



Title: Rechenplangesteuerte Rechengeräte für technische und wissenschaftliche Rechnungen.
Author(s): Konrad Zuse
Date: 1943
Published by: Konrad Zuse Internet Archive
Source: Document - ZIA ID: 0317

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.

Rechenplangesteuerte Rechengeräte für technische und wissenschaftliche Rechnungen*

Dipl.-Ing. Konrad Zuse
Ingenieurbüro und Apparatebau Berlin

1943

Inhaltsverzeichnis

Algebraische Rechengeräte	3
a) Leistung und Anwendungsgebiete ausgeführter und im Bau befindlicher Geräte.	3
b) Erweiterungsmöglichkeiten	4
Logistische Rechengeräte	5
a) Allgemeines	5
b) Aufgabenstellung	6
c) Leistung	6
Konstruktion der Rechengeräte	7
a) Das Relais als elementarer Baustein der Rechengeräte . . .	7
b) Elektromagnetische Relais Technik	8
c) Mechanische Relais Technik	8
d) Sonstige Konstruktionsteile	9
Rechenplangesteuerte Rechengeräte	10

*ZuP 009/006. Version 1, Anlagen 2 und 3 fehlen. Durchgesehen von R. Rojas, L. Scharf

Anlage 1: Beschreibung des im Bau befindlichen algebraischen Rechengegeräts (V4)	11
A) Tastatur und Anzeige	11
B) Rechenwerk	12
C) Speicherwerk	13
D) Planwerk	13
E) Arbeitsweise der Maschine	13
 Anlage 2: Rechenplan für die Küssnersche Determinante	 15
 Anlage 3: Beispiele für die Anwendbarkeit der logistischen Rechengegeräte auf verschiedenen Gebieten der Technik	 15

Zusammenfassung

Mit Rechnen wird in diesem Bericht ganz allgemein das Rechnen mit Umständen und Bedingungen bezeichnet. Das Rechnen mit Zahlen ist nur eine spezielle Art dieses allgemeinen Rechnens, das durch folgenden Satz definiert wird: Rechnen ist die Ableitung von Resultatangaben aus irgendwelchen gegebenen Angaben nach einer Vorschrift.

Alle Rechenaufgaben können in die Grundoperationen des Aussagenkalküls der Logistik aufgelöst und ihre Angaben, Zwischenwerte und Resultate als eine Folge von Ja-Nein-Werten dargestellt werden. Das konstruktive Rechenelement braucht daher nur zweier Stellungen fähig zu sein: eine entsprechende Anzahl einfacher elektrischer oder mechanischer Relais ermöglicht die Durchführung aller Rechenaufgaben.

In dem vorliegenden Bericht wird über selbsttätig rechnende Geräte berichtet, die auf diesen Erkenntnissen beruhen und selbst komplizierte und umfangreiche Rechnungen mit einfachen Relais bewältigen. Die Zahl der Rechenoperationen liegt beim Rechnen mit Zahlen zwischen 30 und 50 Operationen in der Minute.

Die Verschlüsselung der Ausgangswerte von der gebräuchlichen Form (beim Zahlenrechnen den Dezimalzahlen) in eine Folge von Ja-Nein-Werten und die Entschlüsselung der Resultatwerte führen die Geräte selbsttätig durch. Die Steuerung der Rechenvorgänge kann mittels einer Tastatur von Hand erfolgen.

Längere oder sich häufig wiederholende Rechengänge werden durch Rechenpläne, das sind Lochstreifen, die von den Rechengegeräten abgetastet werden, selbsttätig gesteuert. Ein Speicherwerk dient zur Aufnahme von Angaben, die errechnet und zu einem späteren Zeitpunkt wieder benötigt werden; die Abgabe der Werte an das Speicherwerk und ihre Entnahme aus demselben wird ebenfalls durch die Rechenpläne selbsttätig gesteuert. Die

Geräte, die schon geliefert oder im Bau sind, arbeiten mit Rechenplänen, die vom Menschen aufgestellt werden.

Die Wege, die zur Entwicklung von Rechengeräten führen, die für ein begrenztes Aufgabengebiet den Rechenplan, der für die Lösung einer Aufgabe benötigt wird, selbst aufstellen und herstellen, sind schon geklärt. Solche Rechengeräte werden nicht nur die Zahlenrechnungen durchführen, sondern auch selbst die Formeln ableiten, nach denen gerechnet werden muß. Damit eröffnet sich in noch viel weiterem Ausmaß als bei den algebraischen Rechengeräten die Möglichkeit, technische und wissenschaftliche Fachkräfte von schematischen Denk- und Rechenarbeiten zu befreien und dadurch deren Arbeitskraft zu vervielfachen.

