DEUTSCHE GEODÄTISCHE KOMMISSION
bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften

Reihe C: Dissertationen — Heft Nr. 34

HEINRICH SEIFERS

Rechengerät Z 11 für geodätische Aufgaben

München 1959

Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung, München

DEUTSCHE GEODÄTISCHE KOMMISSION
bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften

Reihe C: Dissertationen — Heft Nr. 34

Rechengerät Z 11 für geodätische Aufgaben

Von der
Fakultät für Bauwesen
der Technischen Hochschule München
zur Erlangung des Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

Vorgelegt von Diplom-Ingenieur Oberkulturbaurat
HEINRICH SEIFERS
geboren zu München

München 1959

Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung, München

Adresse der Deutschen Geodätischen Kommission:

DEUTSCHE GEODÄTISCHE KOMMISSION

München 22, Marstallplatz 8

I. Berichterstatter: o. Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h. M. Kneißl
II. Berichterstatter: Oberregierungs- und Vermessungsrat Dr.-Ing. habil. F.-X. Graf

Tag der Einreichung der Arbeit: 4. 3. 1959
Tag der Annahme der Arbeit: 16. 7. 1959

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

Seite

1. Einleitung 1
2. Technische Angaben 3
3. Der Aufbau des Rechenwerks 7
4. Das Lochstreifenwerk 17
5. Rechentechnische Besonderheiten 19
6. Das Programmwerk 23
7. Die Bandsteuerung 30
8. Die Behandlung der Winkel 35
9. Die Lösung geodätischer Aufgaben 43

   a) Richtungswinkel und Entfernung 43
   b) Vorwärtseinschneiden 45
   c) Rückwärtseinschneiden 46
   d) Einzelpunkt-Koordinaten-Ausgleichung 46
   e) Koordinaten-Umrechnung in den Nachbar-Meridianstreifen . 47
   f) Koordinierung polar bestimmter Punkte 47
   g) Koordinierung orthogonal bestimmter Punkte und Bogenschnitt 48
   h) Koordinaten-Transformation mit zwei oder mehr identischen Punkten 48
   i) Affine Umformung 50
   k) Linienschnitt 50
   l) Trigonometrische Höhenberechnung 50
   m) Dreiecksrechnung 51
   n) Streckenrechnung 51
   o) Flächenrechnung 51
   p) Zuteilungsrechnung im Flurbereinigungsverfahren 52

Literatur 53

1. Einleitung

Um die Zeit des zweiten Weltkrieges sind Physiker und Mathematiker der angelsächsischen Länder, und auch Deutschlands, auf den Gedanken gekommen, die modernen Hilfsmittel der Elektrotechnik und Elektronik zum Bau vollautomatischer, sog. programmgesteuerter Rechenanlagen heranzuziehen.
Bei diesen programmgesteuerten Rechenanlagen handelt es sich um Automaten, die befähigt sind, nach Eingabe der Anfangswerte mehr oder minder komplizierte und umfangreiche Berechnungen selbständig auszuführen und dann die Endresultate auszuliefern. Die Lösung solcher Rechenaufgaben gehört zum ständigen Arbeitspensum der Geodäsie, insbesondere der niederen Geodäsie. Allerdings handelt es sich hier um kürzere und einfachere algebraische und trigonometrische Formeln, als jene, welche kostspieligen Großrechenanlagen zur Lösung zugedacht sind.

Der Gedanke des Verfassers war es nun, einen kleinen Rechenautomaten zu entwickeln, der vornehmlich den Problemen der Geodäsie angepaßt ist und dessen Preis so niedrig ist, daß er von allen größeren Vermessungsdienststellen angeschafft werden kann. Dieser Gedanke konnte verwirklicht werden, nachdem das Vorhaben zum Bau eines Mustergerätes im Auftrage des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zwecks Beschleunigung des Flurbereinigungsverfahrens ausgeführt werden konnte, vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr durch eine Zuwendung finanziell unterstützt und vom Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut in München wissenschaftlich und fertigungsmäßig gefördert wurde. Über den so gebauten Muster-Rechenautomaten "SM 1" hat Verfasser in [5] berichtet. Aufgrund seiner elektrotechnischen Vorkenntnisse konnte er sich beim Entwurf dieser Rechenanlage auf die Angaben in [1] und [2] über die Technik der programmgesteuerten Geräte beschränken. Es wurde die Relaistechnik gewählt, da diese leichter zu beherrschen ist als die elektronische Technik und da deren Rechengeschwindigkeit für die geodätischen Probleme ausreicht und mit der Arbeitsweise der vorgesehenen Ein- und Ausgabeorgane am besten harmoniert.

Die serienmäßige Herstellung von Rechenautomaten nach dem Vorbild der SM 1 wurde von der ZUSE K.-G., Bad Hersfeld, übernommen, die auch die erste brauchbare Relais-Rechenmaschine Z 4, welche lange Zeit an der ETH. Zürich in Betrieb war, und die größte europäische Relais-Rechenanlage Z 5 für die optischen Werke Leitz-Wetzlar gebaut hat. Die Firma Zuse hat unter Aufwendung ihrer Erfahrungen im Bau programmgesteuerter Rechenanlagen die Leistungsfähigkeit des Musters noch wesentlich verbessert und dem neuen Rechengerät die Bezeichnung Z 11 gegeben.

Die nachfolgenden Ausführungen bringen nun eine Beschreibung des Rechengerätes Z 11. Es wurde besonderer Wert darauf gelegt zu zeigen, wie weit dieser Automat den speziellen Anforderungen bestimmter geodätischer Aufgaben angepaßt ist. Andererseits wurde vorausgesetzt, daß der Begriff des programmgesteuerten Rechnens und die Eigenschaften des dualen Zahlensystems bereits bekannt sind.

Die Z 11 ist trotz Bemühungen der Herstellerfirma, einen Einheitstyp für alle möglichen Anwendungsgebiete zu schaffen, ein Spezialgerät geblieben. Sie hat außer in der Geodäsie, d. h. im Vermessungswesen und in der Flurbereinigung, auch in der Optik und neuerdings im Versicherungswesen Anwendung gefunden. Es wird an ihr von seiten der Firma ständig noch weiter entwickelt und verbessert. Die nachfolgenden Ausführungen entsprechen, soweit nicht besonders vermerkt, dem Stand, wie er in Zusammenarbeit zwischen der Firma Zuse und dem Verfasser entstanden ist und sich auf die geodätische Geräteausführung bezieht.

2. Technische Angaben

Die Rechenanlage Z 11 ist ein Aggregat, bestehend aus einer programmgesteuerten Relais-Rechenmaschine, einer elektrisch gesteuerten Schreibmaschine, einem Stromversorgungsgerät und gegebenenfalls einem Lochstreifenwerk und einem Bandsteuerungstisch.

Die Relais-Rechenmaschine wird mit Gleichstrom von 60 Volt gespeist. Diese Spannung wird in größeren Fernmeldeanlagen heute allgemein angewendet; sie ist einerseits die höchstzulässige Spannung in sog. Schwachstromanlagen, deren leitende Teile von menschlicher Hand berührt werden dürfen, während sie andererseits einen günstigen Vergleichswert darstellt in dem Bestreben, die Spannung zur Verringerung der Stromstärken und Durchbrechung von Kontaktunsicherheiten möglichst hoch, wegen der Verwendung zahlreicher Sperrgleichrichter aber möglichst niedrig zu halten.

Der benötigte Gleichstrom wird vom Stromversorgungsgerät durch Umformung des Netzwechselstroms geliefert. Der Anschlußwert beträgt 2 kVA bei 380 bzw. 220 V Drehstrom zu 50 Hz. Die Gleichrichtung erfolgt durch einen Selen-Gleichrichter in Brückenschaltung. Für den Drehstromanschluß war die Erzielung einer höheren Rechensicherheit ausschlaggebend. Die Restwelligkeit nach der Gleichrichtung, d.i. der Anteil des dem ungeglätteten Gleichstrom überlagerten Wechselstroms, beträgt nämlich bei Drehstrom nur 4,2% mit einer Frequenz von 300 Hz, während Einphasenwechselstrom eine Restwelligkeit von 48% mit 100 Hz ergeben würde. Abgesehen von dem geringeren Glättungsaufwand hat der Drehstrom somit den Vorzug, daß die überlagerte Frequenz der Impulsfrequenz des Rechengeräts zu ca. 53 Hz nicht so nahe liegt und daher den Rechenvorgang nicht so leicht stören kann wie bei Einphasenwechselstrom.

Die Relais-Rechenmaschine setzt sich aus der Zahleneingabe, dem Programmwerk, dem Rechenwerk, dem Speicherwerk und Prüfeinrichtungen zusammen. An Bauteilen finden neben den auf der Bedienungsfront sichtbaren Tasten, Drückern, Schaltern und Lampen ausschließlich elektromagnetische Fernmelde-Relais, Sperrgleichrichter und Schrittschalt-Drehwähler Verwendung.

