

ZEITSCHRIFT
FÜR
VERMESSUNGSWESEN

Im Auftrage des
DEUTSCHEN VEREINS FÜR VERMESSUNGSWESEN

herausgegeben von
Dr.-Ing. R. Finsterwalder
Professor an der Technischen Hochschule München
und
Dr.-Ing. W. Großmann
Professor an der Technischen Hochschule Hannover

79. Jahrgang

1954

Mit zahlreichen Textfiguren und vier Kartenbeilagen

VERLAG KONRAD WITTWER STUTTGART

**Programmgesteuerte Relaisrechenmaschine für geodätische Massenberechnungen
nach Reg.Kulturrat Heinrich Seifers**

Mitteilung aus dem Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut

Reg.Kulturrat H. Seifers hat in Zusammenarbeit mit der I. Abt. des Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts eine programmgesteuerte Relaisrechenmaschine gebaut. Die Maschine arbeitet im binären Zahlensystem mit 23 Dualstellen und kann algebraische und trigonometrische Formeln mit einer Genauigkeit von 10^{-6} selbsttätig durchrechnen. Es braucht für eine bestimmte Formel nur der Anfangswert im dekadischen System eingetastet zu werden. Die Maschine führt alle Zwischenrechnungen und Speicherungen durch und zeigt das Ergebnis im dekadischen System an. Die Funktionen \sin , \cos und \arcsin werden aus ihren Potenzreihen selbsttätig berechnet. Die in die Maschine fest eingebauten Reihenkoeffizienten wurden mit Hilfe Tschebyscheff'scher Polynome so verbessert, daß bei einer Rechengenauigkeit von 10^{-6} die Sinusreihe mit dem 4. Glied und die Arkussinusreihe mit dem 7. Glied abgebrochen werden konnte. Die Cosinusfunktion wird mit der Formel $\sqrt{1 - \sin^2 x}$ errechnet. Die Maschine ist für 14 Formeln bemessen, welche für die Flurbereinigung und Landesvermessung erforderlich sind. Zur Zeit ist eine Formel und das Wurzelziehen betriebsfertig.

Ellenberger, München.

Zur Entwicklung einer programmgesteuerten Relaisrechenmaschine

Von H. Ellenberger, München

Die großräumige Zusammenfassung von Vermessungsunterlagen erfordert umfangreiche geodätische Massenberechnungen. Mit den zur Zeit verwendeten Rechenmitteln sind diese Rechnungen kaum in Jahrzehnten zu lösen. Zur Durchführung dieser Aufgaben werden gut bewertete Fachkräfte benötigt. Im Hinblick auf das umfangreiche Zahlenmaterial, welches bei der Zusammenfassung von Vermessungsunterlagen aufbereitet werden muß, sind bis heute moderne Rechenhilfen noch wenig benutzt worden. Die neuesten Rechengeräte ermöglichen es, eine Multiplikation in 10^{-5} bis 10^{-6} sec durchzuführen und arbeiten auf elektronischer Grundlage. Die Häufung der elektronischen Schaltelemente in den modernen Rechenmaschinen bedingt einen gewissen Fehleranteil in den Rechenergebnissen. Nach dem derzeitigen Stand der Röhrentechnik bleibt ein gewisser Fehleranteil unvermeidbar, mit welchem die hohe Rechengeschwindigkeit erkaufte werden muß. Aus diesem Grunde sind die elektronischen Rechenmaschinen für geodätische Massenberechnungen zur Zeit noch wenig geeignet. Die Relaisrechenmaschinen liegen mit ihrer Rechengeschwindigkeit zwischen den elektronischen und mechanischen Maschinen und gewährleisten große Betriebssicherheit. Diese verdanken sie der seit Jahrzehnten bekannten und erprobten Relais-technik, welche betriebssicher arbeitet. Es erscheint daher zweckmäßig, für geodätische Massenberechnungen, Relaismaschinen zu benutzen.

Die bisher entwickelten Relaisrechenmaschinen benötigen für Programmrechnungen besonders vorbereitete Lochstreifen. Dies bedingt einen besonderen Arbeitsaufwand bei der Programmvorbereitung und einen hohen Preis der Maschine, welche dafür sehr vielseitig verwendbar ist. Bei geodätischen Massenberechnungen ist es jedoch möglich, mit wenigen bekannten Rechenprogrammen auszukommen und somit eine einfachere und billigere Relaisrechenmaschine zu verwenden. Diese Zusammenhänge hat Reg.Kulturrat Seifers erkannt und eine programmgesteuerte Relaisrechenmaschine entwickelt, welche algebraische und trigonometrische Formeln selbsttätig durchzurechnen vermag. Die I. Abt. des DGFI hat in Zusammenarbeit mit Reg.Kulturrat Seifers ein erstes Modell der programmgesteuerten Relaisrechenmaschine gebaut.

Die Maschine arbeitet im binären Zahlensystem. Die Anfangswerte einer algebraischen oder trigonometrischen Formel werden im dekadischen Zahlensystem eingetastet. Die Maschine rechnet die gewählte Formel binär durch und zeigt das Ergebnis dekadisch an. Die Funktionen \sin , \cos und \arcsin werden aus ihren Potenzreihen errechnet. Um die Rechendauer bei gegebener Rechengenauigkeit möglichst klein halten zu können, wurden die Reihenkoeffizienten durch Tschebyscheffsche Polynome so verbessert, daß die Reihen früher abgebrochen werden konnten. Über Einzelheiten zu den Tschebyscheffschen Polynomen sei auf die Arbeit von Dr. Martha Näbauer (I. Abt. des DGFI) verwiesen.¹⁾

Die Maschine umfaßt 583 Relais, 1550 Gleichrichtereinheiten und 22 Drehwähler sowie etwa 15000 Lötungen. Sie wurde durch bekannte Rechnungen der Flurbereinigung, durch Rechnungen, wie sie bei einer Netzausgleichung anfallen und durch Testrechnungen erprobt und mit Erfolg von ungelernten Arbeitskräften bedient. Die Multiplikationsdauer beträgt 2,8 sec. Die Rechenmaschine wurde am 29. 1. 1954 dem Flurbereinigungsamt München übergeben und dort durch Vergleichsrechnungen erprobt. Reg.Kulturrat Seifers berichtet in dieser Zeitschrift über weitere Einzelheiten zur Relaisrechenmaschine und ihrer Erprobung.