Algebraische Rechengeräte

a) Leistung und Anwendungsgebiete ausgeführter und im Bau befindlicher Geräte.

Die ausführliche Beschreibung eines algebraischen Rechengeräts enthält Anlage Nr. 1. Diese Rechengeräte bestimmen selbsttätig das Resultat längerer Rechenabläufe der Zahlenrechnung, deren Glieder untereinander durch die Zeichen $+$, $-$, \cdot , $:$, $\sqrt{}$ verknüpft sind. Die auftretenden Funktionen können beliebig aufgebaut und von beliebigem Umfang sein, wenn die Resultatwerte der variablen Größe bzw. Größen durch eine bzw. mehrere algebraische Formeln bestimmt sind und in expliziter Form dargestellt werden können.

Für jede Formel wird ein Rechenplan aufgestellt, in dem die einzelnen Ausgangs-, Zwischen- und Resultatwerte numeriert und die mit diesen Werten auszuführenden Operationen chronologisch aufgezählt sind. Der Rechenplan wird chiffriert auf einen Lochstreifen übertragen, der vom Rechengerät abgetastet wird und der dabei dem Rechenwerk die entsprechenden Operationskommandos erteilt. Als einfachstes Beispiel eines Rechenplans diene der folgende:

$$\Delta_2 = \begin{bmatrix} V_1 & V_2 \\ V_3 & V_4 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{lcl} V_1 \times V_4 & = & V_5 \\ V_2 \times V_3 & = & V_6 \\ V_5 - V_6 & = & \Delta_2 \end{array}$$

Einen umfangreichen Rechenplan enthält Anlage Nr. 2.

Die Rechengeräte sind schaltungsmäßig und konstruktiv durchgebildet. Ein allgemeines Gerät dieser Art ist ausgeführt worden und hat einwandfrei gearbeitet. Es ist durch Fliegerschaden zerstört worden und seitdem nicht mehr brauchbar. Ein Spezialgerät ist seit 1942 in einem Rüstungswerk in Betrieb und bewährt sich gut. Dasselbe Werk hat zwei weitere Spezialgeräte bestellt, von denen eines ausgeliefert ist. Ein allgemeines algebraisches Rechengerät, das von einer staatlichen

Stelle in Auftrag gegeben wurde, ist noch im Bau; seine Entwicklung ist abgeschlossen. Als allgemeine Geräte werden diejenigen bezeichnet, die nach jedem beliebigen Rechenplan rechnen, als Spezialgeräte diejenigen, die nur für einen odere mehrere bestimmte Rechenpläne gebaut sind und daher nur nach diesen Plänen rechnen können.

Die algebraischen Geräte sind überall dort mit bester Wirkung einzusetzen, wo die gleichen Rechenmengen mit verhältnismäßig großem Zahlenaufwand durchgeführt werden müssen. Die Leistungen der Geräte liegen etwa bei 30 bis 50 Rechenoperationen pro Minute. Es können also z. B. Gleichungssysteme mit einer großen Zahl von Unbekannten in sehr kurzer Zeit numerisch durchgerechnet werden. Aber auch in Fällen, in denen der Rechenplan oft wechselt, sind die Geräte mit Erfolg anwendbar. Die Aufstellung der Rechenpläne erfordert nur etwa die gleiche Zeit wie sonst die erste Rechnung, erfolgt also ebenfalls sehr schnell. Die Geräte sind dabei wesentlich universeller als die bekannten Spezialgeräte anderer Hersteller, etwa zum Lösen von Gleichungssystemen, Determinanten usw., welche zum Teil ausgeführt und zum Teil entworfen sind.

Man kann z. B. mit den hier beschriebenen Geräten nicht nur die Gleichungen an sich lösen, sondern auch die gesamte vorbereitende Rechenarbeit, welche zur Bestimmung der Koeffizienten der Gleichung dient, damit bewältigen. Je nach Aufbau des Gleichungssystems können diese Rechnungen bekanntlich das Mehrfache des Rechenaufwands erfordern, der zur Lösung der eigentlichen Gleichungen erforderlich ist.

