}$	Dezimal→Dual	Eingabe von „m“
4	Sp	$\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L \end{pmatrix}$	Speichern	„m“ in Schicht 0, Zelle 1
5	Le	$\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ L & L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	Lesen	lesen von „c“ (1. Oper.)
6	Le	$\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ L & L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	Lesen	lesen von „c“ (2. Oper.)
7	×	$\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & L & 0 & 0 & 0 & L & 0 & 0 \end{pmatrix}$	Multiplizieren	„c“ mit sich selbst mult.
8	Le	$\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ L & L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L \end{pmatrix}$	Lesen	lesen von „m“
9	×	$\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & L & 0 & 0 & 0 & L & 0 & 0 \end{pmatrix}$	Multiplizieren	„c ² “ mit „m“ mult.
10	↘	$\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & L & 0 & 0 & 0 & L & L & 0 \end{pmatrix}$	Dual→Dezimal	Resultatsausgabe

Tafel 9 Programmierbeispiel anhand der Gleichung $E = m \cdot c^2$

Abbildung 72: Der Programmstreifenlocher der Z1

eingeschoben (siehe Bild 74). Der Lochstreifen wird an dem federbelasteten Niederhalter Nr. 6 vorbeigeschoben, bis die Perforation die Transportwalze Nr. 1 erreicht hat. Der Hebel Nr. 11 muß nun von der Transportwalze weggeklappt werden, so daß der Film unter die Führungswelle Nr. 12 geleitet wird. Mit Hilfe des gerändelten Vorschubrades Nr. 3 sollte der Film mindestens soweit vorge dreht werden, daß auf beiden Seiten die Perforation zwischen Transportwalze und Führungswelle anliegt. Nun kann die eigentliche Erstellung eines Rechenplans beginnen, wobei mit Hilfe der Tasten die Lochung des Filmstreifens durchgeführt wird. Nach jeder eingelochten Programmzeile muß ein Transport des Films über eine Raststellung mittels des Vorschubrades erfolgen.

Nach der letzten eingegebenen Programmzelle wird der Lochstreifen entlang der Platte Nr. 29 abgeschnitten und herausgedreht. Wie in Bild 73 zu sehen ist, liegen die Stanzlöcher in der vorderen Reihe genau auf gleicher Höhe mit der Perforation. Die Lage der Ausstanzungen muß mit Hilfe des Rasthebels Nr. 42 einjustiert werden, wozu die Rastrolle Nr. 43 in einem Langloch geführt ist.

Abbildung 73: Der Filmstreifen als Programmträger

Abbildung 74: Rückansicht des Programmstreifenlochers

Abbildung 75: Vorderansicht des Programmstreifenlochers

8.4.2 Der Lochstreifenleser

Der in Bild 78 dargestellte Lochstreifenleser dient zur Durchführung der Programmsteuerung. Mit Hilfe dieses Gerätes wird der Rechenplan (maschinenfertiges Programm), der auf Lochstreifen festgehalten ist, abgetastet.

Der Streifenleser wird mit vier Schrauben auf das Planwerk (Block 11b) aufgeschraubt. An das Planwerk ist er mit Steckverbindungen angeschlossen. Zu diesem Zweck werden konisch zugeschliffene Stifte mit einem Durchmesser von 5 mm in die Anschlußschlitze der jeweiligen Bleche gesteckt. Diese Verbindungsstellen sind sehr deutlich in Bild 79 zu sehen. Hier ist der Streifenleser in gekippter Darstellung, auf einem Holzgestell aufsitzend, abgebildet. In der Mitte des Bildes sind die 8 Anschlußstellen ($pa_0 \dots pa_7$), die gleichzeitig die Schlitze der bewegten Bleche

Abbildung 76: Draufsicht des Programmstreifenlochers

Abbildung 77: Seitenansicht des Programmstreifenlochers

(150.6 a ... 150.6 h) darstellen, zu sehen. Bei der Montage des Lochstreifenlesers ist darauf zu achten, daß die Verbindungsstelle sich in linker oder rechter Maximalposition befinden, damit beim Aufsetzen des Streifenlesers auf das Planwerk keine Bleche verbogen werden.

Insgesamt existieren 12 Verbindungsstellen zwischen Planwerk und Streifenleser:

- 8 Bit-Information ($pa_0 \dots pa_7$), die einreihig in der Mitte des Lochstreifenlesers angeordnet ist (Bild 79)
- L1 (Hebel zum Absenken der Abtaststifte)
- L2 (Zwillingshebel, die miteinander gekoppelt sind und die bewegende Kraft für die Bleche [150.6 a – 150.6 b] einleiten)
- L3 (Doppelwinkelhebel zur Spreizung der steuernden Bleche [150.5 a, 150.5 b])
- L4 (Winkelhebel, der den Transport des Filmstreifens durchführt)

Auch der Übertragungsmechanismus von L1 ist in Bild 79 oben links zu erkennen. Dieser Mechanismus ist in den Abbildungen Bild 83 – Bild 88 bewußt nicht dargestellt, um die Übersichtlichkeit nicht unnötig zu beeinträchtigen. Aus den beiden großen Bohrungen des Festbleches ragen die 8 Bewegungshebel heraus, die jedoch nur in ihrem Rechteckquerschnitt zu sehen sind. Diese Bewegungshebel sind in ihrer Vorderansicht in Bild 80 zu erkennen, welches auch die Führung des Filmstreifens zeigt. Die Führung und der Transport sind ähnlich realisiert, wie bei dem Lochstreifendrucker. Die Transportwalzen, zum Beispiel, sind identische Bauteile. In Bild 80 sind ebenfalls nur die zur Erläuterung notwendigen Teile gezeigt, um die Übersichtlichkeit der Abbildung zu gewährleisten.