Die Eingabe der Anfangswerte erfolgt über eine achtstellige Volltastatur mit Minuszeichentaste und zwei Tasten LF und KF zur Eingabe von Steuerpositionen. Wird die Vorzeichentaste nicht gedrückt, so ist die Zahl positiv gedacht. Desgleichen ist eine Ziffer gleich 0, wenn keine Betragstaste gedrückt wird, da auch die Nulltasten fehlen. Die oberste Stelle der Tastatur ist nur von 1 bis 3 ausgebaut, während die übrigen Stellen von 1 bis 9 reichen.

Auf dem linken Teil der Bedienungsfront befinden sich die Armaturen des Programmwerks. Programmtasten dienen zum Aufrufen der gewünschten Berechnungsformel und leuchten, solange das gewählte Programm abläuft. Programmschalter gestatten grundsätzliche Umschaltungen von Wertsystemen oder des Programmablaufes. 30 Formelzeichen-Transparente zeigen an, welche Formeldaten zur Eingabe an die Reihe kommen. 12 transparente Schriften melden den Betriebszustand oder weisen auf die Bedienung der 5 Anlaßtasten hin, die die äußere Steuerung des Programmwerks bewirken. Der rechte Teil der Bedienungsfront enthält die Armaturen der Prüfeinrichtungen.

Die wichtigsten Bauteile des Rechen- und Speicherwerks sind die Relais. Es kommen in der geodätischen Geräteausführung ca. 940 Schneidanker-Rundrelais und 300 bis 900 besonders entwickelte Speicher-Relais der Firma Alois Zettler, München, zur Anwendung. Sämtliche Rundrelais tragen das gleiche Wicklungspaar, und zwar eine Anzugswicklung zu 500 Ω und

300 AW und eine Haltewicklung zu 1200 Ω und 150 AW. Die Daten der ersteren Wicklung ergeben Ansprechzeiten von nur ca. 10 msec, wobei aber eine thermische Überlastung auftritt. Diese bleibt jedoch unschädlich, da sofort nach dem Anzug auf Haltewicklung umgeschaltet wird.

Weitere Bauteile der Relais-Rechenmaschine sind die in Relaisschaltungen häufig verwendeten Selen-Sperrgleichrichter, sowie Schrittschalt-Drehwähler zur Steuerung der fest verdrahteten Rechenprogramme. Es können bis zu 28 fünfarmige Fernsprech-Drehwähler, die ein Bestandteil des Programmwerks sind, im Gehäuse untergebracht werden.

Sämtliche Arbeitsvorgänge der Relaisschaltung werden in Maschinenspielen zu je 4 Schritten abgewickelt. Die Spiele werden von einer durch einen Elektromotor angetriebenen Schaltwalze gesteuert, die aus mehreren Kollektoren besteht, deren Lamellen je zu 4 Segmenten zusammengefaßt sind. Die Kollektoren liegen in den Masseleitungen der zu Gruppen zusammengefaßten Relais- und Schrittschalterwicklungen und bestimmen den Rhythmus aller Schaltvorgänge. Die Umdrehungszahl der Schaltwalze bestimmt somit die Rechengeschwindigkeit, die normal auf ca. 13 Spiele bzw. ca. 53 Schritte oder Impulse pro Sekunde eingestellt ist. Einem Relais stehen demnach ca. 18 msec Anzugszeit zur Verfügung. Zur Prüfung der Rechensicherheit wird die Drehzahl der Schaltwalze erhöht, während diese zum Aufsuchen eines Fehlers auch von Hand gedreht werden kann. Die Schaltwalze übernimmt ferner das Öffnen und Schließen sämtlicher Stromkreise, die über Relais- oder Schrittschalterkontakte laufen, so daß diese stromlos umschlagen können, wodurch jeglicher Kontaktabbrand vermieden wird und außerdem die Kontaktbelastung erhöht werden konnte.

Zur Auslieferung der Resultate und auch zur Niederschrift der Anfangswerte findet die elektrische Schreibmaschine des Aggregats Siemag-Multiquick Verwendung. Bei dieser Schreibmaschine können die Tasten 0 bis 9 und Minus durch Elektromagnete ferngesteuert angeschlagen werden, sowie schwarz-rot-Farbbandumschaltung und Wagenrücklauf mit Zeilenvorschub elektrisch getätigt werden. Durch letztere Einrichtung ist die programmgesteuerte Tabulierung der Zahlen auf einem Formblatt gegeben.

Das Rechengerät Z 11 arbeitet im reinen Dualsystem, so daß eine Zahl durch ein Relaisregister festgehalten werden kann. Da nämlich im Dualsystem jede Zahlenstelle nur die beiden Werte 0 und 1 haben kann, ist eine Ziffer durch die beiden Zustände eines angezogenen oder abgefallenen Relais darzustellen. Ein Relaisregister ist also eine Relaisreihe mit soviel Gliedern, als die längste Zahl Dualstellen haben kann, zusätzlich einem Relais für das Vorzeichen, bei dem der abgefallene Zustand dem Pluszeichen und der angezogene dem Minuszeichen entspricht.

Es kann demnach eine duale Zahl in einem Relaisregister gespeichert werden, indem die den Nullen entsprechenden Relais abgefallen und die den Einsen entsprechenden angezogen sind. Um diesen Zustand aufrecht erhalten zu können, müssen die Relais mit einem Selbsthaltekontakt und gegebenenfalls einer besonderen Haltewicklung ausgestattet sein. Über einen weiteren Arbeitskontakt kann dann die gespeicherte Ziffer abgelesen werden. Die Verbindung der Register untereinander wird durch eine Sammelleitung hergestellt, die ebensoviele Adern wie ein Register Relais hat. Bei Aufruf eines Registers wird dieses über Eingabe-Relais mit der Sammelleitung verbunden. Abb. 1 zeigt die Schaltung eines Speicher-Registers für 4 Dualstellen, dessen Relais nur 1 Kontakt zu haben brauchen, da hier die Ablesung auch über den Haltekontakt erfolgen kann.

Der wesentlichste Bestandteil des Rechenwerks sind die Rechen-Register, deren Aufgabe die Durchführung der arithmetischen Operationen ist. Es sind 5 Rechen-Register vorhanden, von denen 2 durch eine spezielle Addierschaltung miteinander verbunden sind. Abb. 2 zeigt die Relais ein und derselben Dualstelle der beiden Register A und B des Addierwerks. Der Ausgang S in der gleichen Stelle und der Übertrag Ü zur nachfolgenden Stelle bringen das Resultat der dualen Addition, das im Verein mit dem Übertrag von der vorausgehenden Stelle entsteht. Zu beachten ist, daß entweder die 1 oder die 0 übertragen werden muß.

Alle arithmetischen Operationen werden auf Additionen durch das Addierwerk A - B zurückgeführt. Bei Subtraktion wird durch Umtausch der 1-0-Werte das "unechte Komplement" des Subtrahenden gebildet und zum Minuenden addiert, wobei zum Ergebnis noch eine 1 zu addieren ist, indem in die unterste Stelle als Übertrag eine 1 eingegeben wird; bei Addition wird in die unterste Stelle eine 0 übertragen. Multiplikation und Division sind fortgesetzte Additionen bzw. Subtraktionen des einmaligen Multiplikanden bzw. Divisors unter entsprechender Stellenverschiebung, während die Radikation durch eine Division erreicht wird, bei der der Divisor variabel ist und jeweils aus dem bisherigen Ergebnis und der durchlaufenden quadratischen Ergänzung aufgebaut wird [6]. Die Steuerung aller Operationen, die mehr als 1 Spiel erfordern, erfolgt durch eine Leit-Relaiskette, die jeweils entsprechend weit abläuft.

3. Der Aufbau des Rechenwerks

Das Rechenwerk einer programmgesteuerten Rechenmaschine kann verschiedenartig aufgebaut sein. Die Wahl des Systems richtet sich nach dem Verwendungszweck. Dabei ist vor allem ausschlaggebend, ob mit festem oder beweglichem Komma gearbeitet werden soll. Für Berechnungen der Physik, die in der Regel mit "relativer" (logarithmischer) Genauigkeit erfolgen, müßte ein gleitendes Komma, d.h. eine Zahlendarstellung in "halblogarithmischer" Form vorgesehen werden. Die Probleme der Geodäsie verlangen dagegen "absolute" Genauigkeit, da die kleinsten Einheiten ihrer Rechengrößen feststehen und unabhängig von der Größe der Zahlen stets ausgewiesen werden müssen; als solche Einheiten kommen in der Hauptsache Centimeter, Quadratmeter und Winkelsekunden in Betracht. Für geodätische Berechnungen ist demnach ein festes Komma angebracht.

Die Stellung des Kommas innerhalb der Längen-, Flächen- und Winkelmaße könnte verschieden angenommen werden, je nachdem ob als Werteinheiten m, km, ha usw. gelten sollen. Ordnet man dann der kleinsten Einheit aller Rechengrößen die gleiche Dezimalstelle zu, so können alle Rechengrößen mit der gleichen Kommastellung verarbeitet werden, was für einen unkomplizierten Aufbau der Maschine wünschenswert ist. Es wäre nur zu untersuchen, an welcher Stelle das Komma am günstigsten sitzt.