Die Untersuchungen bei der I. Abt. des DGFI zeigten, daß die Überlegungen zum Bau der Maschine sowie die technische Gestaltung richtig sind. Obwohl aus wirtschaftlichen Gründen für das erste Modell der Seifers'schen Maschine lediglich gewöhnliche Relais verwendet wurden, können Rechnungen für die Flurbereinigung bereits mit etwa 50% Zeitersparnis durchgeführt werden. Ein großer Teil der Rechenzeit wird durch das Eintasten und Aufschreiben der Zahlenwerte bedingt. Die Rechengeschwindigkeit könnte durch Verwendung einer elektrischen Schreibmaschine, welche die Ergebnisse aufschreibt, gesteigert werden. Eine weitere Steigerung kann bei Verwendung von Relais mit kürzerer Ansprechzeit erzielt werden. Die Maschine arbeitet um so zeitsparender, je umfangreicher eine einzelne Programmformel ist. Damit bietet sich die Maschine außer für geodätische Massenberechnungen insbesondere auch für optische Rechnungen an.

Rechenautomat SM 1 für Vermessung und Flurbereinigung

Von Heinrich Seifers, München

1. Einleitung

Daß die Flurbereinigung mit allen Mitteln gefördert und beschleunigt werden soll, ist allgemein bekannt. Ein großes Hemmnis in der Entfaltung eines wirklich schnellen Verfahrensganges ist aber das Gebot, die Flurbereinigung mit einer Neuvermessung mit all ihren zeitraubenden Rechen- und Zeichenarbeiten zu verbinden. Als Ausweg aus dieser Lage wurde daher von mancher Seite angestrebt, diese Neuvermessung zurückzustellen oder zumindest die exakten Rechenarbeiten durch graphische oder halbgraphische Ermittlung der Längen- und Flächenmaße aus kartierten Handrissen oder Katasterplänen zu ersetzen und auf die gebotene Genauigkeit der Flächen und Grenzen neu vermarkter Grundstücke zu verzichten. Verfasser aber, der sich zu dieser Abkehr der Flurbereinigung von der exakten Geodäsie nicht bekennen möchte, wurde im Februar 1952 durch einen Zeitungsbericht über die Elektrischen Gehirne der Neuen Welt auf den Gedanken gebracht, den Einsatz geeigneter Rechenroboter im technischen Verfahren der Flurbereinigung vorzuschlagen und die Konstruktion eines Mustergeräts zu übernehmen, das die in der Dienstanweisung festgelegten Formeln automatisch durchrechnet.

Nicht geringer als die Sorgen der Flurbereinigung sind die der Landesvermessung. So fallen bei der zur Zeit laufenden großräumigen Zusammenfassung der Triangulierungsunterlagen umfangreiche Massenberechnungen, wie Winkelumwandlungen von Altgrad in

¹⁾ Veröffentl. der DGK, Reihe A, Nr. 13.

Neugrad und Ableitungen von Richtungswinkeln und Seiten im Zuge der Netzausgleichung an, die mit den bis jetzt zur Verfügung stehenden Rechenmitteln in absehbarer Zeit nicht bewältigt werden können. Es trug sich daher die I. Abt. des Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts gleichfalls mit der Absicht, eine programmgesteuerte Relaisrechenmaschine für geodätische Massenberechnungen zu entwickeln und auch in der geodätischen Forschung einzusetzen.

Nachdem sich nun das Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten mit dem Gedanken des Verfassers einverstanden erklärte und das Bayer. Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr in dankenswerter Weise eine Zuwendung gewährte, konnte Verfasser nach einer rein papiermäßigen Entwicklungstätigkeit von über einem Jahr im April 1953 in Zusammenarbeit mit der I. Abt. des Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts mit dem Bau des Musterautomaten beginnen. Es wurde damals im Akkord gearbeitet, und wenn auch die im August 1953 stattgefundene Ausstellung „Die Flurbereinigung in Bayern“ verpaßt wurde, so konnte das Rechengerät doch im September 1953 anlässlich des Internationalen Kurses für geodätische Streckenmessung in der Technischen Hochschule München mit einem betriebsfertigen Berechnungsprogramm gezeigt werden. Über den damaligen Stand wurde in einer kurzen Mitteilung ZfV Nr. 10/1953 S. 351 bereits berichtet.

Da Verfasser als Vorsitzender von Flurbereinigungsgenossenschaften sich nur zeitweilig mit dem Bau der Rechenmaschine beschäftigen kann, ist das Gerät auch heute noch nicht fertiggestellt. Inzwischen konnten aber von den vorgesehenen 14 Formeln 8 Rechenprogramme verdrahtet werden, bei denen alle Operationen des Automaten in Funktion treten, sodaß die Richtigkeit und Brauchbarkeit der Konstruktion bewiesen und mit der Neuerung nunmehr an die Öffentlichkeit getreten werden kann.

2. Aufbau des Rechenautomaten

Der Rechenautomat SM 1 ist eine „programmgesteuerte Rechenmaschine“. Es erübrigt sich, die Grundzüge dieses neuartigen Gerätetyps nochmals darzulegen, nachdem hierüber von Prof. Dr. K. Schwidofsky in ZfV Nr. 4/1952 S. 104 bereits ausführlich berichtet wurde. Verfasser will jedoch im Zusammenhalt mit jenem Aufsatz konstruktive Eigenheiten des vorliegenden Automaten bekanntgeben.

Der Rechenautomat SM 1 bedient sich des reinen, unverschlüsselten Dual-Systems mit feststehendem Komma am linken Ende der Zifferngruppe. Diese Zahlendarstellung ergibt nicht nur das einfachste Rechenwerk, sie ist vielmehr im Hinblick auf die Art der in der niederen Geodäsie zu verarbeitenden Rechengrößen das gegebene. Die Rechengenauigkeit soll 6 dekadische Stellen betragen. Wäre das Komma rechts, so würden diese durch 20 Dualstellen ausgedrückt werden können. Die aus technischen Gründen vorteilhaftere Komma-stellung links bewirkt jedoch, daß nun den 6stelligen Dezimalbrüchen in der Regel unendliche Dualbrüche entsprechen und es mußten daher 23 Dualstellen vorgesehen werden, um die 6. Dezimalstelle zu sichern. Die Maschine faßt also die in der Geodäsie auftretenden Maße der Länge in Einheiten von 10 km ($,000001 = 1 \text{ cm}$), der Fläche von 100 ha ($,000001 = 1 \text{ qm}$), der Winkel von 100° ($,000001 = 1''$) und die Winkelfunktionen sin und cos normal 6stellig auf.