Ein weiterer Vorteil ist der, daß der einmal aufgestellte Rechenplan beliebig lange in Form von Lochstreifen aufbewahrt werden kann, ferner können zusammenhängende Rechnungen so aufgebaut werden, daß sie aneinander anschließen und Zahlenübertragungen nicht nötig sind. Nur bei verwickelten Fällen, wie sie in der Praxis häufig vorkommen, ist eine weitgehende Mitarbeit des Menschen erforderlich.

b) Erweiterungsmöglichkeiten

Die Leistung des algebraischen Rechengeräts kann erweitert werden auf das Rechnen mit:

- *Komplexen Größen.* Die Geräte rechnen selbsttätig komplex weiter, sobald komplexe Zahlen auftreten, ohne daß der Rechenplan geändert werden muß.
- *Trigonometrischen, hyperbolischen Funktionen* und ähnlichen, und ferner erweitert werden auf:
- *Bestimmung der Wurzeln algebraischer Gleichungen* 3. und höheren Grades.

- *Bestimmung von Größen*, die durch rechnerisch nicht erfaßbare Kurven gegeben sind (Speicherung einiger Funktionswerte und Interpolation der Zwischenwerte).
- *Numerische Integration von Differentialgleichungen*.

Außerdem können Unterpläne für innerhalb eines größeren Rechenplans vorkommende, stets wiederkehrende kleinere Rechnungsgänge aufgestellt werden (Anwendung z. B. auf Matrizenrechnung).

Die algebraischen Rechengерäte dienen im wesentlichen den Aufgaben der reinen Zahlenrechnung, wobei die Rechenpläne von starrer Natur sind (d.h. ist der Rechenplan, nach dem gerechnet werden soll, einmal ausgewählt, so läuft er starr ab, wobei lediglich die in ihm auftretenden Zahlenwerte variabel sind.) Für eine andere Rechnung muß erst ein anderer Plan gefertigt werden. Die aufgezählten Erweiterungsmöglichkeiten sind schaltungsmäßig schon zum Teil ausgearbeitet. Konstruktiv bieten sie keine schwierigen neuen Probleme gegenüber den schon ausgeführten Geräten.

Logistische Rechengерäte

a) Allgemeines

Unter Logistik versteht man bekanntlich die mathematische Logik oder die Algebra der Logik, welche insbesondere zur Aufgabe hat, die Richtigkeit mathematischer Sätze aus gegebenen Axiomen abzuleiten. Sie wird daher hauptsächlich in der mathematischen Grundlagenforschung angewandt. Außerhalb dieser Aufgabe hat sie bisher keine praktische Anwendung gefunden.

Es sind verschiedene Systeme entwickelt worden. In Deutschland hat sich in erster Linie der von Hilbert entwickelte Formalismus durchgesetzt. Der Grundformalismus besteht im sogenannten "Aussagenkalkül". Die "Werte" dieses Formalismus sind Aussagen, die richtig oder falsch sein können, also von zweifacher variabler Natur sind. Aus diesen können durch Verknüpfungen (Operationen) neue Aussagen gebildet werden, die wieder richtig oder falsch sein können. Die Grundoperationen des Aussagenkalküls sind folgende:

1. Konjunktion $A \wedge B$ (A und B)
2. Disjunktion $A \vee B$ (A oder B)
3. Negation \bar{A} (Nicht A)

Die Aussage $A \wedge B$ ist richtig, wenn sowohl A als auch B richtig ist, die Aussage $A \vee B$ ist richtig, wenn A richtig oder B richtig ist oder beide richtig sind. \bar{A}

ist immer dann richtig, wenn A falsch ist und umgekehrt. Mit Hilfe dieser drei Grundoperationen lassen sich grundsätzlich sämtliche überhaupt denkbare Rechenoperationen darstellen, wobei unter Rechenoperationen nicht nur solche mit Zahlen zu verstehen sind.

b) Aufgabenstellung

Während die algebraischen Rechengeräte mit Hilfe der Gesetze der Logistik nur Aufgaben der Zahlenrechnung lösen, sollen die noch in der Entwicklung befindlichen logistischen Rechengeräte auch solche schematischen Kombinationsaufgaben rechnerisch lösen, die über das Zahlenrechnen hinausgehen. Die Ausgangswerte der logistischen Rechnungen bestehen aus Umständen und Bedingungen, mit diesen wird gerechnet und das Resultat ermittelt. Unter Rechnen ist hier also nicht nur das Rechnen mit Zahlen, sondern ganz allgemein das Rechnen mit Umständen und Bedingungen zu verstehen, das durch folgenden Satz definiert wird: Rechnen ist die Ableitung von Resultatangaben aus irgendwelchen Angaben nach einer Vorschrift.

c) Leistung

Bei einem elektrischen Leitungssystem bestehen die Ausgangsangaben in der Aufzählung der Knotenpunkte des Leitungssystems und in der Aufzählung der durch Widerstände verbundenen Knotenpunkte. Das Resultat der Rechnung besteht z. B. in der Aufstellung der zum System gehörenden Stromverteilungsfunktion, das heißt der Rechenpläne, die für den Fall der zahlenmäßigen Festlegung der Widerstände (die zunächst nicht bekannt zu sein brauchen) die Stromverteilung zu errechnen gestatten. Dazu können allgemeine Kriterien bzw. Aussagen über das System kommen wie: „Es handelt sich um zwei nicht zusammenhängende Teilsysteme“, „Es handelt sich um eine einfache Brückenschaltung“, usw. In der Statik z. B. kommen ähnliche Systeme in Frage:

- Ebene Stabwerke,
- Räumliche Stabwerke,
- Ebene Rahmenwerke,
- Kombination aus Stab- und Rahmenwerken, eben und räumlich,
- Schalenwerke, usw.