Neben den Längen-, Flächen- und Winkelmaßen sind die Winkelfunktionen von größter Bedeutung. Diese sind Verhältniszahlen, d.h. Quotienten zweier Werte gleichen Maßes, bei denen das Komma nur an einer bestimmten Stelle sitzen kann, und zwar bei den Funktionen Sinus und Cosinus am linken Ende der Zahl, wobei oberhalb des Kommas nur eine Stelle mit einer der beiden Ziffern 0 oder 1 auftreten kann. Die Funktionen Tangens und Cotangens dagegen sind Werte mit relativer Genauigkeit. Um sie verarbeiten zu können, müßte eine Maschine gleitendes Komma haben. Bis jetzt hat sich aber gezeigt, daß alle Probleme, die gewöhnlich mit tg oder ctg gerechnet werden, entweder auch mit sin oder cos oder unter Beschränkung auf das Intervall $\pi/4$ gelöst werden können.

Als günstigste Kommastellung ist sonach die der Sinus-Cosinus-Funktion entsprechende gefunden worden. Sie wurde dem Aufbau des Rechenwerks zugrunde gelegt.

Das zweite wesentliche Merkmal des Rechenwerks ist die Stellenzahl, zu deren Festlegung zunächst die Höchstwerte der wichtigsten Rechengrößen

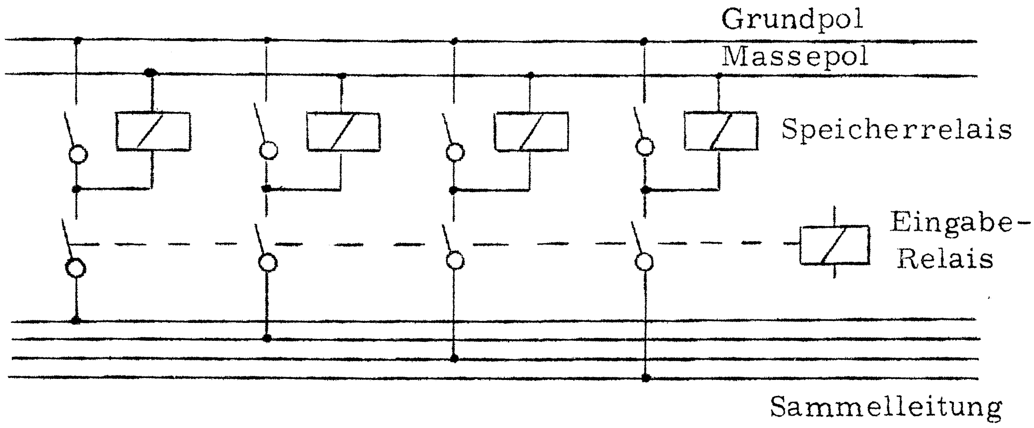

Abb. 1 Speicherregister mit 4 Dualstellen

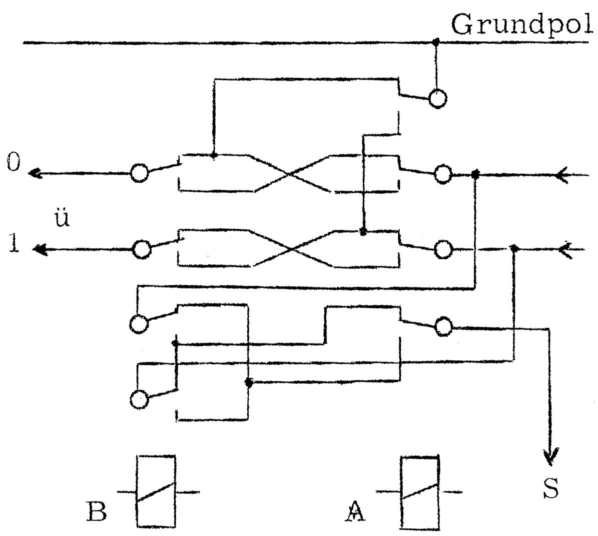

Abb. 2 Addierschaltung einer Dualstelle

zu betrachten sind. Als Längenmaße treten Strecken und Koordinaten auf. Sieht man vom Rechnen in Dreiecksnetzen ab, deren Seitenlängen 100 km überschreiten, so reichen unter Zugrundelegung des Centimeters als kleinste Einheit 7 dezimale Stellen für die zu rechnenden Entfernungen und Koordinatendifferenzen aus. Desgleichen wären zur Angabe der Koordinatenwerte 7 Stellen ausreichend, da die beiden obersten Ziffern der neunstelligen Gauß-Krüger-Koordinaten in der Regel weggelassen werden können. Hält man in der Flächenangabe am Quadratmeter als kleinste Einheit fest, so würden 7 Stellen bis 1000 ha reichen, was für das größte Hauptpolygon genügen müßte. Bei den Winkelmaßen würden 7 Stellen zehntel Neusekunden ergeben, nachdem die Hundertgradziffern außer Acht zu lassen sind, wie später dargelegt wird. Da somit auch die Winkelfunktionen siebenstellig ausgewiesen würden, wäre der vorschriftsmäßigen Rechnungsschärfe des Netzes II. O. entsprochen.

Die Stellenzahl des Rechengerätes wurde also mit 7 Dezimalstellen unter Berücksichtigung der für die Sinus-Cosinus-Funktion erforderlichen Kommalage festgelegt, d. h. es ist links des Kommas eine unvollständige achte Stelle vorhanden, die nur die Ziffern 0 und 1 enthalten muß, während rechts des Kommas sieben volle Stellen vorgesehen sind. Der Stellenbereich würde demnach von 0 bis 1,9999999 laufen. Hierbei wirkt sich die Stelle links des Kommas auf das Koordinatenrechnen besonders günstig aus, da nun beim Wechsel der 100-km-Ziffer für den kleineren Wert 0 und für den größeren 1 angenommen werden kann, wodurch sich die Bildung der Koordinatendifferenzen störungsfrei abwickelt.

Die in der Geodäsie weiterhin vorkommenden Rechengrößen haben in der Regel Werte, die weniger als 7 Stellen einnehmen und bei entsprechender Programmierung in das vorgegebene System eingefügt werden können. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die gebräuchlichsten Rechengrößen und ihre Stellung im Ziffernsystem der Maschine.

Rechengrößen	Höchstwerte	Maschinen-Einheiten	Komma-Einheiten	kleinste Einheit
Längenmaße	1˙99999, 99	100 km	1 m	1 cm
Flächenmaße	1˙999, 9999	1000 ha	1 ha	1 qm
Winkelmaße	3˙99, 99999	100^{g}	1^{g}	$0,1^{cc}$
sin-cos-Funktionen	1˙, 0000000	-	-	-
Richtungskoeffizienten	1˙999, 99oo	(s in mm)	(s in m)	-
Produktsummen hievon	1˙999999, 9	"	"	-
Gewichte und Gewichtsreziproke	1˙, 9999999	-	-	-
Richtungswidersprüche und -Verbesserungen	1˙999, 9ooo	10^{c}	1^{cc}	$0,0001^{cc}$
Fehlerquadratsumme	1˙999999, 9	-	(v in ^{cc})	-

In den möglichen Höchstwerten bedeutet ein ˙ das Maschinenkomma, ein Komma die gebräuchliche Stellung des Kommas, eine kleine Null überflüssige Stellen. Zu beachten ist, daß beim Ablauf der Rechenoperationen stets das Maschinenkomma wirksam ist, während das gebräuchliche Komma nur das Zahlenbild bestimmt. Neben den variablen Rechengrößen treten einige Konstante auf, die in das Ziffernsystem so eingeordnet werden können, daß die variablen Größen in der vorbestimmten Stellung erscheinen.

Der festgesetzte dezimale Zahlenbereich ist nun in das Dualsystem zu übersetzen. Wäre das Komma am rechten Ende der Ziffergruppe, so würde die Zahl 19999999 im Dualsystem 1001100010010110011111111 lauten, d.h. es wären 25 Dualstellen erforderlich, die aber dann voll ausgenützt bis 33554431 reichen würden. Dem Dezimalbruch 1,9999999 entspricht aber