Abbildung 78: Der Lochstreifenleser mit eingelegtem Programm

Abbildung 79: Der Lochstreifenleser in gekippter Darstellung

Abbildung 80: Schematische Anordnung der Abtastvorrichtung des Lochstreifenlesers

Die obere und untere Schaltebene ist jeweils nur schematisch dargestellt. Während des Betriebes werden in Takt IV die Hebel $L1'$, die indirekt über einen Umlenkmechanismus von $L1$ angesteuert sind, gemäß den Pfeilen bewegt. Dadurch schwenken alle 8 Bewegungshebel aus und ziehen die Abtaststifte nach unten. $L1$ verharrt bis Takt III in dieser Stellung, wodurch ein Weitertransport des Programmfilmstreifens in Takt II überhaupt erst möglich ist. Die vier Rückholfedern zwischen den Bewegungshebeln stoßen bei der Rückbewegung von $L1'$ die Abtaststifte nach oben, sofern die Lochung $\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ L & L & L & L & L & L & L & L \end{pmatrix}$ anliegt bzw. kein Film eingelegt ist, und schieben gleichzeitig in den beiden Schalteebenen die steuernden Bleche (150.5 a und 150.5 b) zusammen (hierauf wird auf den nachfolgenden Seiten noch ausführlich eingegangen). Die Rückholfedern zwischen den Bewegungshebeln sind in ihrer Zugkraft sehr eng toleriert. Sie müssen einerseits ausreichende Kraft für das Bewegen der steuernden Bleche besitzen und dürfen andererseits nicht zu kräftig sein, um beim Durchstoßen der Abtaststifte den Programmfilmstreifen nicht zu beschädigen (sofern die Binärziffer „L“ anliegt). Eine Besonderheit des Streifenlesers ist, daß in den beiden Schalteebenen Vierkantschaltstifte verwendet werden – eine Maßnahme, die der ausgefallenen Form der bewegenden Bleche zuzuschreiben ist, da deren Schaltfasen für zylindrische Schaltstifte zu klein sind. Auf den nun folgenden Seiten wird sehr ausführlich gezeigt, wie der Lochstreifenleser die Informationen des Programmfilmstreifens während eines Spiels (4 Takte) an das Planwerk überträgt. Diese Arbeitsschritte sind hier anhand einer einfachen Programmzeile gezeigt: $\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ L & L & 0 & L & L & L & L & L \end{pmatrix}$. Da in diesem Programmschritt die 5. Binärstelle als einzige kein Loch aufweist, wird in den folgenden Bildern nur die Situation in der oberen Schalteebene dargestellt, in der die 5. Stelle verarbeitet wird (siehe auch Schaltsymbolpläne der oberen und unteren Schalteebene, Bild 81 und Bild 82). Alle Abbildungen sind im Gegensatz zu den Ablegeplänen (siehe Kap. 9) in Anhang (A 1) von oben her gesehen. Es werden auch nur diejenigen Bleche gezeigt, die im Augenblick aktiv bzw. die für das Verständnis von

Abbildung 81: Die obere Schaltebene des Lochstreifenlesers

Abbildung 82: Die untere Schaltebene des Lochstreifenlesers

Bedeutung sind.

Der Ablauf der Programmabtastung wird in Bild 83 mit der Arbeitsstellung von Takt II beginnend dargestellt. Das bedeutet, der Transporthebel bewegt über einen Sperrklinkenmechanismus das Transportrad (Pos. 5, Bild 80), welches mit Hilfe der Perforationsausschnitte den Filmstreifen um einen Perforationsabstand (4,75 mm) weitertransportiert. In dieser Darstellung sind bereits die steuernden Bleche (150.5 a und 150.5 b) mit abgebildet, deren Schaltnasen nur eine Binärstelle, d.h. nur einen Bewegungshebel erfassen (hier die Stellen: 1, 3, 5, 7). Der Hebel L1 befindet sich seit Takt IV noch in Arbeitsstellung, daher sind auch die Bewegungshebel in ihrer gespreizten Lage zu sehen.

Abbildung 83: Takt II in Arbeitsstellung

Gegenüber dem vorherigen Schritt hat sich die Stellung von L4 geändert, der sich jetzt wieder in seiner Ausgangsstellung befindet (Bild 84). Zu diesem Zeitpunkt ist das Transportrad von dem Rasthebel (Pos. 4, Bild 80) fixiert worden, so daß ein Zurückdrehen des Lochstreifens, verursacht durch die Rückbewegung des Sperrklinkenmechanismus, verhindert wird. L1 ist ebenfalls in seine Ruhelage gedreht, wodurch erstmalig die Programmzeile $\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ L & L & 0 & L & L & L & L & L \end{pmatrix}$ anhand der Stellung der Bewegungshebel zu erkennen ist.

Abbildung 84: Der Übergang von Takt II zu Takt III

Takt III befindet sich in Arbeitsstellung (Bild 85), d.h. L3 bewegt die beiden langen Schwenkarme, deren Hebellängen so gewählt sind, daß alle steuernden Bleche den gleichen Hub verrichten. Die Schaltnasen der steuernden Bleche schwenken die Bewegungshebel entgegengesetzt zur Federkraft nach außen, auf gleiche Höhe mit dem Bewegungshebel 5 (die Bewegungshebel sind nur in ihrem Rechteckquerschnitt zu sehen). Die Schaltstifte sind mit nach außen verschoben worden.

Bild 86 zeigt, wie L3 in die Ausgangslage zurückgeschwenkt ist und den steuernden Blechen den Arbeitshub ermöglicht. Diese werden nämlich von den federbelasteten Bewegungshebeln zurückgeschoben, außer dem Bewegungshebel der 5. Binärstelle, der durch den Abtaststift bzw. Filmstreifen an seinem Rückhub

Abbildung 85: Takt III in Arbeitsposition (Maximalstellung)

gehindert wird. So verharrt auch das steuernde Blech in der durch L3 ausgeschwenkten Lage. Allein der Schaltstift der 5. Stelle befindet sich nun in äußerer Position. Hier hat sich bereits das Abtasten der Programmzeile auf die steuernden Bleche übertragen.

Abbildung 86: Die Situation zwischen Takt III und Takt IV

Der Hebel L1 hat sich in Bewegung gesetzt und bereitet ein Abtasten der nächsten Programmzeile vor, indem er die Abtaststifte über die Bewegungshebel zurückzieht (Bild 87). Die Bewegungshebel befinden sich nun in einer symmetrischen Anordnung und die steuernden Bleche sind augenblicklich nicht von Federkräften belastet, so daß sie in ihrer Lage bleiben. Nun sind alle Vorbereitungen für das Schalten der 5. Binärstelle getroffen. Die für die Erläuterung bedeutsamen bewegten Bleche (150.7 c und 150.7 e) sind in ihrer von der vorherigen Programmzeile diktierten Stellung zu sehen. Beide Bleche sind gegenwärtig in linker Position, d.h. in „L“-Stellung zu sehen.