Die Gesetze jedes einzelnen dieser Systeme lassen sich durch logistische Formeln erfassen und hiernach „freie Rechenpläne“ aufstellen, welche mechanisch auf sinnvolle Fragen auf dem betreffenden Gebiet die sich nach der Vorschrift ergebenden

Antworten geben. Diese Rechenpläne heißen “freie” Rechenpläne im Gegensatz zu “starren” Rechenplänen, weil bei ihnen der Rechenablauf nicht nach einem starren Schema erfolgt, sondern weil sie je nach der gegebenen Aufgabe verschieden ablaufen. Ist solch ein freier Rechenplan einmal aufgestellt, so gilt er für alle Aufgaben eines bestimmten Typs, d.h. der Rechenplan gibt Antworten auf alle Fragen, die innerhalb eines fest umgrenzten Systems sinnvoll und lösbar sind. Ein Beispiel soll dies veranschaulichen. Gegeben seien die bekannten Beziehungen:

$$\begin{aligned}s &= \frac{b}{2} \cdot t^2 \\ v &= b \cdot t\end{aligned}$$

Durch diese beiden Gleichungen sind s , b , t , v miteinander verknüpft, so daß nicht mehr alle vier Größen unabhängig von einander beliebige Werte annehmen können. Die in diesem Formelsystem sinnvollen Aufgabenstellungen sind nun sehr mannigfach, z. B. kann b und s gegeben sein und t verlangt sein, oder t und s gegeben sein und v verlangt. Für jede dieser mannigfachen Aufgabenstellungen ist der Ablauf der Rechnung anders. Bei den algebraischen Rechengeräten muß für jede dieser Aufgaben ein eigener Rechenplan aufgestellt werden, was natürlich erst bei umfangreichen Formeln wirtschaftlich ist. Bei den logistischen Rechengeräten ist nur ein einziger freier Rechenplan erforderlich, der zunächst prüft, ob die vorgelegte Aufgabe überhaupt sinnvoll bzw. unbestimmt oder überbestimmt ist, und der dann den Rechengang festlegt, wobei der Rechenplan selbsttätig feststellt, daß es sich z. B. bei Ableitung von v aus s und t um Lösung zweier Gleichungen mit zwei Unbekannten handelt. In der Anlage Nr. 3 sind weitere Beispiele angeführt.

Es ist offensichtlich, daß die Vorteile der logistischen Rechengeräte gegenüber den algebraischen Geräten sehr groß sind. Sie eröffnen der selbsttätigen maschinellen Rechnung eine Fülle neuer Aufgaben, die derzeit noch eine große Zahl von Menschen bindet.

Die folgenden Ausführungen über die Konstruktion der Rechengeräte werden zeigen, daß die für die algebraischen Geräte entwickelten Konstruktionselemente unverändert für die logistischen Geräte übernommen werden können.

Konstruktion der Rechengeräte

a) Das Relais als elementarer Baustein der Rechengeräte

Wie bereits erwähnt (siehe Seite 5) können grundsätzlich alle Rechenoperationen in die Grundoperationen des Aussagenkalküls, Konjunktion ($A \wedge B$), Disjunktion ($A \vee B$) und Negation (\bar{A}) aufgelöst werden. Konstruktiv bedeutet dies, daß die

Geräte, soweit sie der Durchführung der eigentlichen Rechenoperationen dienen, aus Relaisschaltungen aufgebaut werden können.