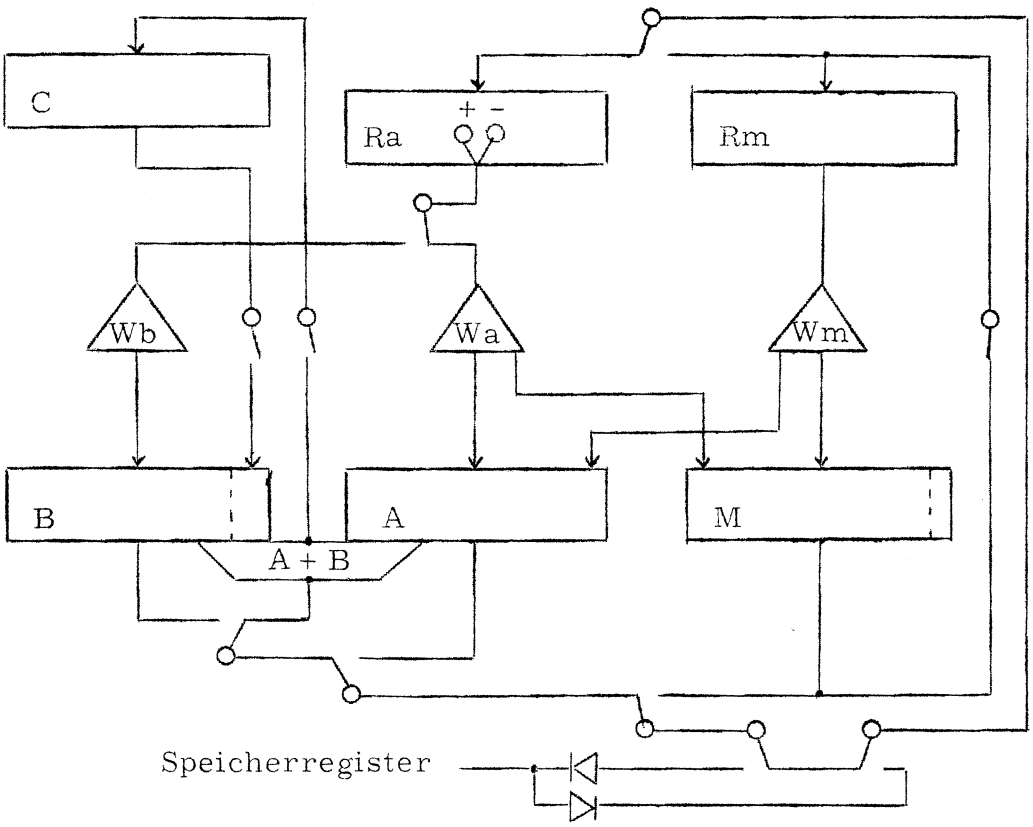

Abb. 3 Kreislaufschema des Rechenwerks

ein unendlicher Dualbruch; es ist demnach zu untersuchen, mit wieviel Dualstellen die letzte Dezimalstelle genügend genau definiert ist. Würde man wieder 25 Dualstellen annehmen, die von 2^{0} bis 2^{-24} reichen müßten, so wäre die 7. Dezimalstelle auf 0,596 Einheiten genau festgelegt, da $2^{-24} = 0,0000000596$, und somit noch nicht garantiert. Mit Rücksicht auf die Längenmaße, deren Centimetereinheit sichergestellt sein soll, wurde daher die Rechnungsschärfe durch Anfügen zweier weiterer Dualstellen erhöht, so daß die 7. Dezimalstelle nun auf 0,149 Einheiten genau definierbar ist. Der duale Stellenbereich würde demnach von 2^{0} bis 2^{-26} laufen, was dem dezimalen Bereich von 10^{0} bis 10^{-7} entspricht.

Das Rechengerät Z 11 wurde aber gleichzeitig für geodätische und optische Zwecke entwickelt. Dabei hat sich gezeigt, daß für die Lösung der optischen Aufgaben 2 Dualstellen links des Kommas notwendig sind, während auf die Stelle 2^{-26} verzichtet werden kann. Für die geodätischen Probleme aber erschien die Stelle 2^{+1} überflüssig, während die Stelle 2^{-26} wegen der Sicherstellung der Centimetereinheit nicht preisgegeben werden sollte. Um nun trotzdem einen Einheitstyp der Z 11 herstellen zu können, wurde zwar an der Kommalage für optische Bedürfnisse festgehalten, doch werden in der geodätischen Geräteausführung durch einen verdoppelten Korrekturfaktor alle eingegebenen Werte um eine Dualstelle aufwärts verschoben, so daß der Ziffernbereich der Maschine von 2^{+1} bis 2^{-25} voll ausgenützt ist. Damit werden aber alle Längen- und Flächenwerte verdoppelt und vervierfacht gerechnet, während die Winkelfunktionen und ähnliche Quotienten doch dem Maschinenkomma entsprechend auftreten. Dieser Umstand, dem auch durch Änderung der Konstanten Rechnung getragen werden mußte, macht die numerischen Vorgänge etwas unübersichtlich. Bemerkt sei aber, daß sich das Vorhandensein der Stelle 2^{+1} bei einigen geodätischen Problemen doch als vorteilhaft erwiesen hat.

Die gewählte Darstellung der Zahlen mit Komma links bewirkt, daß sich beim Multiplizieren das Produkt nach rechts ausbreitet, wobei es die Summe der Stellenzahlen der beiden Faktoren annehmen kann. Da aber der Stellenübertrag nach links läuft, können sich während der Multiplikation nur die dem Multiplikanden entsprechenden oberen Stellen der Zwischenprodukte ändern, während die nach rechts auslaufenden Ziffern unverändert bleiben und nur verschoben werden. Bei achtstelligen Faktoren des obigen Bereichs ist daher nur ein achtstelliges Addierwerk notwendig, an das sich nach unten ein siebenstelliger Speicher zur Aufnahme der auslaufenden sog. "unwesentlichen Stellen" anschließt. Wären nur Rechengrößen zu verarbeiten, deren Werteinheiten dem Maschinenkomma entsprechen, wie z.B. Winkelfunktionen zu multiplizieren, so wäre dieser Speicher überflüssig, da die "unwesentlichen Stellen" wegfallen könnten.

Unter Berücksichtigung aller Erfordernisse hat sich ein Rechenwerk ergeben, das gemäß Abb. 3 aufgebaut ist. Es besteht aus den 5 Rechenregistern B, A, M, Ra und Rm, den 3 Weichenstraßen Wb, Wa und Wm und dem Angabenpufferspeicher C. A-B ist das Addierwerk, dessen Elemente gemäß Abb. 2 miteinander verbunden sind. M ist die als Speicher ausgebildete Verlängerung von A. Die Rechenspeicher Ra und Rm nehmen die Zwischenwerte der Operationen auf und besorgen die Komplementbildung. Besondere Relaissätze steuern die Zuführung der Operanden auf die Rechenregister. Die Weichenstraßen Wb, Wa und Wm bewirken die Stellenverschiebung beim Belegen von B, A und M, wobei die Beträge mit Potenzen von 2 multipliziert werden.

Die Zuführung der Operanden vom Speicherwerk auf das Rechenwerk und der Start einer Rechenoperation erfolgen in zwei Programmschritten. Im ersten Schritt wird stets der 1. Operand, d.i. der Augend, Minuend, Multiplikator, Dividend oder Radikand, über Ra auf A gebracht. Im zweiten

Schritt wird die Operation gewählt und aufgerufen und gleichzeitig der 2. Operand nach B gesteuert, der dort als Addend, Subtrahend, Multiplikand oder Divisor wirkt. Wurde eine Subtraktion oder Division gewählt, so wird das Komplement des 2. Operanden nach B übertragen. Bei Multiplikation wird gleichzeitig der 1. Operand als Multiplikator von A über Rm nach M geleitet. Bei Radikation entfällt die Zuführung eines 2. Operanden.

Beim Ablauf der Rechenoperationen kreisen die Zwischenwerte vom Ausgang des Addierwerks und von M über Ra und Rm zurück auf A und M, während der Wert in B stehen bleibt; nur bei Radikation baut sich in B die Quadratwurzel auf. Bei Multiplikation werden dabei die Zwischenprodukte und der Multiplikator durch Wa-Wm nach abwärts verschoben. Hierdurch breitet sich das Produkt, wie oben gesagt, nach rechts über M aus und verdrängt dort den Multiplikator, so daß nach Schluß der Operation das Produkt mit voller Stellenzahl oder "doppelter Genauigkeit" (fünfzehnstellig von 0 bis 1,99999999999999) in A-M steht. Vom Multiplikator, der während der Operation im Rechenwerk verloren geht, befindet sich bei jedem Umlauf diejenige Ziffer in der untersten Stelle des Multiplikator-Registers M, welche die Multiplikation leiten soll. Die letzte Stelle von M hat daher die Aufgabe, die Multiplikation zu steuern. Hierzu ist jedoch zu bemerken, daß es nach einem Verfahren von ZUSE möglich ist, zugleich 2 Ziffern des Multiplikators abzufragen, wodurch bei jedem Umlauf um 2 Dualstellen verschoben werden und die Multiplikation mit verdoppelter Geschwindigkeit ablaufen kann.

Bei Division kann der Dividend entweder achtstellig auf A oder fünfzehnstellig auf A-M stehen. Im Laufe der Operation wird er durch Wa-Wm aufwärts verschoben und abgebaut. Die dabei frei werdenden unteren Stellen von M werden nun zum Aufbau des Quotienten ausgenützt, indem die jeweils ermittelte Ziffer desselben auf die unterste Stelle von M abgesetzt wird.

Am Schluß der Operation wird der Quotient von M über Ra nach A geleitet. Bei Radikation kann der Radikand gleichfalls achtstellig auf A oder fünfzehnstellig auf A-M stehen. Das Register B ist jedoch zu Beginn leer. Während der Operation läuft nun die "quadratische Ergänzung" von links nach rechts durch B, die zusammen mit der sich aufbauenden Wurzel in jedem Radikationsschritt den jeweiligen Divisor bildet [6]. Nach Schluß der Operation wird das Resultat wieder von B über Ra nach A gebracht.