Abbildung 87: Takt IV in Arbeitsstellung

Takt I tritt wieder in Aktion, doch die bewegenden Bleche (150.6 a ... 150.6 d) erfassen nur den sich in Schaltstellung befindlichen Stift (5. Stelle). Dieser Schaltstift schließlich bewegt das bewegte Blech (150.7 c), das wiederum über den Schaltschlitz (mit Pfeil markiert) pa_5 auf „0“ schaltet (Bild 88). Im Planwerk liegt nun die Programmzeile $\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ L & L & 0 & L & L & L & L \end{pmatrix}$ an!

8.5 Das Planwerk (Block 11 b)

Das Planwerk ist, wie aus Bild 57(a) und Bild 58 zu entnehmen, unterhalb des Lochstreifenlesers zwischen der Speichersteuerung (Block 12a) und dem Impulsgeber des Speicherwerks angeordnet. Die Hauptaufgabe des Planwerks ist die Informationsweitergabe des Streifenlesers bzw. des Programms an die jeweiligen Blöcke (Wählwerk, Speichersteuerung und Rechenwerk). Informationen an das Rechenwerk, also Operationsbefehle, werden über die Schnittstelle an der Vorderseite des Planwerks übergeben. Es sind dies im einzelnen die Hebel Pb 7, Pb 6,

Abbildung 88: Takt I tritt wieder in Arbeitsstellung

Ps', P1', Ln und die vier Winkelhebel Op0 ... Op3 (Bild 89 – 91). Ferner wird durch das Planwerk der Antrieb der Impulshebel (L1 ... L4) des Lochstreifenlesers realisiert, wobei L1 über S17 (III) und L3 über S18 (IV) fest verbunden sind und nicht ausgeschaltet werden können. Die Hebel L2 und L4 dagegen können über Schaltglieder ein- bzw. ausgeschaltet werden. Der Grund dafür wird im weiteren Verlauf noch ausführlich beschrieben.

Eine Besonderheit des Planwerks gegenüber anderen Funktionsblöcken ist, daß hier erstmals Schaltglieder in den drei Niveaus (N1, N2, N3) zwischen der unteren und der oberen Platte eingesetzt werden (Bild 92 – 94). Dies hat zur Folge, daß eine Untersetzung des Schalthubes durch die Impulshebel ausbleibt und die Schaltstifte somit 12 mm Hub verrichten. Im Gegensatz zu 8 mm. Die symbolischen Impulszeichnungen der drei Niveaus zeigen erstmals sogenannte Durchläufer. Es handelt sich hierbei um Impulshebel, die lediglich zur Umlenkung von Impulsen dienen und oberhalb der oberen Platte keine Anschlüsse aufweisen. Diese Durchläufer sind in ihrer Symbolik gegenüber konventionellen Impulshebeln durch einen waagerechten Balken auf der Drehachse unterschieden. Oberhalb der oberen Platte des Planwerks befinden sich drei Schaltschichten, deren Schaltpläne in den Bildern 89 – 94 enthalten sind. Da das Planwerk sehr komplexe Funktionen aufweist, ist eine genaue Beschreibung aller Schaltglieder und Impulshebel im einzelnen nicht zweckmäßig. Einen Gesamtüberblick über die Abläufe im Planwerk ist den Ablaufdiagrammen (Kap. 8, Bild 60(c) und Bild 60(d)) zu entnehmen. Hier ist dargestellt, in welchen Takten bestimmte Impulshebel in Arbeitsstellung gebracht werden und für welche Dauer sie gehalten werden. Um die komplizierten Abläufe im Planwerk verständlich zu machen, wird in den nun folgenden Seiten gezeigt, wie einzelne Befehle an die jeweiligen Funktionsblöcke weitergegeben werden. Es empfiehlt sich, die dort beschriebenen Vorgänge genau anhand der Schaltpläne und Impulszeichnungen (Bild 89 – 94) zu verfolgen.

Die Beschreibung der Schaltschichten soll zunächst anhand der der Programmzeile $\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ L & 0 & 0 & L & 0 & L & 0 & 0 \end{pmatrix}$, die dem Befehl „Speichern in Zelle 4 der Schicht 2“ entspricht, vorgenommen werden. Der Streifenleser stellt im Planwerk Pa7 ... Pa0 entsprechend der oben beschriebenen Programmzeile in Takt 1 ein (bereits ausführlich in Kap. 8.4.2 beschrieben). Dadurch werden in Schaltschicht 1 (Bild 89) die steuernden Bleche (130.46) der Binärstellen 7, 4 und 2 nach links, also in „L“-Stellung geschoben. Takt II bewegt die beiden Zwillingshebel S2, die über die bewegenden Bleche (130.45) der Verteilerschaltglieder die bewegten Bleche (130.47, 130.48, 130.49) der jeweiligen Binärstelle in „L“-Stellung schieben. Die Bleche 130.47 und 130.49, die im Wählwerk als steuernde Bleche wirken, ermöglichen das Zie-