Die Schaltungen werden nur durch die zu lösenden Aufgaben bestimmt, von der Art der verwendeten Relais sind sie unabhängig. Daher ist jede Relaisart, d.h. jeder steuerbare Schalter, für die Lösung aller Rechenaufgaben verwendbar; eine einmal entwickelte Relais-technik kann bei allen Rechenaufgaben angewandt werden: Das Relais bildet den elementaren Baustein der beschriebenen Rechengeräte. Geräte für verschiedene Aufgaben haben verschiedene Schaltungen, können aber mit dem gleichen, vielfach vorkommenden, aber einfachen und billigen Schaltglied ausgerüstet werden.

b) Elektromagnetische Relais-technik

In die ersten ausgeführten Rechengeräte wurden *elektromagnetische Relais* eingebaut, weil diese fertig vorlagen. Es wurden normale Fernsprechrelais mit ein oder zwei Wicklungen und mit verschiedenen Kontaktanordnungen verwandt, die durch Schrittschalter gesteuert werden. In dieser Relais-technik wird die Konjunktion durch Hintereinanderschalten, die Disjunktion durch Parallelschalten und die Negation durch Ruhekontakte dargestellt.

Der Hauptvorteil der elektromagnetischen Relais-technik ist der, daß die Entwicklung bereits abgeschlossen vorliegt und man mit genormten und in Serie gefertigten Teilen arbeiten kann. Außerdem eignet sie sich besonders zum Aufbau von Versuchsschaltungen, da man in dieser Technik komplizierte Schaltungen verhältnismäßig schnell aufbauen und verdrahten kann. Diese Technik ist daher die gegebene, um zunächst einmal den grundsätzlichen Aufbau der Schaltungen an Versuchsgeräten auszuprobieren. Der Nachteil der elektromagnetischen Technik ist der verhältnismäßig große Aufwand für ein einziges Rechengerät. Man benötigt viele Relais und daher umfangreiche und schwere Relaisgestelle. Ferner ist eine besondere Schwachstromquelle erforderlich.

c) Mechanische Relais-technik

Für die neuen Rechengeräte wurde ein *mechanisches Relais* entwickelt, das die Nachteile des elektrischen Relais nicht aufweist und sich letzterem gegenüber durch kleinere Abmessungen, größere Betriebssicherheit und Unempfindlichkeit gegen Staub und Witterungseinflüsse auszeichnet. Es besteht im wesentlichen aus gestanzten Blechen mit stets wiederkehrenden Grundformen. Die Konstruktion ist nach dem Baukastenprinzip durchgebildet und die Normung der einzelnen Teile durchgeführt.

Beim augenblicklich verhältnismäßig groben Maßstab nimmt z. B. ein Speicher-

werk aus mechanischen Relais mit 1000 Speicherzellen einen Raum von etwa 1–2 qm Grundfläche ein. Für den gleichen Zweck wären 45 000 elektromagnetische Relais erforderlich, die einen Saal mit Relaisgestellen ausfüllen würden. Bei den Rechenwerken ist die Platzersparnis entsprechend. Würde man mechanische Geräte mit der gleichen Präzision wie Taschenuhren bauen, so könnte man sie auf das Format normaler Schreibmaschinen bringen. In dieser Größe könnten diese Geräte nicht nur in Fahrzeuge oder Schiffe, sondern sogar in Flugzeuge eingebaut werden. Die billige Massenherstellung der mechanischen Relais ermöglicht billigen Nachbau kompletter Ersatzgeräte, die z. B. wegen der Luftgefahr an sicherer Stelle bereitgehalten werden können. Die entwickelten Relaisstechniken können unverändert für die logistischen Rechenmaschinen verwandt werden.

d) Sonstige Konstruktionsteile

Nur dort, wo die Rechengeräte mit anderen Geräten oder mit dem Menschen in Verbindung treten, sind besondere konstruktive Elemente erforderlich: Tasten, Anzeigevorrichtung, Abtaster, Locher, Lampen, Druckwerke usw. Zum Teil konnten genormte Teile des Fernsprechbaus verwendet werden, zum Teil mußten neue Bauteile entwickelt werden.

Rechenplangesteuerte Rechengeräte

Algebraische Rechengeräte Grundform ¹	Erweiterungen	Logistische Rechengeräte
Starre Rechenpläne für Zahlenrechnung.	Häufig wiederkehrende Rechnungen mit umfangreichem Zahlenmaterial.	Freie Rechenpläne
Allgemeiner Natur z. B. für	Spezielle Weiterentwicklungen für	Selbsttätige Lösung verschiedenster Aufgaben innerhalb geschlossener Systeme
Determinanten	komplexe Rechnungen	Kombinatorisches Rechnen mit
Gleichungssysteme	trigonometrische Funktionen	Bedingungen,
Produktsummen usw.	Wurzeln algebraischer Gleichungen höheren Grades	Umständen,
Alle Rechnungen beliebigen Umfangs, die sich aus den elementaren Rechenoperationen zusammensetzen.	Auswertungen tabellarisch gegebener Funktionen	Situationen usw.
	Numerische Integration	Selbsttätige Ausarbeitung von Rechenplänen
	Matrizenrechnung usw.	
<i>Stand:</i>		
Konstruktiv durchgebildet	Schaltungen zum Teil entworfen	Schematischer Ansatz in Arbeit
Versuchsgeräte gebaut	Keine prinzipiellen Schwierigkeiten	Konstruktiver Weg klargelegt
Spezialmodell im Einsatz		
Allgemeines Gerät im Bau		