Aus vorstehendem ist zu entnehmen, daß das Resultat einer Operation stets auf A oder bei Multiplikation auch auf A-M abgesetzt wird, wo es entweder in das Speicherwerk übertragen werden oder als 1. Operand der nächsten Operation stehen bleiben kann. Demnach kann ein Wert als Produkt auch fünfzehnstellig auftreten und als Dividend oder Radikand auch fünfzehnstellig eingesetzt werden. Daraus ergibt sich zunächst die Notwendigkeit, Beträge mit doppelter Stellenzahl zu speichern. Dies geschieht einfach dadurch, daß das Resultat aus A-M in zwei Speicherregistern je zur Hälfte getrennt gespeichert wird; umgekehrt kann durch einen Sonderbefehl auch die untere Hälfte einer Zahl als Teil des 1. Operanden über Rm nach M geleitet werden. Weiterhin wird es notwendig, Beträge mit doppelter Stellenzahl zu addieren oder zu subtrahieren. Hierfür wurde eine eigene Operationsart geschaffen. Der Vorgang ist in zwei Abschnitte aufgeteilt und erfolgt in zwei Programmschritten, nachdem vorher der 1. Operand auf A-M gebracht worden ist. Im ersten Abschnitt wird die untere Hälfte des 2. Operanden nach B geführt und unter vorübergehendem Austausch der beiden Hälften des 1. Operanden in A-M (auf dem Weg über Ra-Rm) mit der unteren Hälfte des 1. Operanden addiert oder subtrahiert. Im zweiten Abschnitt wird die obere Hälfte des 2. Operanden nach B gebracht und mit der oberen Hälfte des 1. Operanden addiert oder subtrahiert, wobei nun der besonders gespeicherte Übertrag aus der ersten Teiloperation eingeführt wird. Das Resultat steht wieder in A-M.

Neben den genannten sind noch weitere arithmetische Operationen vorgesehen, die die Programmierung erleichtern und abkürzen sollen. So wurde die Verschiebung über Wa-Wm als besondere Multiplikation oder Division mit 2 oder 4 bereitgestellt. Außerdem wurde die Bildung der dekadischen Ergänzung $1 - |x|$ als besondere Operation eingeführt.

Alle Operationen werden grundsätzlich mit Vorzeichen gerechnet. Dieses wird in einer 28. Dualstelle der Rechen- und Speicher-Register bei allen Zahlen mitgeführt. Somit werden alle Operationen in der algebraischen Form $(\pm a) \overset{+}{\underset{\vdots}{\overline{\times}}} (\pm b) = \pm x$ gerechnet. Es kommen daher den Vorzeichen-Relais des Rechenwerks wichtige Steuerfunktionen zu. Für die Programmierung wurden noch besondere Operationen geschaffen, die die Vorzeichen im Rechenwerk zu beeinflussen gestatten, und zwar die Negierung $-(\pm x)$ und die Absolutwertbildung $|x|$.

In einer Rechenmaschine, die im Dualsystem arbeitet, sind schließlich noch zwei Operationen unentbehrlich, nämlich die Übersetzung der eingegebenen Beträge in das Dualsystem und die Rückübersetzung der Ergebnisse in das Dezimalsystem. Diese Operationen können mit einfachen Verfahren und wenig Sonderaufwand sehr schnell abgewickelt und daher nicht als ausschlaggebende Argumente gegen die Verwendung des reinen Dualsystems in einer Rechenmaschine angeführt werden.

Die Verbindung zwischen dem dualen Rechenwerk und den dezimalen Teilen der Rechenanlage, der Betragstastatur und der Schreibmaschine, stellt der Angabenpufferspeicher C her, der sich aus Tetraden zu je 4 Dualstellen zusammensetzt, von denen jede für sich getrennt eine dezimale Ziffer ausdrücken kann. Wird über die Tastatur eine Zahl eingegeben, so wird diese zunächst ziffernweise dual übersetzt in C gespeichert. Umgekehrt kann eine in C gespeicherte "dual verschlüsselte" Zahl ziffernweise von der Schreibmaschine abgefragt und gedruckt werden. Es handelt sich also noch darum, die Umwandlung zwischen den dual verschlüsselten und den rein dualen Zahlen zu vollbringen.

Beim Übersetzen in das Dualsystem wird aus C von links nach rechts bei jedem Rechenschritt je eine Tetrade nach B geholt und jeweils zu dem bisherigen Aufbauwert der Zahl in A addiert; die Summe wird mit 10 multipliziert und wieder in A für den nächsten Rechenschritt bereitgestellt. Diese Multiplikation mit 10 erfolgt nun in abgekürzter Weise; da die dezimale 10 dual 1010 lautet, kann sie durch einfache Addition des zwei- und achtfachen Wertes der Zahl erreicht werden. Praktisch geschieht dies dadurch, daß die zu multiplizierende Summe über Ra sowohl durch Wb um 1 Stelle aufwärts nach B als auch durch Wa um 3 Stellen aufwärts verschoben nach A geleitet wird; die neue Summe ist dann der zehnfache Wert der alten. Am Ende des Übersetzungsvorganges steht der duale Wert mit Komma rechts in A, da der eingetastete Betrag nicht als Dezimalbruch, sondern als ganze Zahl aufgefaßt worden ist. Das Komma ist daher durch eine Korrekturmultiplikation der Zahl mit $2^{25} : 10^{7} = 3,3554432$ an die vorgesehene Stelle zu rücken. Da aber dieser Wert in der geodätischen Geräteausführung verdoppelt werden soll und damit den Ziffernbereich der Maschine überschreiten würde, werden schon die Tetraden um eine Stelle aufwärts verschoben nach B gebracht, so daß der Korrekturfaktor den halben Sollwert betragen kann.

Beim Rückübersetzen in das Dezimalsystem wird die in A befindliche Zahl in gleicher Weise wie beim Übersetzen bei jedem Rechenschritt mit 10 multipliziert und wieder nach A gebracht. Dabei treten jedes Mal duale Ziffern nach links über das Komma aus, die jeweils einer dezimalen Ziffer entsprechen und nicht wieder nach A zurückgeleitet, sondern nach C geführt werden und hier von links nach rechts die Tetraden des Resultats ergeben. Da die Rückübersetzung kommagetreu erfolgt, ist keine Korrekturmultiplikation notwendig. Der Vorgang der Rückübersetzung ist aber nach der 7. Dezimalstelle noch nicht beendet; er ließe sich noch länger fortsetzen, da in der Regel noch ein Rest in A bleiben wird. Andererseits wäre eine automatische Aufrundung des Resultats bei entsprechendem Rest nur bedingt möglich, da sich die Aufrundung auf die letzte Stelle beschränken müßte, d.h. bei einer 9 nicht rückwärts fortpflanzen könnte.[1] Aus diesem Grunde wird bei der Ausgabe des Resultats noch eine 8. Dezimalstelle ausgeliefert, um die Aufrundung von Hand zu ermöglichen.

Im Zusammenhang mit dem Rechenwerk ist auch das Speicherwerk zu behandeln. Dieses besteht aus dem Variablenspeicher, dem Konstantenspeicher und dem Pufferspeicher des Lochstreifenwerks, sofern ein solches vorhanden ist. Der Variablenspeicher setzt sich je nach Bedarf aus 10 bis 26 Speicherregistern zusammen und dient zur Aufnahme der Zwischenwerte. Zur Lösung geodätischer Aufgaben sind im allgemeinen 14 Speicherzellen notwendig. Das Belegen eines Speicherregisters mit einer Zahl erfolgt in einem Programmschritt aus einem der Rechenregister A oder M; hierbei wird der bisher gespeicherte Wert automatisch gelöscht. Die Speicherzellen 1 bis 10 können aber auch durch einen besonderen Befehl gelöscht werden. Der Konstantenspeicher, der nur abgelesen werden kann, stellt häufig gebrauchte Festwerte bereit.

4. Das Lochstreifenwerk

Bei gewissen Aufgaben, insbesondere bei einer Ausgleichungsrechnung mit mehr als 4 Normalgleichungen, treten so zahlreiche Zwischenwerte auf, daß an deren Speicherung durch einen Relaisspeicher nicht mehr gedacht werden kann. Andererseits fallen diese Werte in einer Reihenfolge an, die

---

[1] Eine automatische, näherungsweise Aufrundung, die darauf beruht, daß zum Resultat vor der Rückübersetzung $2^{-24} \approx 0,5 \cdot 10^{-7}$ addiert wird, soll bei den künftigen Maschinen angewendet werden.

in einfacher Beziehung zur Reihenfolge ihres Wiedereinsatzes steht. Es können daher die Zwischenwerte auf einem Lochstreifen gespeichert werden, der als äußerer Speicher beliebig vieler Werte wirkt.