Das Rechenwerk des Automaten arbeitet „parallel“ mit elektromagnetischen Relais und Sperrgleichrichtern. Es kann an sich nur addieren. Durch die Einführung von Operationen wie Komplementbildung, Verschieben, Größenvergleich, Vorzeichenfeststellung, ist es aber auch befähigt zu subtrahieren, multiplizieren, dividieren, die Quadratwurzel zu ziehen und

die Vorzeichenlage des algebraischen Ausdrucks $(\pm a) \times (\pm b) = \pm c$ zu beherrschen. Das

Quadratwurzelziehen im reinen Dualsystem läuft nach der Formel

$$p_k = 2 \left[v_{k-1} - \text{sgn } p_{k-1} \left(2^{-k} + \sum_{j=1}^{k-1} x_j 2^{-j} \right) + 2^{-k-1} \right]$$

$$2x_k = 1 + \text{sgn}(p_k),$$

worin p_k = Rest des Radikanden an der Stelle k

x_k = Ziffer der Quadratwurzel an der Stelle k

in eleganter Weise auf eine Division mit variablem Divisor hinaus.

Das Speicherwerk besteht wie das Rechenwerk aus Relaisregistern. Da für die verhältnismäßig einfachen Formeln der niederen Geodäsie je nach Weitläufigkeit der Automatik ein Zahlenspeicher von $8 \div 12$ Zellen ausreicht, brachte diese bei höherer Kapazität kostspielige Speicherart hier die einfachste Lösung. Das Mustergerät verfügt über 8 Speicherregister.

Das Leitwerk setzt sich ausschließlich aus Schrittschalt-Drehwählern zusammen, wie sie in Fernsprech-Selbstwählanlagen in Gebrauch sind. Auf diesen Drehwählern sind alle Befehlsreihen durch feste Verdrahtung gespeichert. Ein Wähler steuert die Operationen Multiplikation, Division und Quadratwurzel, zwei weitere übernehmen die Umwandlung der eingetasteten Anfangswerte in das Dualsystem bzw. die Rückverwandlung und Anzeige des Ergebnisses im Dezimalsystem; ein vierter und fünfter Wähler leitet die Funktionen \sin und \cos bzw. \arcsin aus ihren Potenzreihen ab. Jedem der festliegenden Rechenprogramme ist nun ein weiterer Drehzähler zugeordnet, der die Reihenfolge aller Operationen steuert und die obengenannten Wähler mit ihren Unterprogrammen fallweise aufruft. Die Besonderheit des vom Verfasser entwickelten Gerätes liegt also darin, daß es für eine beschränkte Anzahl feststehender Formeln gebaut ist, wodurch aber die jeweilige Programmfertigung in Wegfall kommt und die Bedienung sich außerordentlich vereinfacht.

3. Aufwand und Rechengeschwindigkeit

Bei der Entwicklung des Rechenautomaten wurde von vornherein darauf abgezielt, ein Gerät zu konstruieren, das ausschließlich aus handelsüblichen Bauteilen herzustellen ist und dessen Preis nicht durch teure Sonderanfertigungen feinmechanischer Glieder die Einführung des Gerätes bei den Vermessungs- und Flurbereinigungsbehörden utopisch machen wird. So wurde eine Rechenanlage entwickelt, die sich aus 22 Drehwählern, 533 Fernsprechrelais, 1550 Selengleichrichtern, Funkenlöschkondensatoren, einem Netzteil für 600W Spitzenleistung und Einzelteilen für Lichtrufanlagen zusammensetzt und wenig größer als ein Klavier ist.

Die Entwicklung der Rechenanlage aus den genannten Bauteilen ergab eine Schaltung, bei der Drehwähler- und zahlreiche Relaiskontakte den Gesamtanzugstrom eines ganzen Relaisregisters zu schalten in der Lage sein müssen. Um nun die höchstzulässige Kontaktbelastung nicht zu überschreiten, mußten die Relaisspulen einen gewissen Mindestwiderstand haben und es wurde versucht, der dabei zu erwartenden anzugsverzögernden Selbstinduktion durch Anwendung einer kombinierten Wirk- und Widerstandswicklung nach Möglichkeit zu begegnen. Die Prüfung der fertigen Relais zeigte aber, daß diese trotzdem noch Anzugszeiten bis über 30 msec aufweisen, wofür im Betrieb zur Sicherheit 40 msec anzusetzen sind.

Bei Multiplikation, Division und Quadratwurzelziehen sind zum Durchlaufen einer Dualstelle in der gewählten Schaltart 4 Schritte notwendig, wobei 1 Schritt der Anzugszeit eines Relais entspricht, für eine Dualstelle also $4 \times 40 = 160$ msec und für die ganze Zahl $23 \times 160 = 3680$ msec anzusetzen sind. Diese Operationszeit von 3,7 sec ist beim heutigen Stand der Technik sehr lange und für Multiplikationen nicht mehr tragbar. Um diesem Übelstand zu begegnen, wurde für die Multiplikation ein doppeltes Addierwerk angeordnet, wodurch für eine Dualstelle nur noch 2 Schritte notwendig sind und sich die Multiplikationszeit auf 1,85 sec verkürzt. Zu diesen Zeiten ist nun noch 1 sec für Umspeicherungen, Löschungen und Schaltvorgänge vor und nach der Operation zu addieren, sodaß die Gesamtzeiten für Multiplikation 2,8 sec und für Division und Wurzelziehen je 4,7 sec betragen.

Der Ablauf des Eingabe- und des Ergebniswerkes dauert je 2,2 sec. Der Zeitaufwand für alle Additionen, Subtraktionen, Umspeicherungen, Löschungen und sonstigen Operationen des Programms einer einfachen geodätischen Formel kann mit $3,5 \div 5,0$ sec angesetzt werden. Aus diesen Angaben kann man die zu erwartende Rechenzeit für jede Formel vorausberechnen. Die gemeinsame Ableitung der Funktionen \sin und \cos aus dem eingegebenen Winkel eines beliebigen Quadranten nimmt insgesamt 37,4 sec in Anspruch.

An dieser Stelle sei bemerkt, daß nach der theoretischen Entwicklungsarbeit ohne praktische Vorversuche sogleich an die Herstellung des Mustergeräts gegangen wurde, das ein verkaufsfertiges Modell werden sollte. Dieses Vorhaben ist tatsächlich gelungen, es waren an der Konstruktion des Gerätes fast keine Änderungen vorzunehmen. Es ist aber verständlich, daß das Erstlingsgerät nicht der optimale Stand einer Konstruktion sein kann. So hat Verfasser bereits Mittel und Wege gefunden, bei künftig herzustellenden Rechenautomaten die Gesamtzeiten für Multiplikation, Division und Wurzelziehen unter gleichzeitiger Ersparnis an Aufwand, Raum und Gewicht auf je 1,8 sec zu bringen.

4. Ableitung der Winkelfunktionen

Von größter Bedeutung für eine geodätische Rechenmaschine ist deren Fähigkeit, Winkelmaße in Winkelfunktionen umzurechnen und umgekehrt. Zur Verwirklichung dieser Forderung wurden im Rechenautomaten SM 1 zwei Unterprogramme für die Ableitung der Funktionen \sin und \cos bzw. \arcsin mit Hilfe der Taylor-Reihen vorgesehen.