Anlage 1: Beschreibung des im Bau befindlichen algebraischen Rechengерäts (V4)

Es handelt sich um eine algebraische Rechenmaschine, welche zur Aufgabe hat, längere schematische Rechenabläufe der Zahlenrechnung selbsttätig durchzuführen. Eine schematische Darstellung eines solchen Geräts zeigen die Abbildungen 1, 2. Das Gerät besteht aus fünf Hauptteilen.

A) Tastatur und Anzeige

Tastatur und Anzeige-Vorrichtung zum Eintasten der Ausgangswerte, zum Ablesen der Resultatwerte und zum Herstellen der Rechenpläne. Das Eintasten der Werte erfolgt durch eine sogenannte Zehnertastatur mit 10 Tasten für die Ziffern 0–9, dazu kommen die Tasten „“, „Vorzeichen“, „imaginär“, „Irrtum“, „fertig“, „0“, „“, $\times 10^6$, $\times 10^{-6}$. Die Zahl wird wie bei einer Schreibmaschine einschließlich des Kommas getastet. Also z.B.

$$-0,00347 \times 10^{-6}.$$

Es können jedoch nur Ziffernfolgen von 5 von 0 verschiedenen Ziffern getastet werden. Also z.B. 85 431 000 aber nicht 85 431 026.

Die Anzeige der Resultatwerte erfolgt entsprechend so, daß die Folge der von 0 verschiedenen Ziffern angezeigt wird und relativ dazu die Lage des Kommas. Eventuell wird noch ein Potenzfaktor angezeigt. Wir haben ferner die Anzeigen für „0“, „ ∞ “, „unbestimmt“, „imaginär“, „Vorzeichen“, „unbestimmt“. Die Anzeige der Zahlen erfolgt zunächst durch Aufleuchten von Lampen, später sind andere Mittel vorgesehen.

Die Kommandotastatur zerfällt in die Kommandotasten für die einzelnen Operationen und in die Kommandotasten für die Speicherzellen. Es können folgende Operationen kommandiert werden:

a) Hauptoperationen:

$$\begin{array}{rcl} x & + & y \\ x & - & y \\ -x & + & y \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} x & \cdot & y \\ x & : & y \\ & \sqrt{x} & \end{array}$$

b) Hilfsoperationen:

$$\begin{array}{rcl} -x & x/2 & \text{Maj}(x, y) \\ |x| & 2x & \text{Min}(x, y) \\ x^2 & 10x & \text{Fpos}(x) \\ 1/x & \pi \cdot x & \text{Sign}(x) \end{array}$$

x und y sind die beiden Operanden. Die Hauptoperationen entsprechen den Grundoperationen $+$, $-$, \times , $:$, $\sqrt{}$. Die Subtraktion kann so kommandiert werden, daß der erste und so, daß der zweite Operand negativ ist. Es folgen dann eine Reihe von Hilfsoperationen, wie Vorzeichen, Umkehrung, Absolutwertbildung, Reziprokwertbildung, Halbierung, Verdoppelung, Multiplikation mit 10 und mit π . $\text{Maj}(x, y)$ bewirkt die Auswahl des größeren Wertes von x, y . $\text{Min}(x, y)$ die Auswahl des kleineren. $\text{Fpos}(x)$ ist für negative x gleich Null und für positive x gleich x . $\text{Sign}(x)$ ist für positive x gleich $+1$ und für negative x gleich -1 .

Mit Hilfe der *Speicherwerkstasten* können die einzelnen Speicherzellen geschaltet werden, und zwar sowohl zum Ablesen als auch zum Speichern. Wir haben 16 Gruppen von Speicherzellen zu je 64 Zellen, also im ganzen 1024 Speicherzellen.