hen der Zelle 4 in Schicht 2. Das bewegte Blech 130.48 wirkt in den Schaltgliedern Sg1, Sg2 und Sg3 als steuerndes Blech und schließt die Schalter Sg1 und Sg2 bzw. öffnet Sg3. Pb7 wird ebenfalls von Blech 130.48 auf „L“ geschaltet. In Takt III wird nun der Impulshebel S17 betätigt, der über das bewegende Blech 150.52 in der Schaltgliedgruppe Sg1, Sg2, Sg3 den Impuls weitergibt. Über Sg1 erfolgt zwar eine Impulsübertragung auf das „schwimmende“ Blech 130.56, jedoch steht der Schalter Sg4 in seiner geöffneten Stellung, so daß eine Impulsübertragung auf P1 nicht erfolgen kann. Sg3 kann ebenfalls keine Impulsübertragung ermöglichen, da dieser Schalter zuvor in Takt II über das Blech 130.48 ausgeschaltet wurde. Es wird nur über die Schalter Sg2, Sg5 und Sg8 der Impuls an das bewegte Blech 130.59 weitergegeben. Diese Schalter stellen eine Konjunktion aus drei Schaltgliedern dar. Denn nur wenn Sg2, Sg5 und Sg8 geschlossen sind, wird das Blech 130.59 und damit der Hebel Ps auf „L“ gezogen! Ps wird neben Pf, P1, und den vier Op stets in Takt II über S19 durch das bewegende Blech 130.67 auf „0“ geschaltet (Löschbewegung). Ps überträgt nun den Impuls in Schicht 2 auf das steuernde Blech 130.74 und schiebt somit den Schaltstift im dort befindlichen Verteilerschaltglied nach links. Außerdem wirkt Ps auf das Schaltglied in Niveau 3 (Bild 94) und schließt den dortigen Schalter. Im nun folgenden Takt IV wird dadurch S13 in der Speichersteuerung wirksam. Gleichzeitig werden in Takt IV nun über den Zwillingshebel S18, der sich gemäß den Pfeilen dreht, die bewegenden Bleche 130.69 und 130.70 in Arbeitsstellung gezogen. Hierdurch werden über die bewegten Bleche 130.76 und 130.77 die beiden Hebel Ps' auf „L“ geschaltet. Ps' schließt über das steuernde Blech 130.25 in Niveau 1 (Bild 92) den angeschlossenen Schalter. Hierdurch wird im nächsten Takt I über S14 der Impuls an die Speichersteuerung weitergegeben. Die beiden Impulshebel S13 (IV) und S14 (I) leiten in der Speichersteuerung den Speichervorgang in den Speicherblöcken ein (ausführlich in Kap. 8.8 beschrieben).

Ein zweites ausführlich beschriebenes Beispiel soll die Funktionsweise des Planwerks anhand der Schaltpläne deutlich machen. Diesmal wird die Verarbeitung eines Operationsbefehls detailliert beschrieben. Es wird die Programmzeile $\begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L \end{pmatrix}$, die dem Befehl „Übersetzen aus dem Zehnersystem ins Zweiersystem“ entspricht, verfolgt. Der Streifenleser stellt wieder in Takt 1, entsprechend der Lochung des Programmstreifens, Pa7 ... Pa0 ein. Über die bewegenden Bleche 130.45 in Schaltschicht 1 (Bild 89) werden im Takt II nun die bewegten Bleche 130.48 und 130.49 der 6. Und der 0. Binärstelle in Arbeitsstellung geschoben. Es schließen sich somit die Schalter Sg4, Sg6 und Sg12 und es öffnet sich Sg5. Gleichzeitig wird über Pb6 die erste Information an das Rechenwerk gegeben. Der Zwillingshebel S19 schiebt über das Blech 130.67 (Bild 89) in Takt II Pf auf „L“. Im nachfolgenden Takt III wird über das bewegende Blech 130.52 in der unteren Schaltgliedgruppe (Sg3, Sg6, Sg9) der Impuls an das bewegte Blech 130.53 weitergeleitet. Dieses stellt über das geschlossene Schaltglied Sg12 die Winkelhebel Op3 und Op0 auf „L“ (zweite Information an das Rechenwerk).

Über Op3 erhält das Rechenwerk die Information, die für das spätere Schalten des Hebels Ln notwendig ist. Außerdem wird das bewegte Blech 130.67 über die Stoßkante (unterhalb der Teilenummer 130.53) des bewegenden Bleches 130.53 nach links verschoben, wodurch Pf auf „L“ gestellt wird. Betrachten wir nun Schicht 2: hier wird in Takt IV über S18 das bewegte Blech 130.75 des Verteilerschaltgliedes in „L“-Stellung gebracht, da zuvor in Takt III Pf in „L“-Stellung stand. P1 und Ps stehen in „0“-Stellung, wodurch P1' und Ps' in Takt IV nicht in Arbeitsstellung gezogen werden. Hierdurch sind, wie in Bild 92 zu sehen, S13' und S14 ausgeschaltet. In der Speichersteuerung werden folglich der Lese- bzw. der Speicherbefehl nicht aktiviert! Pf' zeigt in Schicht 3 (Bild 91) seine Wirkung. Über das steuernde Blech 130.75 werden die angeschlossenen Schalter geschlossen und in Takt I erfolgt über S20 eine Impulsübertragung auf L2 bzw. über S19 (II) auf L4! L2 und L4 sind also aktiv und können somit im Streifenleser den Filmstreifen weitertransportieren, um die folgende Programmzelle abzutasten. In Takt II des 2. Spiels wird vom Rechenwerk Ln auf „L“ geschaltet (Bild 89), wodurch die Schaltglieder Sg7, Sg8 und Sg9 geöffnet werden. Dies hat zur Folge, daß in Takt III über S17 das bewegte Blech 130.53 nicht nach links verschoben wird und Pf in dem zuvor von S19 (II) eingestellten Ruhezustand („0“-Stellung) verharret. Indirekt ist demzufolge Pf' auf „0“ geschaltet (Bild 91), wodurch L2 und damit der Transport ausgeschaltet ist. Die Maschine läuft nun sozusagen „leer“, da keine neue Programmzeile abgetastet wird. Dieser Zustand kann nur vom Anwender aufgehoben werden, denn es lag der Befehl „Übersetzen aus dem Zehnersystem ins Zweiersystem“ an, der die Eingabe einer Zahl anfordert.

Diese Zahleneingabe muß zunächst bestätigt werden, was der Betätigung der Return-Taste in heutigen Computern entspricht. Die Bestätigung gelangt über das Leitwerk an die Schnittstelle zum Speicherwerk. Hier wird der Winkelhebel Ln zurück auf „0“ geschaltet, womit sich die Schalter Sg7, Sg8 und Sg9 wieder schließen. Nun wird über den oben beschriebenen Vorgang die nächste Programmzeile vorgerückt und abgetastet.

Abbildung 89: Schaltschicht 1 des Planwerks

Abbildung 90: Schaltschicht 2 des Planwerks

Abbildung 91: Schaltschicht 3 des Planwerks

Abbildung 92: Symbolische Impulsverteilung des Planwerks in Niveau 1

8.6 Das Wählwerk (Block 11a)

Das Wählwerk setzt sich aus drei Elementen zusammen, dem Zellenwähler, dem Schichtenwähler und einer Schaltgliedgruppe, die zur Ausführung der Befehle „Speichern“ und „Lesen“ dient. Weiterhin existiert eine Schaltgliedreihe vom Verteilertyp, die dafür sorgt, daß die Operationen „Speichern“ und „Lesen“ im richtigen Arbeitstakt erfolgen. Die Anordnung der einzelnen Segmente ist in Bild 95 dargestellt.