Aus konstruktiven Gründen und mit Rücksicht auf die Rechenzeit ist im vorliegenden Mustergerät eine Entwicklung von höchstens 4 Reihengliedern angängig. Beschränkt man sich nun bei der Berechnung der Sinusfunktion auf das Intervall $0 \div \frac{\pi}{4}$, so erhält man mit 4 Gliedern den Wert mit einer Genauigkeit von 10^{-4} . Für die Zwecke der Flurbereinigung, insbesondere für die polare Kleinpunktberechnung würde diese Genauigkeit bereits genügen. Da jedoch auch Vorwärtsschnitte und Polygonzüge der Landesvermessung rechenbar sein sollen, wurden die in der Maschine gespeicherten Reihenkoeffizienten mit Hilfe Tschebyscheff'scher Polynome verbessert, sodaß mit 4 Gliedern die gebotene Genauigkeit von 10^{-6} erreicht werden konnte.

Die Maschine ist so konstruiert, daß eingegebene Winkelmaße grundsätzlich in die Funktionen sin und cos umgewandelt werden; sie kann nicht mit den Winkelmaßen selbst rechnen. Wie die Automatik vorgeht, sei an einem Beispiel erläutert.

Es sei der Winkel $264^{\circ} 58' 32''$ eingetastet. Hievon faßt das Gerät den Teil $64^{\circ} 58' 32''$ als Zahl ,645832 auf; der Teil 200° setzt nur die negativen Vorzeichen von sin und cos fest und stellt in Verbindung mit dem nun folgenden Größenvergleich mit $50^{\circ} = ,5$ eine Weiche. Dieser Vergleich löst hier die Bildung des Komplements ,354168 aus, das hierauf durch Division durch $\frac{2}{\pi}$ ($\frac{\pi}{2} > 1$ für Maschine mit Komma links unbrauchbar) in das Bogenmaß umgerechnet wird. Sodann erfolgt mit Hilfe der Sinusreihe die Ableitung der 1. Funktion und anschließend mittels der Formel $\sqrt{1 - \sin^2 x}$ die Berechnung der 2. Funktion. Die Weiche bewirkt aber, daß bei obigem Beispiel die 1. Funktion als cos und die 2. als sin gespeichert wird.

Eine Besonderheit des Rechenautomaten SM 1 ist die Möglichkeit, die Winkelmaße sowohl centesimal als auch sexagesimal eintasten zu können, es braucht im letzteren Fall nur eine zusätzliche Taste gedrückt zu werden. Diese Möglichkeit ist dadurch gegeben, daß das Eingabewerk nicht nach dem bekannten Rechenverfahren (wiederholte Multiplikation mit LOLO), sondern nach einem Speicherverfahren arbeitet, wobei alle den Tastaturtasten entsprechenden Ziffernwerte auf einer Konstantentafel in dualer Form gespeichert sind und bei Ablauf des Eingabe-Drehwählers nach Maßgabe der gedrückten Tasten zusammenaddiert werden. Nun sind daneben auch die den Tasten entsprechenden sexagesimalen Winkelwerte in das Centesimalsystem umgewandelt dual gespeichert. Wird auf diese zweite Tafel umgeschaltet, so gelangen sexagesimale Winkelmaße sogleich centesimal in die Maschine. Durch eine Kunstschaltung wird hier die Abweichung zwischen Hundertgradwerten und Quadrantenlage, sowie die Vorzeichenlage der Funktionen beherrscht. Diese Einrichtung gestattet auf einem eigenen Programm in eleganter Weise die Winkelumwandlung von Altgrad in Neugrad mit einer Genauigkeit von $0,3'' = 1^{\text{cc}}$.

Die Funktionen tg und ctg können von einer Maschine mit festem Komma verständlicherweise nicht verarbeitet werden. Es ist dies aber kein fühlbarer Nachteil, da alle in der niederen Geodäsie als Massenberechnungen auftretenden Probleme mit den Funktionen sin und cos gelöst werden können. Aus jenem Grunde mußte auch zur Umrechnung einer Winkel-funktion in das Winkelmaß die Arcussinusreihe verwendet werden, bei der im Intervall $0 \div \frac{\pi}{4}$ erst mit 7 Gliedern die gebotene Genauigkeit erzielt werden kann. Da aber, wie oben gesagt, die Ableitung von 7 Gliedern eine sehr lange Rechenzeit ergeben würde, wird die Reihenentwicklung auf das Intervall $0 \div \frac{\pi}{8}$, in dem 4 Glieder ausreichen, beschränkt und im Intervall $\frac{\pi}{8} \div \frac{\pi}{4}$ zunächst ein Wert

$$\xi = \cos \frac{\pi}{8} \cdot x - \sin \frac{\pi}{8} \cdot \sqrt{1 - x^2}$$

bestimmt, mit diesem erst die Reihe zu 4 Gliedern abgeleitet und aus dem erhaltenen Wert η sodann der endgültige

$$\arcsin x = \frac{\pi}{8} + \eta$$

berechnet. Dieser Vorgang läuft schneller ab als eine 7gliedrige Reihenentwicklung und bringt im Intervall $0 \div \frac{\pi}{8}$, d. h. bei der Hälfte der Aufgaben eine weitere Zeitersparnis, da

hier durch einen „bedingten Sprungbefehl“ die Nebenrechnung übergangen wird. Die Rechenzeit vom gespeicherten \sin und \cos bis zum angezeigten Winkel im richtigen Quadranten beträgt dann 34,7 bzw. 47,8 sec, während eine 7gliedrige Reihe 51,8 sec erfordern würde.

Über die Verbesserung der Reihenkoeffizienten mit Hilfe Tschebyscheff'scher Polynome und das Verfahren bei der Arcussinusreihe wird Frl. Dr. Näbauer, Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, an anderer Stelle der ZfV ausführlich berichten.