Die Lochstreifeneinheit besteht aus einem Abtaster mit zwei Abtastköpfen und einem Locher für normale Fernschreiblochstreifen. Die Werte können auf dem Lochstreifen in dualer oder dezimaler Form dargestellt werden. Im ersteren Fall besteht eine Zahl aus 6 Fünflochreihen. Zwischen dem Lochstreifenwerk und dem Rechenwerk liegen dann Pufferspeicher. Durch einen gewissen Befehl wird der im Streifen gelochte Wert von einem Abtastkopf abgelesen und in einem Abtasterpufferspeicher gespeichert, der dann seinerseits vom Rechenwerk beliebig abgelesen werden kann. Ist umgekehrt ein Wert zu lochen, so ist er im Locherpufferspeicher zu speichern, worauf anschließend die Lochung erfolgt. Am Anfang und am Schluß eines dualen Lochstreifens wird je eine "Kennzahl" gelocht. Die Anfangskennzahl erleichtert das richtige Einlegen des Lochstreifens in den Abtastkopf, was jeweils von Hand erfolgt. Für zyklische Programme kann der Lochstreifen zu einem Ring zusammengeklebt werden, wobei dann die Anfangs- und die Schlußkennzahl aufeinander geklebt werden. Die Kennzahl wird einem Konstantenspeicher entnommen, dessen Wert eine auffallend symmetrische Ziffernanordnung zeigt und eine Steuerposition enthält, die bewirken kann, daß beim Abtasten der Schlußkennzahl der meist zyklische Rechengang zum Abschluß gebracht wird.

Auf dem dezimalen Lochstreifen stehen die Zahlen nach dem internationalen Fernschreibcode ziffernweise verschlüsselt. Hier werden die Werte wie bei der Ausgabe durch die Schreibmaschine vor dem Lochen zu Tetraden rückübersetzt und dann in den Fernschreibcode umgeschlüsselt. Entsprechend werden die abgetasteten Ziffern in Tetraden umgecodet und hierauf in das Dualsystem übersetzt. Anfangs- und Schlußkennzahlen sind hier nicht notwendig; in besonderen Fällen können die Fernschreibzeichen für "Ziffern und Zeichen", "Zwischenraum", "Wagenrücklauf", "Zeilenwechsel", "Komma", "Klingel" oder "wer da" als Kennzeichen genommen werden. Ferner sind keine Pufferspeicher erforderlich.

Das dezimale Lochstreifenwerk ermöglicht den Anschluß der Z 11 an andere Geräte, die mit Lochstreifen im Fernschreibcode arbeiten, wie z. B. an das Fernschreibnetz, den Siemag-Streifenlocher, den Exomat von Zeiss-Aerotopograph oder einen automatischen Kartierungstisch. Außerdem kann es wie das duale Lochstreifenwerk als äußerer Speicher dienen. Trotzdem darf dieses nicht als entbehrlich erachtet werden, da es nur halb so viel Lochband verbraucht und wesentlich schneller arbeitet als jenes, was sich insbesondere dann auswirkt, wenn viel gelocht oder abgetastet und wenig gerechnet wird.

5. Rechentechnische Besonderheiten

Eine häufig nutzbare Eigenschaft des Rechenwerks ist, daß die Produkte mit voller Stellenzahl gerechnet und sogleich anschließend als Dividenden eingesetzt werden können. Hierdurch wird jeglicher Genauigkeitsverlust bei Ausrechnung des oft vorkommenden Dreisatzes $\frac{a \cdot b}{c}$ vermieden. Dieser Ausdruck kann somit stets (a x b) : c gerechnet werden, wodurch auch Bereichsüberschreitungen verhindert werden, die auftreten können, wenn a x (b : c) gerechnet würde. Von letzterer Möglichkeit wird in der Regel auch dann nicht Gebrauch gemacht, wenn ein konstanter Quotient b : c mehrmals mit einem variablen Faktor a zu multiplizieren ist, wie dies z. B. beim Gaußschen Algorithmus der Fall wäre; es wird dann lieber der Zeitverlust durch die jedesmalige Division in Kauf genommen. Jenes Verfahren erlaubt aber auch sonst nicht durchführbare Berechnungen, wie z. B. a x tg ß. Vorausgesetzt, daß das Resultat den Zahlenbereich der Maschine nicht überschreiten wird, kann hier die nicht darstellbare Tangensfunktion durch sin ß und cos ß ersetzt und sodann (a x sin ß) : cos ß gerechnet werden.

Aus programmtechnischen Gründen kann aber doch der Fall eintreten, daß obiger Ausdruck in der Form $a \times (b : c)$ gerechnet werden muß. Dies kann insbesondere dann zutreffen, wenn der Quotient $b : c$ in einem Vorprogramm gebildet wurde und in einem Hauptprogramm beliebig oft mit dem variablen Faktor a multipliziert werden soll. Kann hier der Quotient $b : c$ von 0 bis ∞ reichen, so wird folgendes reziproke Verfahren eingeschlagen: Mit den beiden Werten b und c wird zunächst ein Größenvergleich angestellt, indem $|c| - |b|$ gerechnet und das Vorzeichen des Resultats durch ein "Bedingungsrelais" abgefragt wird; dieses wird angezogen, wenn $c < b$ und somit das Resultat negativ ist. Das angesprochene Bedingungsrelais bewirkt nun, daß die beiden Werte b und c bei der Division als Operanden vertauscht werden und daß die Werte a später durch den Quotienten $c : b$ dividiert werden. Es gilt also

$$a \times (b : c), \text{ wenn } c \geqq b, \text{ und } a : (c : b), \text{ wenn } c < b. \tag{1}$$

Wenn die kleinste Einheit einer Rechengröße als ganze Zahl definiert sein soll, müßte eigentlich mit dem Komma am rechten Ende der Werte gerechnet werden. Wird das Komma aber links gesetzt und dadurch mit Dezimalbrüchen gerechnet, so gibt es im Produkt zweier solcher Rechengrößen keine "unwesentlichen" Stellen. Es muß daher die Möglichkeit geschaffen sein, mit den Produkten zweier siebenstelliger Werte in jedem Fall vierzehnstellig weiterrechnen zu können. Bisher wurde gezeigt, daß fünfzehnstellige Produkte als Dividenden und Radikanden eingesetzt und auch addiert und subtrahiert werden können. Einige geodätische Aufgaben haben aber die Form $\frac{a \cdot y + b \cdot x}{s^2}$ oder $\frac{a \cdot y - b \cdot x}{c \cdot y - d \cdot x}$, worin alle Werte a, x, s usw. Längenmaße sind, deren Produkte und Quadrate fünfzehnstellig ausgewiesen werden müssen. Es entsteht daher die Notwendigkeit, Werte mit "doppelter Genauigkeit" auch als Divisor einzusetzen.

Ist $s \geqq a, y$ usw. was bei den gedachten Problemen in der Regel zutrifft, so kann der vorstehende Ausdruck in der folgenden einfachen Weise aufgelöst und gerechnet werden:

$$\frac{a \cdot y + b \cdot x}{s^2} = \frac{a}{s} \cdot \frac{y}{s} + \frac{b}{s} \cdot \frac{x}{s} .$$

Zur Lösung des zweiten Ausdrucks muß jedoch ein besonderes Verfahren angewendet werden, zumal berücksichtigt werden muß, daß der Quotient von 0 bis ∞ reichen kann. Die Stellenzahl eines Wertes kann vorübergehend auf die Hälfte reduziert werden, wenn die Quadratwurzel gezogen und später wieder quadriert wird. Dabei muß das Vorzeichen besonders behandelt werden; ein Genauigkeitsverlust kann jeweils nur in der untersten Dualstelle auftreten, die aber nur einen Bruchteil der untersten Dezimalstelle ausmacht. Die Berechnung des Quotienten wird also folgendermaßen umgeformt:

$$\frac{a \cdot y - b \cdot x}{c \cdot y - d \cdot x} = \left(\frac{\sqrt{|a \cdot y - b \cdot x|}}{\sqrt{|c \cdot y - d \cdot x|}}\right)^2 \times \operatorname{sgn} \left(\frac{a \cdot y - b \cdot x}{c \cdot y - d \cdot x}\right) \qquad (2)$$

d.h. es werden Zähler und Nenner radiziert und dann siebenstellig dividiert; der Quotient wird quadriert, wobei jetzt die "unwesentlichen Stellen" abgeschnitten werden dürfen. Um nun das Vorzeichen mitführen zu können, wurde ein Sonder-Speicherbefehl geschaffen, mit dessen Hilfe bei Übertragung eines Wertes vom Rechen- in das Speicherwerk nach einer Operation nicht das Vorzeichen des Resultats, sondern des 1. Operanden mitgenommen wird. Dabei kann eine Wurzel das Vorzeichen des Radikanden, der hier auch negativ sein darf, und ein Quadrat das Vorzeichen des Faktors erhalten. Schließlich ist noch zu beachten, ob der Quotient von 0 bis ∞ reichen kann. Ist dies der Fall, so ist im Stadium der Quadratwurzel ein Größenvergleich durchzuführen und nach (1) reziprok zu verfahren, sofern der Quotient in die weitere Rechnung als Faktor eingeht.