Der Schichtenwähler

Der Schichtenwähler dient zur Ansteuerung der gewünschten Speicherschicht. Er besteht ebenso wie die drei Speicherblöcke aus acht Schaltschichten (0 – 7). In jeder Schicht befinden sich drei einfache Schaltglieder (Schaltgliedgruppe cs), die konjunktiv miteinander verbunden sind (vergleiche auch Kap. 7.2.4). Hieraus lassen sich $2^3 = 8$ Schaltkombinationen realisieren.

Die Kodierung der einzelnen Schichten ist aus Tafel 10 zu entnehmen.

Schicht 0 ist im Schichtenwähler die oberste Schicht, Schicht 7 die unterste. Die L-förmigen Ausschnitte in den Festblechen der Schaltgliedreihen sind für die Binärziffern „0“ und „L“ wie folgt definiert (Tafel 11):

Der Schichtenwähler wird über den Impulshebel S3 auf Takt III angesteuert (vergleiche Bild 56). Es erfolgt eine Übertragung dieses Impulses auf die Schaltglieder cs. Der Impulshebel S6 schaltet schließlich die über cs' gewählte Speicherschicht ein.

Der Zellenwähler Der Zellenwähler stellt einen in die Ebene geklappten Schichtenwähler dar. Er weist demnach acht in einer Ebene liegende Konjunktionen zu je drei Bit auf (Schaltgliedgruppe cw). Die Funktionsweise sowie die Kodierung



Abbildung 93: Symbolische Impulsverteilung des Planwerks in Niveau 2

Abbildung 94: Symbolische Impulsverteilung des Planwerks in Niveau 3

Abbildung 95: Anordnung der einzelnen Schaltgliedgruppen im Wählwerk

Schicht	Schaltgl. 1	Schaltgl. 2	Schaltgl. 3
0	0	0	0
1	0	0	L
2	0	L	0
3	0	L	L
4	L	0	0
5	L	0	L
6	L	L	0
7	L	L	L

Tafel 10 Kodierung der Schaltschichten im Schichtenwähler nach dem jeweiligen Dezimaläquivalent

Binärziffer	Lage der L-förmigen Ausschnitte im Festblech
1	
L	

Tafel 11 Definition der Lage der L-förmigen Ausschnitte in den Festblechen der Schaltgliedreihen im Schichtenwähler

der Schaltglieder entspricht der des Schichtenwählers. Über den Impulshebel S2 (Takt III) werden die Schaltketten betätigt. Die Löschung der gezogenen Speicherzelle sowie der Speicherschicht erfolgt durch S4 (Takt II). Die Photographie in Bild 96 zeigt die Gesamtansicht des Wählwerks. Im Hintergrund befindet sich der Schichtenwähler, in dem die Kombination (0L0) eingestellt ist, was der Schichtschicht 2 entspricht. Im Zellenwähler, der sich im Vordergrund rechts befindet, ist die Zelle 2 mit der Kombination (0L0) eingestellt.

Abbildung 96: Gesamtansicht des Wählwerks

Die nun folgende schrittweise Beschreibung der Vorgänge während eines Arbeitszyklus (2 Arbeitsspiele bzw. 8 Arbeitstakte) im Wählwerk ist anhand der Symbolschaltpläne (Bild 97, Bild 98) und der Impulsverteilungszeichnung (Bild 99) zu verfolgen. Da die acht Schichtschichten im Schichtenwähler immer nach dem gleichen Prinzip aufgebaut sind, wurde darauf verzichtet, alle acht Symbolschaltungen aufzuführen. In Bild 98 ist lediglich Schicht 0 des Schichtenwählers dargestellt. Der Zellenwähler und die Schaltglieder zur Auswahl der Befehle „Lesen“ und „Speichern“ sind in zwei Schichtschichten angeordnet.

Zunächst erfolgt über den Impulshebel S1 in Takt II des ersten Arbeitsspiels die Einstellung der Schalthelbe über pb0 – pb7. Die Speicherzelle wird über pb0 – pb2 gewählt, die Speicherschicht über pb3 – pb5 und die Operationen „Lesen“, „Speichern“ und „Rechnen“ über pb6 und pb7 (entspr. P1' und Ps'). Der Impulshebel S3 sorgt in Takt III des ersten Arbeitsspiels für die Vorwahl der durch pb0 – pb2 angesteuerten Speicherzelle, d.h. er zieht die entsprechende Konjunktion (Schaltglieder cw) nach rechts, ohne jedoch bereits einen direkten Einfluß auf die zugehörige Speicherzelle auszuüben. Dieser Vorgang wirkt steuernd auf die Verteilerschaltgliedreihe cw' (Bild 97). Im gleichen Takt wird die über pb3 – pb5 gewählte Speicherschicht (Schaltglieder cs) aktiviert und über den Impulshebel S6 eingestellt. Im nun folgenden Takt IV des ersten Spiels führen die Verteilerschaltglieder cw' ihre Arbeitsbewegung durch den Impulshebel S5 aus. Die bewegten Bleche dieser Schaltglieder dienen gleichzeitig als steuernde Bleche für die einfachen Schaltglieder cw''. Das der gewählten Speicherzelle (cb) zugehörige Schaltglied cw'' wird in seine Arbeitsstellung („L“-Stellung) gebracht. Sein bewegtes Blech steht in direkter Verbindung mit der entsprechenden Speicherzelle. Im zweiten Arbeitsspiel findet das eigentliche Ziehen der Speicherzelle sowie das Löschen der Schaltglieder cw und cs statt. Wurde zu Beginn des Arbeitszyklus pb7 (PI') in „0“-Stellung und pb6 (Ps') in „L“-Stellung gebracht, so erfolgt das Ziehen der Speicherzelle auf Takt II des zweiten Arbeitsspiels, dies ist gleichbedeutend mit dem Befehl „Speichern“. Liegt die Kombination pb7 (PI') = L, pb6 (Ps') = 0 vor, so wird die Speicherzelle auf Takt I des zweiten Arbeitsspiels aktiviert, was dem Befehl „Lesen“ entspricht. Bei der Stellung Pb6 (Ps') = pb7 (PI')

= „L“, also dem Rechenbefehl, wird das gesamte Speicherwerk für die Dauer der Rechnung über den Hebel Ln des Planwerks stillgelegt. (Die Bezeichnungen Ps' und PI' weisen auf die funktionale Verknüpfung dieser Schaltanschlüsse mit den Schalthebeln Ps und PI im Planwerk hin.)