5. Beschreibung des Mustergeräts

Über dem Schreibpult des Automaten (vgl. Abb.) ist an der vertikalen Gerätefront eine Volltastatur zur Eingabe der Anfangswerte angeordnet. Rechts neben der Tastatur befinden sich 5 Anlaßtasten, auf deren Bedienung jeweils erscheinende Schriften hinweisen. Oberhalb der Tastatur werden in Form einer sog. Wechselzahl, wie sie von Großbanken und Fernsprechzentralen her bekannt ist, die Ergebnisse sowie zur Kontrolle die eingetasteten Zahlen

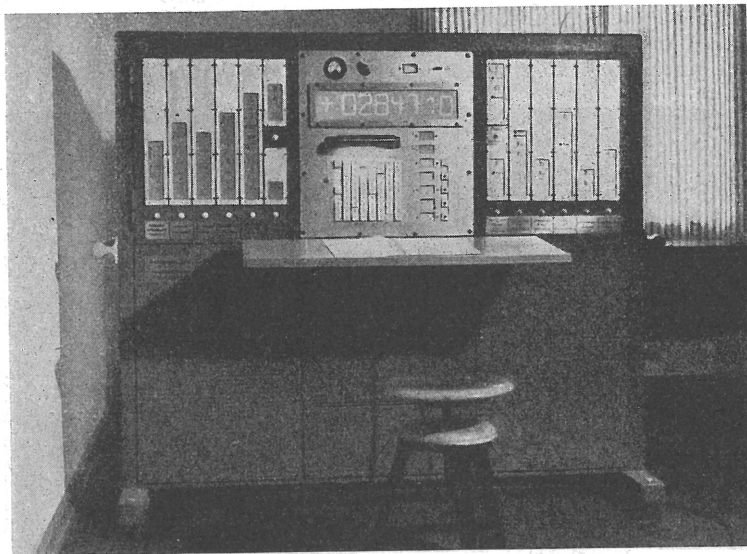


Abbildung 1. Gesamtansicht des Rechenautomaten SM 1

angezeigt. Zu beiden Seiten des Mittelfeldes sind Formel-Transparente angebracht, die den eingebauten Rechenprogrammen zugeordnet sind und die Formeldaten sowohl der einzutastenden Anfangswerte als auch der angezeigten Ergebnisse der Reihe nach melden. Druckknöpfe unterhalb der Transparente dienen zum Einschalten der gewünschten Berechnungsformeln.

Tastatur und Wechselzahl sind 8stellig, wobei die 6 mittleren Stellen die Stellenzahl der Maschine darstellen. Die linke Stelle bedeutet bei allgemeinen Zahlen das Vorzeichen und bei Winkelmaßen die Hundertgradziffer, während die rechte Stelle der Tastatur zur Eingabe der Zehntelsekunden bei sexagesimalen Winkeln dient. Die rechte Stelle der Wechselzahl ist eine vom Ergebniswerk errechnete 7. Stelle, die aber nur den Wert einer „Schutzstelle“ hat und die richtige Aufrundung der 6. Stelle durch den Rechner ermöglichen soll. Diese Aufrundung könnte auch automatisch erfolgen, doch versagt das Verfahren, wenn die 6. Stelle eine 9 ist, da es im Ergebniswerk keinen dekadischen Stellenübertrag gibt.

Die Betätigung der richtigen Anlaßtasten zur rechten Zeit wird durch aufleuchtende Beschriftungen gesichert. Die 1. Taste mit der Anschrift „eintasten“ bewirkt, daß das Eingabewerk anläuft und eine auf der Tastatur eingedrückte Zahl in die Maschine aufnimmt. Die 2. Anlaßtaste „springen“ ermöglicht die Eingabe eines Anfangswertes und die zu diesem gehörigen Operationen zu überspringen (z. B. Einbindepunkt auf dem Programm für Winkelpunkt). Die 3. Taste „weiterfahren“ erlaubt nach Anzeige eines Ergebnisses und Stillstand des Leitwerks das nächste Ergebnis aufzurufen. Die 4. Taste „wiederholen“ ermöglicht bei einem zyklischen Programm (z. B. Flächenrechnung) einen Rechenabschnitt öfter zu wiederholen. Die 5. Taste „beenden“ bewirkt den Abschluß einer Berechnung, wobei diese Taste

zu jeder Zeit anspricht, sodaß jeder Rechengang bei Feststellung eines Irrtums rasch abgebrochen werden kann.

Wird bei einer Addition die Stellenzahl der Maschine überschritten oder ergibt eine Division einen Quotienten > 1 , so ertönt ein Summerzeichen und es erscheint die Schrift „unmöglich“. Eine weitere Leuchtschrift „gespeichert“ läßt erkennen, daß von einem abgelauenen Vorprogramm her Zwischenwerte gespeichert sind, die für die nachfolgende zyklische Durchrechnung eines Hauptprogramms bereit stehen (z. B. gespeicherte Richtungswinkelfunktionen für die Berechnung mehrerer Winkelpunkte).

6. Bedienung des Rechenautomaten

Die Bedienung des Automaten ist außerordentlich einfach und „narrensicher“. Sie sei am Beispiel der Punktkoordinierung nach der Polarmethode erläutert.

Der Rechner schaltet durch Betätigung des entsprechenden Druckknopfes das Rechenprogramm „Polygonzug und polare Punktbestimmung“ ein. Nun leuchtet auf dem zugehörigen Formel-Transparent die Date „ x_0 “ und auf der Wechselzahl der Wert $+ 000000$ auf, während neben der ersten Anlaßtaste die Schrift „eintasten“ erscheint. Hierauf drückt der Rechner auf der Tastatur die Abszisse des Anfangspunktes ein (das Mustergerät ist nach Soldner-System beschriftet), kontrolliert nochmals auf der mitgegangenen Wechselzahl und