B) Rechenwerk

Dem Rechenwerk fällt die Durchführung der eigentlichen Rechenoperationen zu. Zunächst werden die von der Tastatur kommenden Werte aus dem Dezimalsystem ins Sekundalsystem übersetzt (Zahlensystem mit der Basis 2, auch Dualsystem oder Dyadik genannt.) Dieses hat den Vorteil, daß die Relaischaltungen besonders einfach ausfallen. Die Übersetzung erfolgt vollautomatisch, ebenso die Rückübersetzung der Resultatwerte ins Dezimalsystem. Die bedienende Person merkt von diesem Vorgang überhaupt nichts. Die möglichen Rechenoperationen sind oben (Kommandotastatur) aufgeführt. Das Rechenwerk hat 2 Bereitschaftsspeicher, auf denen die beiden Operanden zunächst gespeichert werden. Das Resultat kann auf einem dieser Speicher abgesetzt werden bzw. gleich ins Speicherwerk gegeben werden. Das Rechenwerk arbeitet mit einer Genauigkeit von etwa 7-8 Dezimalstellen. Die Größenordnung der Zahlen kann sich jedoch zwischen 10^{+20} und 10^{-20} bewegen. Zu diesem Zweck werden die Zahlen in der Form

$$y = 2^a \cdot b$$

verschlüsselt, wobei a ganzzahlig ist und b zwischen 1-2 liegt. Die Größenordnung der Zahlen wird durch die Maschine selbsttätig bestimmt. Ebenso erfolgt die Bestimmung des Vorzeichens selbsttätig.

Die Verwendung der halblogarithmischen Form ist bei technischen Rechnungen angebracht, da hier innerhalb der gleichen Rechnung die Zahlen von sehr verschiedener Größenordnung sein können. Da die Genauigkeit aber nur beschränkt zu sein braucht, so wird selbsttätig nicht jedes Mal der ganze Stellenbereich der Zahlen durch die Rechnung hindurchgeschleppt. Besonders vorteilhaft wirkt sich dies auf den Umfang der Speicherwerke aus. Treten Zahlen auf, die die angegebene Größenordnung ($10^{-20} < x < 10^{+20}$) überschreiten, so gibt die Maschine den Bereich an, in dem das Resultat liegt.

Z.B. „sehr groß“ + „sehr groß“ = „sehr groß“
 „sehr groß“ – „sehr groß“ = „unbestimmt“
 0/0 = „unbestimmt“

Wird dann z.B. das Zeichen „unbestimmt“ mit weiteren Zahlen kombiniert, so ist das Resultat wieder unbestimmt. Auf diese Weise wird vermieden, daß die Maschine Fehlresultate errechnet, wenn sie längere Rechengänge ohne Aufsicht des Menschen macht.

C) Speicherwerk

Das Speicherwerk dient der Aufnahme der Ausgangs- und Zwischenwerte einer Rechnung. Es besteht aus mehreren Zellen (einigen hundert bis tausend, je nach Ausbau) und kann je Zelle eine Zahl aufnehmen (einschließlich Vorzeichen und Angabe über die Lage des Kommas). Die einzelnen Speicherzellen können durch ein Wählwerk W angerufen werden und es können jederzeit vom Rechenwerk her Zahlen auf jede beliebige Speicherzelle übertragen werden und umgekehrt.

D) Planwerk

Dem Planwerk fällt die Aufgabe der Steuerung der Gesamtanlage durch den Rechenplan zu. Von hier aus werden einerseits die Befehle an das Wähl-Werk und das Speicherwerk gegeben, um die Operanden einer Operation auf das Rechenwerk zu übertragen bzw. das Resultat einer Operation zu speichern und andererseits Befehl an das Rechenwerk über die auszuführenden Rechenoperationen. Dazu kommen die Befehle, die das Übertragen von Zahlen von der Tastatur auf das Rechenwerk und zum Anzeigen der Resultate bewirken. Die Rechenpläne sind auf Lochstreifen festgehalten und werden durch Abtaster schrittweise abgetastet. Die Speicherzellennummern und Operationsbefehle sind verschlüsselt, so daß jedem einzelnen Befehl eine bestimmte Lochkombination zugeordnet ist.

Zum Planwerk gehört noch eine Vorrichtung zum Herstellen der Lochstreifen. Diese besteht in der Hauptsache aus einem Locher, durch welchen die Papier- bzw. Filmstreifen mit den erforderlichen Lochkombinationen versehen werden. Die Steuerung erfolgt durch die Kommandotastatur.