Abbildung 97: Symbolschaltplan der unteren Schaltschicht im Wählwerk

Abbildung 98: Symbolschaltplan der oberen Schaltschicht im Wählwerk

Abbildung 99: Symbolische Darstellung der Impulsverteilung im Wählwerk

8.7 Die Speichersteuerung (Blöcke 12a, 12b, 12c)

Die Speichersteuerung besteht aus drei Funktionsblöcken, die zur Koordination des Datenaustauschs zwischen Rechenwerk und Speicherblöcken dienen. Sie sind, wie aus der Gesamtansicht der Anlage (Bild 56) hervorgeht, den Speicherblöcken vorgeschaltet. Es erfolgt hier die parallele Übergabe der in den Blöcken 10a – 10c gespeicherten Binärziffern an das Rechenwerk bzw. im umgekehrten Prozess die Eingabe der zu speichernden Werte in die Speicherblöcke. Bild 100 zeigt die Photographie eines der drei Speichersteuerblöcke.

Die am unteren Bildrand sichtbaren Winkelhebel (ca) bilden die Schnittstelle zum Rechenwerk; die mittleren Bewegungshebel (cc) stellen die Verknüpfung der beiden Schaltgliedgruppen dar; die hintere Hebelreihe (ca'') dient zum Informationsaustausch mit den Speicherblöcken (oberer Bildrand).

Zur Realisierung der oben genannten Aufgaben verfügen die Blöcke 12a, 12b und 12c jeweils über vier Schaltschichten in drei Ebenen. Die räumliche Anordnung dieser Schaltschichten sowie die zugehörigen Bewegungshebel sind in Bild 101 schematisch dargestellt.

Zum besseren Verständnis der nun folgenden Erläuterung der Arbeitsweise der Speichersteuerung sind die symbolischen Schaltpläne der vier Schaltschichten beigefügt (Bild 102, Bild 103 und Bild 104). Der Informationsfluß beim Vorgang des Einspeicherns von Binärziffern in die Speicherzellen läuft über die Schichten 1 und 3. Zunächst erfolgt im Planwerk (siehe auch 8.5) über die Hebel Ps und Ps'

Abbildung 100: Photographie eines Speichersteuerblocks in der Draufsicht

Abbildung 101: Schematische Darstellung der Anordnung der vier Schaltschichten sowie der Bewegungshebel in der Speichersteuerung

die Ansteuerung der zum Speichern erforderlichen Impulshebel S11, S13, S14 und S16. In Takt III des ersten Arbeitsspiels werden die Zahlen aus dem Rechenwerk über die Hebel ca eingestellt. Diese Bewegung wirkt steuernd auf die Verteilerschaltglieder der Schicht 3. In Takt IV des ersten Arbeitsspiels führen diese Schaltglieder, angetrieben von dem Impulshebel S13, ihre Arbeitsbewegung aus, bei der die bewegten Bleche je nach eingegebener Zahl die Hebel cc einstellen. Ebenfalls an die Hebel cc angeschlossen sind die Steuerbleche der Verteilerschaltglieder in Schicht 1. Sie werden demzufolge indirekt von den Schaltgliedern aus Schicht 3 angesteuert.

Der Impulshebel S14 leitet in Takt 1 des zweiten Spiels die Arbeitsbewegung in Schicht 1 ein, mit der über die bewegten Bleche die Weitergabe der Informationen an die Bewegungshebel ca'' gewährleistet ist. Durch diese Hebel erfolgt dann direkt die Übertragung der zu speichernden Werte auf die Steuerbleche der Speicherzellen. Abschließend werden die Hebel ca'' über den Impuls S11 ausgerichtet, was das endgültige Positionieren des Schaltstiftes in der Speicherzelle bewirkt. Die ca-Werte wurden bereits in Takt II des zweiten Arbeitsspiels durch S16 gelöscht.

Für den Lesevorgang erfolgt ebenso wie beim Speichern die Impulsansteuerung durch das Planwerk. Es werden hierzu die Hebel P1, P1' und P1'' benötigt (siehe 8.5). Über den Impuls S10 wird zunächst die Lesebewegung in den Speicherblöcken eingeleitet (Takt II des zweiten Arbeitsspiels). Dies hat die Übergabe der gespeicherten Daten auf die Hebel ca'' zur Folge. Es erfolgt eine direkte Durchleitung der Angaben in die Schaltschicht 2. Hier befindet sich eine Schaltgliedreihe bestehend aus einfachen Schaltgliedern. Wird ein Schaltglied durch die Bewegung von ca'' in Arbeitsstellung gebracht (geschlossen), so wird nachfolgend der Wert „L“ auf die Hebel ca übertragen, bei geöffnetem Schaltglied hingegen der Wert „0“. Diese Bewegung wird über den Impuls S15 in Takt III des zweiten Arbeitsspiels ausgeführt. Die Hebel ca übertragen die gelesenen Werte parallel in das Rechenwerk.

Schicht 4 ist eine reine Löschschicht, in der die Impulse S13' (Takt I des zweiten Arbeitsspiels) und S16 (Takt II des zweiten Arbeitsspiels) für die Rückstellung der Bewegungshebel ca und cc sorgen. Die Rückstellung der einfachen Schaltglieder in Schicht 2 ist wegen der besseren Übersicht nicht in den Schaltplan eingetragen,

da sie direkt in der Schaltschicht vorgenommen wird. Diese Löschung wird durch den Impuls S11' durchgeführt.

Zur Veranschaulichung der Impulsanschlüsse sei auf die Impulsverteilungszeichnung verwiesen (Bild 105). Da die Impulsstangen zumeist übereinander verlaufen, sind aus der Draufsicht Verlauf und Ankopplung nicht ausreichend verdeutlicht. Es sind daher die Schnittdarstellungen A–A und B–B (Bild 106) hinzugefügt, aus denen im Maßstab 1:2 die Auslegung der Ankopplung hervorgeht.