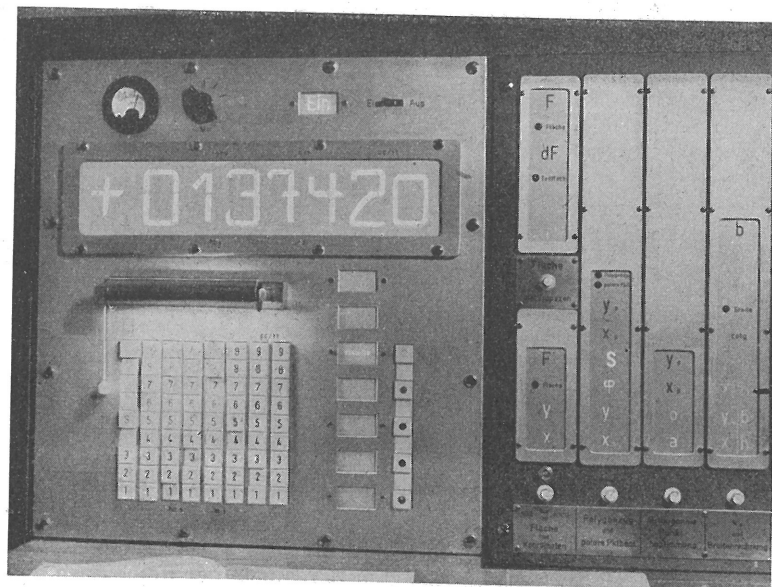


Abbildung 2. Mittelfeld und Teil der Formel-Transparente

drückt sodann die Anlaßtaste. Jetzt erlischt die Wechselzahl, das Eingabewerk nimmt den Wert in die Maschine auf, die Tastaturtasten springen wieder heraus und das Transparent rückt auf „ y_0 “ weiter. Dann wiederholt sich dieser Eingabevorgang mit der Ordinate des Anfangspunktes, dem Richtungswinkel „ φ “ und der Entfernung „ S “. Während hierauf der Automat ohne weiteres Zutun die Winkelfunktionen ableitet und das 1. Ergebnis bestimmt, hat der Rechner 45 sec Zeit, um aus dem Polygonwinkel bzw. dem reduzierten Winkel den Richtungswinkel zum nächsten Punkt zu berechnen und bereits in die Tastatur einzudrücken. Das Transparent meldet inzwischen „ x_p “ und auf der Wechselzahl wird die Abszisse des Neupunktes angezeigt. Während der Rechner diesen Wert abschreibt, berechnet der Automat schon die Ordinate und steht dann still. Es erscheint die Schrift „weiterfahren“, und wird die zugehörige Anlaßtaste gedrückt, so leuchten das Transparent „ y_p “ und auf der Wechselzahl das 2. Ergebnis auf, wonach der Automat abermals stillsteht.

Das Transparent weist nun durch eine besondere Inschrift darauf hin, daß dem Rechner zwei Möglichkeiten gegeben sind: drückt er die Taste „weiterfahren“, so werden die Anfangskoordinaten gelöscht und an ihre Stelle treten die Koordinaten des Neupunktes: es entsteht ein Polygonzug. Tätigt er aber die Taste „wiederholen“, so bleiben die Anfangskoordinaten gespeichert und die neuen Koordinaten erlöschen: es werden Kleinpunkte be-

rechnet. In beiden Fällen rückt das Programm sogleich wieder bis zur Eingabe des nächsten Richtungswinkels weiter. Wird an jener Stelle aber die Taste „beenden“ getätigt, so kommt der Berechnungsgang zum Abschluß.

Die Bedienung der übrigen Rechenprogramme verläuft analog.

7. Die eingebauten Rechenprogramme und der Zeitgewinn

Der Rechenautomat SM 1 ist für 14 Rechenprogramme bemessen. Für den Einbau in das Mustergerät wurden die in der bisherigen Dienstabweisung der bayer. Flurbereinigungsämter festgelegten Formeln, sowie die am häufigsten auszuwertenden Formeln der Landesvermessung ausgewählt. Es soll mit dem Mustergerät gezeigt werden, daß mit Hilfe eines Rechenautomaten die Massenberechnungen der Landesvermessung wesentlich beschleunigt werden können und die klassischen Berechnungsmethoden der Flurbereinigung, die allein den Ansprüchen der Neumessung und den Bedürfnissen der Fortführung gerecht werden, einwandfreier und schneller zum Ziel führen als die zur Zeit propagierten halbgraphischen Methoden, die entgegen den üblichen Bestrebungen die Arbeitslast mehr dem Außendienst zuschieben. Zu diesem Zweck wurden kurzfristig die klassischen Formeln automatisiert. Es wäre jedoch denkbar, daß sich auf Grund der Eigenschaften des Automaten neue Rechenverfahren entwickeln lassen, bei denen mehrere Rechenabschnitte in einem Arbeitsgang erledigt werden können und der Außendienst auf Kosten der Rechenarbeit weiter entlastet werden kann.

Nachfolgend werden die in das Mustergerät eingebauten Rechenprogramme beschrieben. Erfahrungen im praktischen Betrieb liegen bis jetzt noch zu wenig vor, als daß hierüber berichtet werden könnte. Mit Hilfe vergleichender Testaufgaben konnte aber der bei den einzelnen Berechnungsformeln vorläufig erreichte Zeitgewinn gegenüber den bisherigen rechnerischen Methoden ermittelt werden.

a) Die bereits betriebsfertigen Rechenprogramme

1. Polygonzug und polare Punktbestimmung

$$x_p = x_o + S \cdot \sin \varphi \quad y_p = y_o + S \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

$$x_p = x_{p-1} + S \cdot \sin \varphi \quad y_p = y_{p-1} + S \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

Es werden zuerst die Koordinaten x_o, y_o des Anfangspunktes und sodann der Richtungswinkel φ und die Seite S eingetastet. Während der Automat die Koordinaten x_p, y_p des Neupunktes bestimmt, hat der Rechner reichlich Zeit, den Richtungswinkel zum nächsten Punkt abzuleiten. Die wahlweise Betätigung zweier Anlaßtasten erlaubt beim Wiederholen nach (1) (Kleinpunktkoordinierung nach der Polarmethode) oder (2) (Polygonzug) zu verfahren, wobei die neuerliche Eingabe von Anfangskordinaten übersprungen wird.

Ein Zeitvergleich wurde mit dem optischen Koordinatenrechnergerät „Coo rapid“ angestellt. Während mit diesem Instrument zwei zusammenarbeitende Rechner eine Stundenleistung von 50 Punkten erzielen, beträgt die Dauerleistung eines Rechners am Automaten 40 Punkte pro Stunde. Daraus ergibt sich eine Personaleinsparung bzw. indirekte Zeitersparnis von mindestens 38%.

2. Fläche aus Koordinaten

$$F = \sum \frac{1}{2} \cdot (x_{n-1} - x_{n+1}) \cdot y_n \quad (3)$$

Der Rechner braucht die Koordinaten x, y nur einmal in der Reihenfolge der Eckpunkte einzutasten. Durch wiederholte Umlegungen der Werte innerhalb des Speicherwerks wird die Forderung der Indices automatisch erfüllt. Durch wahlweise Betätigung zweier Anlaßtasten kann entweder ein weiteres Koordinatenpaar eingegeben oder das Ergebnis aufgerufen werden. Im Formblatt werden nur die Eckpunktnummern angeschrieben; der Rechner hat während der Operationen Zeit, im Koordinatenverzeichnis den nächsten Punkt aufzusuchen.

Der Zeitbedarf beträgt je Eckpunkt 30 sec. Eine Zeitersparnis gegenüber der Rechenmethode nach Elling ist nur insofern gegeben, als das Anschreiben der Koordinatenwerte entfallen kann. So ergibt sich bei einmaliger Durchrechnung der Polygonfläche eine Zeitersparnis von 35%, bei zweimaliger Berechnung (mit vertauschten x u. y) jedoch von nur mehr 10%.

3. Fläche aus Trapezen

$$F = \sum \frac{1}{2} \cdot (a_n - a_{n-1}) \cdot (o_n + o_{n-1}) \quad (4)$$

$$dF = \frac{1}{2} \cdot (h_n - h_{n-1}) \cdot (b_n + b_{n-1}) \quad F = \sum dF \quad (5)$$

Dieses Rechenprogramm unterscheidet sich vom vorigen dadurch, daß beim ersten Aufrufen des Ergebnisses die Fläche der letzten Berechnungsfigur angezeigt wird, während die Gesamtfläche erst nach zweimaliger Betätigung der entsprechenden Taste erscheint.