Die bisher betrachteten Rechengrößen konnten als Dezimalbrüche dargestellt werden. In gewissen Fällen ist das Rechnen mit ganzen Zahlen in Beziehung zum Maschinenkomma aber unumgänglich. Dies trifft bei der Bildung des arithmetischen Mittels [a] : n aus n Werten a zu, wo n eine ganze Zahl ist. Die Mittelbildung kann aber sofort wieder auf Dezimalbrüche abgestellt werden, wenn der reziproke Wert 1 : n eingeführt wird; es gilt dann [a] x (1 : n).

Ist die Zahl n in die Maschine einzutasten, so ist nur möglich, in Bezug auf das Maschinenkomma z. B. $n \times 10^{-2}$ einzugeben. Es wird dann einfach $0,01 : (n \times 10^{-2}) = 1 : n$ gerechnet, wobei 0,01 als Konstante gespeichert ist. Die Zahl n kann aber auch von der Maschine ermittelt werden, wenn die Werte a in einem zyklischen Programm berechnet und aufsummiert werden. Die Maschine zählt dann die Anzahl n der Durchläufe des Programms, indem bei jedem Zyklus eine duale Ziffer, z. B. 2^{-25} in einem Speicher aufsummiert wird. Zum Schluß wird $2^{-25} : (n \cdot 2^{-25}) = 1 : n$ gerechnet, wobei nun 2^{-25} als Konstante vorhanden sein muß.

Umgekehrt kann der Maschine auch aufgegeben werden, ein zyklisches Programm n-mal zu wiederholen. Hierzu ist wieder $n \times 10^{-2}$ einzugeben. Es wird dann von diesem Wert bei jedem Umlauf 0,01 subtrahiert und der Rest mit einer Zahl zwischen 0,01 und 0, also z. B. 0,001 verglichen. Solange der Rest $> 0,001$ erscheint, wird das Programm nochmals wiederholt. Ist der Rest $< 0,001$, d. h. ≈ 0, so wird der Zyklus abgebrochen. Zum Größenvergleich muß eine Zahl zwischen 0,01 und 0 herangezogen werden, um Aufrundungsfehler in der letzten Stelle unwirksam zu machen.

6. Das Programmwerk

Aufgabe des Programmwerkes ist, die "Rechenprogramme" abzuwickeln. Diese sind jeweils eine Gesamtheit von "Recheninstruktionen", worunter die Befehle zur Ausführung der arithmetischen und logischen Operationen zu verstehen sind. Der Begriff "arithmetische Operationen" ist allgemein bekannt. Die "logischen Operationen" stellen die Verbindung zwischen den arithmetischen her; sie transferieren die Zahlen zwischen Rechen- und Speicherwerk, verlangen die Eingabe von Anfangswerten, liefern die Resultate aus, führen bedingte oder unbedingte Sprünge über Programmteile durch usw. Die logischen Operationen sind demnach das Wesentliche des programmgesteuerten Rechnens. Die Rechenprogramme sind in die der Konstruktion der Maschine eingepaßten "Befehlsreihen", auch "Rechenpläne" genannt, zu übersetzen.

Das Rechengerät Z 11 als Weiterentwicklung des Rechenautomaten SM 1 ist vornehmlich zur Durchrechnung einer beschränkten Anzahl festliegender numerischer Formeln bestimmt. Bei dieser Gegebenheit erschien es zweckmäßig, auch die den Formeln entsprechenden Rechenprogramme in der Maschine festzulegen, indem für jede zugehörige Befehlsreihe ein besonderes Steuerorgan vorgesehen wird. Als solche werden die im Fernsprechbau gebräuchlichen Schrittschalt-Drehwähler, die für Relaisanlagen geschaffen sind, für geeignet befunden und verwendet. Auf diesen Programmschrittschaltern werden die Befehlsreihen durch feste Verdrahtung gespeichert. Das Aufrufen eines gewünschten Rechenprogramms erfolgt dann durch Drücken einer "Programmtaste", die über ein Relais den zugeordneten Schrittschalter in Tätigkeit setzt.

Die verwendeten Schrittschalt-Drehwähler werden je nach Länge der Befehlsreihe verschieden groß genommen. Dabei ist man an die handelsüblichen Größen zu 12, 18, 26, 36 oder 52 Schritten gebunden. Beansprucht eine Befehlsreihe mehr als 52 Schritte, so sind 2 oder mehr Schrittschalter zu koppeln. Jeder Schrittschalter trägt 5 Arme bzw. 5 Kontaktreihen a bis e. Es können daher auf einem Programmschritt gleichzeitig bis zu 5 Befehle gegeben werden.

Zur Durchführung einer Rechnung sind folgende Grundbefehle notwendig: Aufrufen einer Speicheradresse zwecks Ablesung oder Speicherung; Aufrufen einer arithmetischen Operation, und zwar: Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division, Radikation, Addition oder Subtraktion mit doppelter Stellenzahl, dekadische Ergänzung, Multiplikation mit 4, 2, 1/2 oder 1/4, Negierung und Absolutwertbildung; Speicherung aus dem Rechenregister A oder M mit Vorzeichen des Resultats oder des 1. Operanden; Rückübersetzung und Ausgabe eines Resultats über die Schreibmaschine (oder den Locher); Eingabe eines Anfangswertes über die Betragstastatur (oder den Abtaster) und Übersetzung.

Der letztere Befehl ergeht zunächst an den Rechner, wobei die Maschine gleichzeitig melden muß, welche der Formeldaten zur Eingabe jeweils an die Reihe kommt. Zu diesem Zweck sind auf der Bedienungsfront Formelzeichen-Transparente angebracht, die durch einen Arm der Schrittschalter zum Aufleuchten gebracht werden.

Das Eintasten eines Wertes erfolgt in einem Halteschritt, bei dem der Schrittschalter stehen bleibt und erst durch Betätigung einer "Anlaßtaste" wieder in Gang gesetzt wird. Der Rechner kann also den geforderten Anfangswert in die Betragstastatur drücken, noch kontrollieren und korrigieren und erst, wenn er die Anlaßtaste drückt, wird der Wert von der Maschine aufgenommen. Die Z 11 besitzt jedoch fünf solcher Anlaßtasten, die zwar verschiedene Vorgänge auslösen, aber stets in einem Halteschritt die Fortsetzung des Rechenprogramms bewirken. Dabei kommt in einem bestimmten Halteschritt nur die Betätigung bestimmter Anlaßtasten in Frage. Die Maschine muß daher dem Rechner anzeigen, welche Anlaßtasten jeweils gedrückt werden können. Zu diesem Zweck sind die Beschriftungen dieser Tasten in transparenter Form ausgebildet. Durch einen Wartebefehl, wozu auch der Eintastbefehl gehört, werden in den Halteschritten die entsprechenden Anlaßtasten freigegeben und die zugehörigen Transparente beleuchtet. Es sind folgende Anlaßtasten vorgesehen:

"eintasten" "springen" "weiterfahren" "wiederholen" "beenden"

Die Bedeutung der ersten Taste mit der Anschrift "eintasten" wurde bereits geschildert. Sie bringt den eingetasteten Wert in den Angabenpufferspeicher C und löst die Operation des Übersetzens aus, nach deren Abschluß der Programm-Schrittschalter weiterläuft.

Viele Rechenprogramme sollen nicht einfach aus der starren Übertragung einer Berechnungsformel in eine Befehlsreihe bestehen, da viele Formeln den Kern verschiedener Rechengänge bilden und bei verschiedener Handhabung zur Lösung unterschiedlicher Probleme dienen können. Mit Hilfe der logischen Operationen ist es möglich, durch Befehlsverzweigungen die Anwendung einer Formel oder eines Formelsatzes für unterschiedliche Rechengänge in einem Programm zu verwirklichen. Diese Befehlsverzweigungen werden dadurch erreicht, daß alle notwendigen Recheninstruktionen in einer Befehlsreihe zusammengefaßt werden und dann die jeweils gebrauchten Operationen dadurch zusammengesetzt werden, daß die nicht benötigten übersprungen werden.

Die zweite Anlaßtaste "springen", die stets zugleich mit "eintasten" zur Wahl steht, gestattet die Ausführung von Sprüngen über bestimmte Operationen vorzubereiten, bei denen der einzugebende Wert verwendet würde. In einem solchen Halteschritt kann also entweder ein Anfangswert eingetastet oder ein Sprungbefehl über die entsprechenden Programmteile gegeben werden.

Die dritte Taste "weiterfahren" wird in der Regel mit anderen Anlaßtasten kombiniert und erlaubt, nach Halteschritten weiterzufahren, ohne daß durch Betätigung einer der anderen Tasten ein besonderer Befehl ausgeführt wird. Allein angewendet, soll sie dem Rechner an einer Stelle des Programms Zeit für irgendeine Manipulation geben.