Abbildung 102: Symbolschaltplan der Schichten 1 und 2 in der Speichersteuerung

Abbildung 103: Symbolschaltplan der Schaltschicht 3 in der Speichersteuerung

Abbildung 104: Symbolschaltplan der Schaltschicht 4 in der Speichersteuerung

8.8 Die Speicherblöcke (10a, 10b und 10c)

Die drei Speicherblöcke 10a – 10c stellen das interne Speichermedium der Z1 dar. Die darin abgelegten Daten sind zu jedem Zeitpunkt während des Programmablaufs zugriffsbereit, unabhängig von der Reihenfolge, in der sie abgespeichert wurden. Das Grundkonzept dieser Speichereinheiten ist so angelegt, daß sie nicht nur zur Aufnahme von Zahlenwerten verwendbar sind, sondern beliebige binärvercodete Informationen abgelegt werden können. Es besteht also theoretisch die Möglichkeit der Verwendung als kombinatorischer Speicher einer speicherprogrammierbaren Anlage, obgleich in der Z1 eine reine Verwendung als Zahlenspeicher vorliegt. (Wie bereits bekannt, besitzt die Z1 eine externe Programmspeicherung auf Lochstreifen.)

Die drei Speicherblöcke weisen je 8 Speicherschichten zu 8×8 Speicherschaltgliedern auf. Eine Reihe zu 8 Schaltelementen wird über ein Zellenblech (vergleiche Kap. 7.2) zu einer Zelle verbunden. Durch die direkte Kopplung der drei Speicherblöcke ergibt sich folglich eine maximale Wortlänge von 24 Bit pro Zelle. Es können somit bis zu 24 Worte bei einer Gesamtkapazität von 1536 Bit gespeichert werden. Die Partitionierung des Speichers ist bereits in Kap. 7.1.2 ausführlich beschrieben. Bild 107 zeigt eine Photographie des Speicherblocks 10c

Abbildung 105: Impulsverteilungszeichnung der Speichersteuerung

Abbildung 106: Schnittdarstellung der Ankopplung der Impulsstangen in der Speichersteuerung

(10a und 10b sind analog aufgebaut) in Verbindung mit dem Steuerblock 12c (links) in der Draufsicht.

In der Mitte dieses Blocks sind die 64 Speicherschaltglieder der untersten Schaltschicht zu sehen. Im Gegensatz zu den allgemein verwendeten 5 mm Schaltstiften sind hier Stifte mit einem Durchmesser von 4 mm eingesetzt, um den Platzbedarf der Speicherblöcke zu reduzieren. Ein weiteres wichtiges Element der Speicherblöcke ist der Ankoppelmechanismus an die Speichersteuerung und den benachbarten Speicherblock (bzw. bei 10a an das Wählwerk). Diese Verbindung wird für die gesamte Schaltschicht über den rechts oben in Bild 107 zu sehenden Impulshebel S6 in Verbindung mit einem hierüber betätigten Verteilerschaltglied ein- bzw. ausgeschaltet. Der Anschluß erfolgt an die Bewegungshebel cb und ca''. Das genannte Verteilerschaltglied wird durch den Schichtenwähler angesteuert. Da die Funktionsweise des einzelnen Speicherschaltgliedes bereits detailliert beschrieben wurde, werden nachfolgend primär die globalen Zusammenhänge während eines Arbeitszyklus in den Speicherblöcken verfolgt, wobei eine gleichzeitige Betrachtung der Ausführungen in Kap. 7.2.3 zu empfehlen ist. Die Vorgänge sind wiederum mit Hilfe des Symbolschaltplanes (Bild 108) und der Impulsverteilungszeichnung (Bild 109) erläutert. Es sei zunächst der Speichervorgang beschrieben, der mit der Einstellung der Speicherschicht über den Impulshebel S6 in Takt II des ersten Arbeitsspiels beginnt. In dem hierauf folgenden Takt I des zweiten Arbeitsspiels werden die auf ca'' (in der Speichersteuerung) stehenden Ziffern auf die Steuerbleche der Speicherschaltglieder übertragen. Sie werden je nach Ziffer (0 oder L) aus ihrer Mittelstellung ausgelenkt. Diese Stellung der Steuerbleche wird über den Takt II (zweites Spiel) hinaus gehalten, da hier zunächst das Ziehen des Zellenblechs durch das Wählwerk erfolgt. Nun befindet sich das Schaltglied in Arbeitsstellung. Erst in Takt III des zweiten Spiels wird der Schaltstift durch das Ausrichten der Schaltglieder ca'', was mit einer Rückbewegung der Steuerbleche

Abbildung 107: Photographie des Speicherblocks 10c in Verbindung mit der Speichersteuerung

auf Mittelstellung verbunden ist, in die zu speichernde Position gebracht. Abschließend erfolgt der Übergang des Zellenblechs in seine Ausgangsstellung (Takt IV, zweites Spiel).

Der Lesevorgang beginnt ebenfalls mit der Auswahl der Speicherschicht durch Impuls S6 (Takt IV des ersten Arbeitsspiels). Darauf folgend wird direkt in Takt I des zweiten Arbeitsspiels das Zellenblech gezogen und somit das Schaltglied in Arbeitsstellung gebracht. Das Auslösen dieser Bewegung erfolgt durch den Zellenwähler des Wählwerks. In Takt II des zweiten Spiels wird der Vorgang durch die Lesebewegung des Zellenblechs fortgesetzt. Diese Verschiebung geht je nach Lage des Schaltstifts (0 oder L) auf die Steuerbleche der Speicherschaltglieder über, die den somit abgetasteten Wert auf die Hebel ca" der Speichersteuerung übertragen. Abschließend wird wiederum das Zellenblech (Impuls S9, Takt IV, zweites Spiel) in seine Ausgangsstellung gebracht.