Hinsichtlich Rechenzeiten verhält sich (4) für die Flächenberechnung nach Ab- und Zugängen wie (3). Bei (5) für die Gewinnvorrechnung nach Höhen und Breiten beträgt der Zeitaufwand je Figur 50 sec, was einer Zeitersparnis von 55% entspricht.

4. Breitenrechnung

$$k_b = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad k_v = \frac{b_2 - b_1}{h_2 - h_1} \quad (6)$$

$$b = y_p - y'_1 - (x_p - x'_1) \cdot k_b \quad (7)$$

Nach Eingabe der Koordinaten x'_1, y'_1, x'_2, y'_2 der Gegenseite wird zunächst nach (6) der Faktor k_b berechnet und nebst x'_1, y'_1 gespeichert. Sodann werden die Koordinaten x_p, y_p des Grenzpunktes eingetastet und die Breite b nach (7) berechnet und angezeigt. Würde $k_b > 1$, so wird automatisch $\frac{1}{k_b}$ bestimmt und folgend als Divisor eingesetzt. Sind mit dem gleichen k_b weitere b zu berechnen, so kann durch Betätigung der Taste „wiederholen“ der erste Teil des Rechenprogramms bis zur abermaligen Eingabe von x_p übersprungen werden.

Der Zeitaufwand zur Berechnung einer Breite beträgt durchschnittlich 60 sec, wobei sich eine Zeitersparnis von 70% ergibt.

5. Zuteilungsrechnung

$$b_n = \sqrt{b_1^2 + 2 \cdot F \cdot k_v} \quad h_n = h_1 + \frac{2 \cdot F}{b_1 + b_n} \quad (8)$$

Zuerst wird auf vorigem Programm nach (6) der Verjüngungsfaktor k_v berechnet und nebst h_1, b_1 gespeichert; auch hier wird bei $k_v > 1$ reziprok verfahren. Sodann wird auf das Hauptprogramm übergegangen und die Fläche F eingegeben, worauf die neue Breite b_n und Höhe h_n berechnet und angezeigt werden. Bei Wiederholung von Zuteilungen mit dem gleichen k_v werden die eingegebenen Flächen automatisch aufaddiert, sodaß stets der endgültige Breiten- und Höhenwert erscheint.

Der Zeitaufwand für die Berechnung einer Breite und Höhe beträgt samt Ableitung des einzugebenden Flächenabschnitts durchschnittlich 3,0 min, was einer Zeitersparnis von 45% entspricht.

6. Absteckungsmaße

$$k_s = \frac{h_2 - h_1}{L} \quad l = \frac{h_n - h_1}{k_s} \quad (9)$$

Die üblichen Formeln wurden nach (9) abgewandelt, um zu verhindern, daß $k_s > 1$ werden kann. Nach Eingabe des Spannmaßes L und der Höhen h_1 des Anfangspunktes und h_2 des Endpunktes von L wird k_s berechnet und neben h_1 gespeichert. Hierauf wird die Zuteilungshöhe h_n eingetastet und das Absteckungsmaß l berechnet und angezeigt. Bei Berechnung weiterer l mit dem gleichen k_s wird der erste Teil des Rechenprogramms bis zur Eingabe von h_n übersprungen.

Der Zeitbedarf für ein Absteckungsmaß beträgt durchschnittlich 60 sec, wobei sich eine Zeitersparnis von 45% ergibt.

7. Boltz'sches Entwicklungsverfahren

Als eines der wichtigsten Probleme für den Einsatz eines Rechenautomaten in der Geodäsie wird die Auflösung von Normalgleichungen mit vielen Unbekannten angesehen. Die Lösung dieses Problems, bei dem sehr viele Zwischenwerte auftreten, die laufend gespeichert und wiedereingesetzt werden müssen, steht jedoch im Widerspruch zur Speicherkapazität des Rechenautomaten SM 1. Um trotzdem einen Beitrag zur Netzausgleichung leisten zu können, wurde zur Ausführung der im Boltz'schen Entwicklungsverfahren auftretenden Multiplikationskolonnen ein Rechenprogramm eingebaut, bei dem im wesentlichen nur multipliziert und aufaddiert wird. Der praktische Einsatz dieses Programms hat aber gezeigt, daß diese Aufgabe von einer elektromechanischen Multiplikationsmaschine mit Speichergewerk in kürzerer Zeit bewältigt wird.

b) Die noch vorgesehenen Rechenprogramme

8. Richtungswinkel und Seite

$$S = \sqrt{(x_n - x_o)^2 + (y_n - y_o)^2} \quad (10)$$

$$\sin \gamma = \frac{x_n - x_o}{S} \quad \cos \gamma = \frac{y_n - y_o}{S} \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{\varrho^{cc} \cdot \sin \gamma}{S} \quad \beta = \frac{-\varrho^{cc} \cdot \cos \gamma}{S} \quad (12)$$

Dieses Rechenprogramm dient sowohl zur Bestimmung und Speicherung von $\sin \gamma$ und $\cos \gamma$ für die Koordinatentransformation und die Punktkoordinierung nach der Orthogonal-methode als auch zur Berechnung des Richtungswinkels und der Richtungskoeffizienten im Zuge der Netzausgleichung. Die Betätigung der entsprechenden Anlaßtaste nach Anzeige der gerechneten Seite trennt die beiden Möglichkeiten. Zur Repartition der Messungsfehler kann für die orthogonale Punktberechnung auch die gemessene Seite eingetastet werden. Die Ableitung des Richtungswinkels erfolgt mit Hilfe der Arcussinusreihe aus dem kleineren Wert der beiden Funktionen $\sin \gamma$ und $\cos \gamma$.

9. Koordinaten-Transformation

$$\left. \begin{aligned} A &= (x - x_o) \cdot \cos \gamma - (y - y_o) \cdot \sin \gamma \\ O &= (x - x_o) \cdot \sin \gamma + (y - y_o) \cdot \cos \gamma \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Zuerst werden auf Programm 8 die Funktionen $\sin \gamma$ und $\cos \gamma$ bestimmt und mit x_o, y_o gespeichert. Sodann werden nach Eingabe der Werte für x, y die transformierten Koordinaten A, O berechnet und angezeigt.