E) Arbeitsweise der Maschine

Beim Arbeiten der Maschine hat man folgende Möglichkeiten:

1. *Arbeiten ohne Rechenplan.* In diesem Falle werden sämtliche Kommandos von Hand am Kommandopult eingetastet. Man tastet nacheinander

die Ausgangswerte in die Maschine und gibt nach jeder Eintastung das Speicherkommando, welches angibt, auf welcher Zelle die Zahl gespeichert werden soll. Darauf gibt man die Kommandos für die einzelnen Operationen. Z.B. lauten die Kommandos für $\sqrt{a^2 + b^2}$ wie folgt:

gegeben $a = v_1, b = v_2$

gesucht $\sqrt{v_1^2 + v_2^2}$

Rechenplan

$$\begin{aligned} v_1^2 &= v_3 \\ v_2^2 &= v_4 \\ v_3 + v_4 &= v_5 \\ \sqrt{v_5} &= \text{Res} \end{aligned}$$

Zugehörige Befehlsfolge	Bedeutung
↗	Tastatur → Rechenwerk, Übersetzen
Sp 1	Speichern auf Zelle 1
↗	Tastatur → Rechenwerk, Übersetzen
Sp 2	Speichern auf Zelle 2
Ab 1	Ablesen von Zelle 1
x^2	Quadrieren
Sp 3	Speichern auf Zelle 3
Ab 2	Ablesen von Zelle 2
x^2	Quadrieren
Sp 4	Speichern auf Zelle 4
Ab 3	Ablesen von Zelle 3
Ab 4	Ablesen von Zelle 4
+	Addieren
Res.	Anzeigen des Resultats

2. *Arbeiten ohne Rechenplan und gleichzeitiges Registrieren des Rechenplans.* Bei der Arbeitsweise entsprechend 1. kann gleichzeitig der zugeordnete Rechenplan mitgelocht werden. Die Herstellung des Rechenplans erfordert also keinesfalls mehr Arbeit als die erste Rechnung.
3. *Herstellen des Rechenplans.* Soll nur der Rechenplan hergestellt werden, so werden die Kommandos entsprechend 1. gegeben, jedoch ohne Eintastung der Ausgangswerte. Die Herstellung des Rechenplans erfolgt in diesem Falle also noch schneller als entsprechend 2. Allerdings muß eine Kontrolle des Rechenplans mit einem einfachen Zahlenbeispiel erfolgen.
4. *Arbeiten mit Rechenplan.* Beim Arbeiten mit Rechenplan braucht nur der Rechenplan in den Abtaster eingesetzt und die Ausgangswerte in der richtigen Reihenfolge eingetastet zu werden. Der weitere Ablauf ist dann vollautomatisch. Zur Erleichterung des Eintastens haben wir ein Lampenfeld F

(siehe Abb. 2), auf welches das Zahlenprotokoll für die betreffende Durchrechnung des Rechenplans aufgelegt wird. In den Rechenplan lassen sich nun Lampenfeldschaltbefehle einfügen, welche die Lampen so schalten, daß jeweils die zu tastende Zahl aufleuchtet. Die Lampenfeldschaltbefehle werden bei der Herstellung des Rechenplans durch Tasten gegeben.

Durch dieses Lampenfeld werden falsche Tastungen weitgehend vermieden, da Irrtümer über die zu tastende Zahl nicht möglich sind.

5. *Getrennte Durchführung von Rechnung und Eintastung der Werte.* Um das Gerät und die Bedienungsperson besser auszunutzen, kann das Speicherwerk in zwei Gruppen geteilt werden. Während die eine Gruppe mit dem Rechenwerk zusammenarbeitet und einen Rechenplan durchrechnet, können in die andere Gruppe unabhängig davon schon die Werte der nächsten Rechnung gegeben werden. Anschließend werden die Rollen der beiden Speichergruppen vertauscht.
6. *Resultatwerte der einen Rechnung als Ausgangswert der nächsten.* In einer Gruppe zusammengehöriger Rechnungen können die einzelnen Rechenpläne so aufgebaut werden, daß es lediglich zu Kontrollzwecken nötig ist, einzelne Zahlen herauszunehmen und anzuzeigen. Im übrigen können die Resultatwerte der einen Rechnung, welche als Ausgangswert der nächsten dienen, sofort im Speicherwerk verbleiben, ohne daß eine Übertragung durch den Menschen erforderlich ist. Auf diese Weise werden zahlreiche Fehler vermieden, welche durch das fehlerhafte Arbeiten des Menschen eintreten könnten.

Anschließend sei als Beispiel noch ein Rechenplan gegeben, der die Ausrechnung der sogenannten „Küssner-Determinante“ betrifft.² Diese Rechnung kommt sehr häufig bei Untersuchungen von Flugzeugen auf Flattererscheinungen vor.

Anlage 2: Rechenplan für die Küssnersche Determinante

Anlage 3: Beispiele für die Anwendbarkeit der logistischen Rechengерäte auf verschiedenen Gebieten der Technik

²Der erwähnte Rechenplan ist ein ausführliches Programmierungsbeispiel, das wir aus Platzgründen hier nicht wiedergeben. Das Beispiel an sich ist für den Leser, der sich mit der Programmierung auskennt, überflüssig.