Abbildung 108: Symbolschaltplan der Speicherblöcke 10a-c

Abbildung 109: Impulsverteilung in den Speicherblöcken 10a-c

9 Hinweise zur Montage der Baugruppen

Um ein einwandfreies Funktionieren der Schaltblöcke der Z1 zu garantieren sind detaillierte Montagehinweise unerlässlich. Dies beginnt mit der exakten Platzierung der Funktionsblöcke auf dem Unterbau mit den in Kap. 8.3.3 beschriebenen Spezialbolzen. Es hat sich jedoch als zweckmäßig erwiesen, zuvor die Impulshebel und Bewegungshebel in der oberen und unteren Platte einzubauen. Hierzu existieren verschiedene Montagehilfen. Um die Anschlüsse der Impulsstangen an die Impulshebel auf die gewünschte Niveauhöhe zu bringen, stehen entsprechende Lehren zur Verfügung. Weiterhin ist es wichtig, daß diese Anschlüsse rechtwinklig (bzw. parallel) zu den oberhalb der oberen Platte liegenden Anschlüssen an die Schaltschichten stehen. Hierzu werden die Anschlußstifte mit Hilfe von Einrichtschablonen in ihrer Mittelstellung fixiert. Anschließend erfolgt das Ausrichten der Impulsanschlüsse mit einem Anschlagwinkel. Sie werden in ihrer exakten Lage verschraubt. Beim Einsetzen der Impulsstangen ist zu beachten, daß die Verbindungshaken in einheitlicher Stellung liegen, um eine Demontage des gesamten Blocks ohne vorherigen Ausbau der Impulsstangen zu gewährleisten. Die Lagerstellen der Impuls- und Bewegungshebel müssen in regelmäßigen Zeitabständen

geölt werden, da zur Lagerung kein Lagermaterial verwendet wurde. Die Montage der Schaltschichten erfolgt gemäß der Darstellungen in Kap. 8.3.1. Eine zusätzliche unerläßliche Hilfe stellen die Ablegepläne der Schaltbleche dar. Hierin ist die fest definierte Folge der Schaltbleche in einzelnen Zeichnungen mit entsprechenden Teilenummern festgehalten. Die beschriebene Reihenfolge ist unbedingt einzuhalten, da sonst die in den Schaltplänen geforderten Abläufe nicht garantiert werden können. In diesen Plänen befinden sich auch dünne Zwischenbleche, die zwar nicht direkt in den Schaltprozeß eingreifen, jedoch die Funktionstüchtigkeit der Schaltschichten erst ermöglichen. Sie verhindern ein unbeabsichtigtes Bewegen von Blechen aufgrund von Reibung und trennen eventuelle Stoßkanten von Blechen mit gegenläufiger Bewegungsrichtung. In Anhang A1 – A3 sind exemplarisch die Ablegepläne für den Lochstreifenleser, die Speichersteuerung und die Speicherblöcke beigelegt. Weiterhin ist bei der Montage der Schaltbleche sorgfältig darauf zu achten, daß diese wegen der Gleiteigenschaften absolut fettfrei eingebaut werden. Zur Erleichterung der Demontage der Schaltschichten wurden für die einzelnen Funktionsblöcke sogenannte Ablegeplatten angefertigt. In eine Metallplatte sind dünne Stahlstifte eingepreßt, die die gleiche Position aufweisen wie die Impulsanschlüsse in den Funktionsblöcken. Die demontierten Bleche können folglich in der gleichen Position abgelegt werden, in der sie dem Funktionsblock entnommen wurden.

Schlußwort

Vor 50 Jahren begann mit Konrad Zuse die Entwicklung der mechanischen programmgesteuerten Rechenmaschinen, die über die Elektrotechnik zur Elektronik in Rechenmaschinen führte. Die Mechanik in den programmgesteuerten Rechenmaschinen (der Begriff Computer setzte sich erst später durch) war gegenüber den viel schnelleren und weniger störanfälligen Relais nicht konkurrenzfähig. Im Laufe der Entwicklung wurden die Ja-Nein-Bauteile (Flipflop) in ihren äußeren Abmessungen immer kleiner, so daß der bis dahin für die mechanische Lösung geltende Vorteil des geringen Bauvolumens aufgehoben wurde. Einen wesentlichen Schritt auf diesem Wege stellten beispielsweise die Arbeiten von Prof. Dr. H. Zemanek dar, der mit seinem Gerät „Mailüfterl“ im Jahre 1959 den ersten voll transistorisierten Computer Europas konstruierte.^[35] Heute ist dieser Miniatürisierungsprozeß noch lange nicht abgeschlossen. Selbst die mikroskopische Größe für integrierte Schaltungen von 100 – 500 Nanometern (millionstel Millimeter) scheint in naher Zukunft durch sogenannte Quantenhalbleiterbauelemente noch weit unterschritten zu werden. Hiermit wird es möglich sein, die gesamte Schaltung eines „Supercomputers“ auf einem einzigen Chip unterzubringen.^[36] Das Ende dieses Entwicklungsprozesses ist sowohl auf technologischem als auch auf anwendungstechnischem Gebiet noch lange nicht abzusehen. Wie weit sich der

Mensch diese Entwicklung zunutze macht, hängt in erster Linie von ihm selbst ab. Die Vergangenheit und die Gegenwart zeigen uns, daß technischer Fortschritt leider nicht selten mißbraucht wird und dem Menschen Schaden zufügt anstatt ihm zu nützen. Daher bringt die Entwicklung des Computers eine große Verantwortung mit sich, insbesondere gegenüber zukünftigen Generationen. Es bleibt zu hoffen, daß der Computer so genutzt wird, wie es im Sinne des Erfinders gedacht war.

Anmerkungen

- ¹ Korte, Bernhard Zur Geschichte des maschinellen Rechnens
Bonn, Bouvier Verlag, 1981, S. 7
- ² Vorndran, Edgar Entwicklungsgeschichte des Computers
Fulda, VDE-Verlag GmbH Berlin, 1981, S. 13
- ³ Korte S. 11
- ⁴ Korte S. 9
- ⁵ Vorndran S. 16
- ⁶ Korte S. 13
- ⁷ Vorndran S. 19
- ⁸ Kaufmann, H. Die Ahnen des Computers
Econ Verlag, 1975
- ⁹ Vorndran S. 25 ff.
- ¹⁰ Kreber, Marion „Von Schickart bis Zuse“ Erfinder und Computer
Nagold, Semesterarbeit der Lehranstalt des Deutschen
Textileinzelhandels, 1982, S. 8
- ¹¹ Vorndran S. 36
- ¹² Vorndran S. 39
- ¹³ Korte S. 25
- ¹⁴ Vorndran S. 40 ff.
- ¹⁵ Vorndran S. 50
- ¹⁶ Korte S. 29
- ¹⁷ de Beauclair, W. Rechnen mit Maschinen
Germany, Vieweg Verlag Braunschweig, 1968, S. 24