10. Orthogonale Punktbestimmung

$$\left. \begin{aligned} x_p &= x_o + a \cdot \sin \gamma - o \cdot \cos \gamma \\ y_p &= y_o + a \cdot \cos \gamma + o \cdot \sin \gamma \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Dieses Programm, dem wie dem vorigen das Programm 8 vorauszugehen hat, ergibt nach Eingabe der auf die Messungslinie bezogenen Abszisse a und Ordinate o die Koordinaten x_p, y_p eines Winkelpunkts. Wird statt der Eingabe von o die Taste „springen“ betätigt, so erfolgt die Berechnung eines Einbinde- (Liniennetz-)Punktes.

11. Winkelumwandlung

Die Eigenschaft des Rechenautomaten SM 1, sexagesimal eingetastete Winkelmaße centesimal aufzunehmen, wird auf diesem Programm zur Winkelumwandlung von Altgrad in Neugrad ausgenutzt, wobei 3 sec nach Tätigung der Anlaßtaste das Ergebnis erscheint.

12. Vorwärtseinschneiden (Gauß-Krüger)

$$\left. \begin{aligned} y' &= \frac{y_r \cdot \sin t_l \cdot \cos t_r - y_l \cdot \cos t_l \cdot \sin t_r - (x_r - x_l) \cdot \sin t_l \cdot \sin t_r}{\sin t_l \cdot \cos t_r - \cos t_l \cdot \sin t_r} \\ x' &= \frac{(y_r - y') \cdot \cos t_r}{\sin t_r} + x_r \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Für das Vorwärtseinschneiden mit Richtungswinkeln wurden dem Automaten angepaßte Formeln (15) abgeleitet, bei denen sowohl die Addition von Winkelmaßen als auch die Tangens-Funktion vermieden ist. Es konnte dazu auch ein Rechenplan aufgestellt werden, der mit den 8 Speicherzellen gerade auskommt, wobei in gewissen Abständen die Werte $t_b, t_r, y_b, x_b, y_r, x_r$ einzugeben sind und die Neupunktkoordinaten y', x' ausgeliefert werden.

13. Koordinaten-Umformung

$$\left. \begin{aligned} \sin \gamma &= \frac{(O_2 - O_1) \cdot (x_2 - x_1) - (A_2 - A_1) \cdot (y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \\ \cos \gamma &= \frac{(A_2 - A_1) \cdot (x_2 - x_1) + (O_2 - O_1) \cdot (y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

$$\left. \begin{aligned} A &= A_1 + \Delta A = A_1 + (x - x_1) \cdot \cos \gamma - (y - y_1) \cdot \sin \gamma \\ O &= O_1 + \Delta O = O_1 + (x - x_1) \cdot \sin \gamma + (y - y_1) \cdot \cos \gamma \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Auf diesem Programm werden nach Eingabe der auf das gegebene (x_1, y_1, x_2, y_2) und auf das gesuchte (A_1, O_1, A_2, O_2) System bezogenen Koordinaten zweier gemeinsamer Punkte die Funktionen $\sin \gamma$ und $\cos \gamma$ bestimmt. Zur vollständigen Lösung des Problems wären jedoch 10 Speicherzellen notwendig. Es wird daher beim Mustergerät auf die Speicherung von A_1, O_1 und Formel (17) verzichtet und es sind auf Programm 9 nur die Werte $\Delta A, \Delta O$ zu berechnen.

14. Schnittpunktrechnung

$$S_{2-p} = \frac{S_{2-3} \cdot A_2}{A_2 - A_3} \quad S_{0-p} = O_2 + \frac{(O_3 - O_2) \cdot A_2}{A_2 - A_3} \quad (18)$$

Zur Lösung des Schnittpunktproblems auf einem Rechenprogramm, wobei die Koordinaten der 4 Endpunkte P_0, P_1, P_2, P_3 einzugeben wären und sodann die Koordinaten des Schnittpunktes P_p , sowie die Spannmaße S_{0-p} und S_{2-p} angezeigt würden, wären 10 + 12 Speicherzellen notwendig. Es ist daher beim Mustergerät ein Schnittpunkt in 3 Abschnitten zu rechnen. Zuerst werden auf Programm 8 und 9 die Punkte P_2, P_3 auf die Linie P_0P_1 transformiert, hierauf werden nach (18) die Spannmaße S_{0-p}, S_{2-p} und dann auf Programm 10 die Koordinaten des Schnittpunktes als Einbindepunkt berechnet. Hierbei ist es möglich, durch Änderung der nach Programm 8 gespeicherten Koordinaten x_0, y_0 auch einen Parallelschnitt zu rechnen.

8. Betriebssicherheit und Verbesserungsmöglichkeiten

Der Rechenautomat SM 1 ist eine Anlage, die in ihrem Aufbau und ihrer Arbeitsweise weitgehend Ähnlichkeit mit einer Fernsprech-Selbstwähleinrichtung hat. Es ist daher auch ihre Betriebssicherheit mit der einer solchen Anlage zu vergleichen. Störungen durch Bedienungsfehler, die zum Ausfall des Gerätes führen und einen Eingriff oder eine Reparatur notwendig machen, sind nahezu ausgeschlossen, da schaltungstechnische Sicherheits- und Sperrvorrichtungen dafür sorgen, daß eine unrichtige Betätigung der Drücker und Tasten wirkungslos bleibt.

Die Rechensicherheit ist vornehmlich von der Güte der Justierung der Relais und Drehwähler abhängig, wobei eine hinreichende Toleranz zu erzielen ist, sodaß sich auch kleine Schwankungen der Betriebsspannung nicht auswirken. Größere Spannungsschwankungen werden beim Mustergerät mit der Hand ausgeregelt.

In der Regel werden bei programmgesteuerten Rechenmaschinen die Ergebnisse über eine ferngesteuerte Schreibmaschine ausgeliefert. Dieses Verfahren, das natürlich eine weitere Beschleunigung und die Vermeidung von Aufschreibfehlern bringen würde und besonders dann vorzuziehen wäre, wenn die eingegebenen Zahlen gleichfalls niedergeschrieben würden, ist wohl auch beim Rechenautomaten SM 1 erwogen worden. Der Umstand aber, daß eine geeignete Schreibmaschine in handelsüblicher Ausführung nicht aufzutreiben ist, war ausschlaggebend für die Verwendung einer Wechselzahl zur Anzeige der Ergebnisse. Würde sich aber in jener Richtung doch noch eine günstige Lösung finden, so sollen künftig herzustellende Rechenautomaten mit elektrischer Schreibmaschine ausgerüstet werden, sofern nicht die mit dem Mustergerät zu machenden Erfahrungen zeigen, daß die ordnungsgemäße Führung übersichtlicher Formblätter nicht zu umgehen ist und die auf dem Schreibmaschinenstreifen in ungünstiger Reihenfolge stehenden Anfangswerte und Ergebnisse doch wieder auf Formblätter abgeschrieben werden müßten.