Die vierte Taste "wiederholen" dient mehr Zwecken, als ihre Bezeichnung sagt. Unmittelbar bewirkt sie einen Sprung über den folgenden Teil der Befehlsreihe, der an einer vorbestimmten Stelle wieder aufgehoben wird. Läuft der Sprung über den Stopbefehl des Schrittschalters, d.h. über das Ende des Programms, so wird dieses wiederholt. Der Sprung kann aber auch, wie im Falle der zweiten Anlaßtaste, nur die Abschaltung bestimmter Instruktionen bezwecken. Die Taste "wiederholen" kommt niemals allein zur Anwendung.

Die letzte Taste "beenden" bewirkt stets den Auslauf des Programms, wobei nachfolgende Halteschritte und bestimmte Operationen übersprungen werden. Sie dient hauptsächlich dazu, um Wiederholungsprogramme nach mehrmaligem Durchlauf gegebenenfalls mit einer Schlußrechnung zu Ende zu führen. Diese Taste spricht an jeder Stelle der Befehlsreihe an, um dem Rechner die Möglichkeit zu geben, ein aufgerufenes Programm bei Feststellung eines Irrtums schnell wieder abzubrechen.

Die Sprungbefehle werden nun dadurch erzielt, daß bestimmte Arme der Programm-Schrittschalter vorübergehend abgeschaltet werden. Nachdem der e-Arm für die Formelzeichen-Transparente gebraucht wird, stehen noch die 4 Arme a bis d für die Recheninstruktionen zur Verfügung. Davon können die Arme c und d durch das Sprungrelais Ps 0 und die Arme b und d durch das Relais Ps 1 abgeschaltet werden. Die Befehle können also so auf die Arme bzw. Kontaktreihen verteilt werden, daß sie bei Sprüngen ausfallen oder doch gebracht werden, wodurch eine vielseitige Programmierung ermöglicht wird. Während Ps 0 nur von der Anlaßtaste "beenden" erregt und vom Stopbefehl des Schrittschalters gelöscht wird, kann das "abhängige" Sprungrelais Ps 1 auf mehrfache Weise gebracht und durch einen Sonderbefehl gelöscht werden. Unmittelbar erregt wird es von der Anlaßtaste "wiederholen". Es kann aber auch durch Abfragen eines "Bedingungsrelais" oder eines von Hand bedienten "Programmschalters" gebracht werden.

Zur Lösung geodätischer Probleme werden 5 Bedingungsrelais Gs, Gf 1, Gf 2, Gf 3 und Gf 4 benötigt. Neben der Vorbereitung von Sprungbefehlen erfüllen diese noch Sonderaufgaben.

Das Relais Gf 3 bewirkt das im vorigen Abschnitt geschilderte reziproke Verfahren bei Quotienten, während Gf 1 und Gf 2 zur Ableitung der Winkelfunktionen gebraucht werden. Die Bedingungsrelais können auf bedingte oder unbedingte Weise zum Ansprechen gebracht werden. Werden Sprungbefehle davon hergeleitet, so spricht man von "bedingten" oder "unbedingten" Sprüngen. Das Relais Gs wird von der Anlaßtaste "springen" erregt; in diesem Falle wird ein unbedingter Sprung vorbereitet. Die Bedingungsrelais Gf 1, Gf 2 und Gf 3 können auch durch Abfragen des Vorzeichens eines im Rechenwerk stehenden Resultats angezogen werden, wie z.B. bei einem Größenvergleich; es folgen dann bedingte Sprungbefehle.

Außerdem können Bedingungsrelais durch Abfragen einer in das Rechenwerk gelangten "Steuerposition" gebracht werden. Es sind zwei Steuerpositionen vorgesehen, die den Zahlen nach Art eines Vorzeichens beigefügt und durch zwei besondere Tasten LF und KF der Betragstastatur eingetastet oder einem Konstantenspeicher entnommen werden können. Ist eine Steuerposition in das Rechenwerk gelangt, so kann eines der Bedingungsrelais Gf 3 oder Gf 4 zur Steuerung von Sprüngen zum Anzug gebracht werden.

Die Befehlsreihe auf einem Programm-Schrittschalter kann auch einen Startbefehl für einen anderen Schrittschalter enthalten. Es bleibt dann der erste Schrittschalter solange stehen, bis der zweite umgelaufen ist. Auf diese Weise werden Schrittschalter gekoppelt, wenn die benötigte Schrittzahl 52 übersteigt. Der zweite Schrittschalter kann aber auch ein in sich geschlossenes Programm für eine Nebenrechnung, wie z. B. zur Ableitung von Winkelfunktionen, tragen. In diesem Falle handelt es sich um ein "Unterprogramm", während die Befehlsreihe auf dem ersten Schrittschalter dann als "Oberprogramm" bezeichnet wird.

Umgekehrt kann auch auf dem ersten Schrittschalter eine Nebenrechnung zur Bestimmung und Speicherung von Ausgangswerten, wie z. B. von Transformationselementen, ausgeführt werden, während auf dem zweiten Schrittschalter die Hauptrechnung erfolgt. Hier entspricht die Befehlsreihe des ersten Schrittschalters einem "Vorprogramm" und die des zweiten einem "Hauptprogramm". Oft gehört aber ein Vorprogramm zu mehreren Hauptprogrammen oder umgekehrt. Es sind dann die Vor- und Hauptprogramme durch besondere Programmtasten getrennt aufzurufen. Die Hauptprogramme haben hier weiter keine Eigenart, als daß sie gewisse Anfangswerte als bereits gespeichert voraussetzen und keine Endlöschungen enthalten. Die Vorprogramme dagegen, die vielfach auch Sprünge im Hauptprogramm vorbereiten, müssen nach dessen Ablauf die Löschung der Bedingungsrelais und evtl. auch der Variablenspeicher vollziehen. Zu diesem Zweck haben die Vorprogramme eine Zwischenruhestellung, in der ein Transparent "gespeichert" erscheint und mit dem Hauptprogramm gerechnet werden kann. Nach Abschluß der Hauptrechnung ist die Programmtaste des Vorprogramms nochmals zu drücken, worauf dieses die Endlöschungen bringt und ausläuft.

Die Lösung gewisser Probleme kann, wie z.B. bei der Flächenberechnung nach Gauß, durch mehrfache Wiederholung eines kurzen Programms erreicht werden. In diesem Falle liegt die Wiederholung im Wesen des Problems; man spricht hier von einem "zyklischen Programm".

Weitere Befehle sind noch in Verbindung mit der ferngesteuerten Schreibmaschine erforderlich. Nach Belegung des Angabenpufferspeichers mit einer neuen Zahl wird sowohl bei der Eingabe der Anfangswerte als auch bei der Ausgabe der Resultate ein Druckbefehl an die Schreibmaschine gegeben, wobei im ersten Fall gleichzeitig das Farbband auf rot eingestellt wird, so daß alle Anfangswerte rot und alle Resultate schwarz niedergeschrieben werden. Ein Druckvorgang besteht stets aus 14 Anschlägen, wovon der erste einen Zwischenraum, der zweite das Vorzeichen, der dritte bis elfte die achtstellige Zahl mit Komma, der zwölfte einen Zwischenraum, der dreizehnte bei den Anfangswerten einen Zwischenraum und bei den Resultaten die Aufrundungsziffer und der vierzehnte Anschlag nochmals einen Zwischenraum bringt. Das Komma mußte aufgrund der Konstruktion der verwendeten Schreibmaschine durch einen weiteren Zwischenraum ersetzt werden. Seine Lage innerhalb der neun Anschläge kann durch Sonderbefehle programmiert werden. Es kann hinter die erste Stelle gesetzt werden, wobei es dem Maschinenkomma entspricht, ferner für Winkelmaße zur Kennzeichnung der Grade hinter die dritte, für Flächenmaße (ha) hinter die vierte, für gewisse Koeffizienten hinter die fünfte oder für Längenmaße (mtr) hinter die sechste Stelle gesetzt werden. Dazu kann außerdem befohlen werden, ob die obersten, in einem Betrag nicht vorhandenen Stellen als Nullen geschrieben oder durch Anschlag der Leertaste unterdrückt werden sollen. Diese Möglichkeit wurde bei den geodätischen Aufgaben verwertet, indem die Koordinaten mit ergänzenden Nullen in den obersten Stellen, alle übrigen Werte jedoch mit Nullenunterdrückung niedergeschrieben werden.

Durch einen weiteren Befehl kann auch der Wagenrücklauf mit Zeilenvorschub programmiert werden, so daß in Verbindung mit den einheitlich breiten Betragspalten eine formblattartige Tabulierung gegeben ist.

Schließlich sei noch erwähnt, daß bei einer Überschreitung des Stellenbereichs das Transparent "unmöglich" erscheint und die Maschine stopt. Durch Betätigung der Taste "beenden" kann dann der Rechengang abgebrochen werden.

7. Die Bandsteuerung

Im vorigen Abschnitt wurde das Programmwerk für festliegende Formeln behandelt, wie es nach Gebrauchsmuster Nr. 1760710 den Gedanken des Verfassers entspricht. Um auf der Z 11 jedoch auch beliebige Formeln rechnen zu können und dem Benutzer die Möglichkeit zu geben, Programme selbst zu fertigen, wurde von der Herstellerfirma ZUSE K. G. eine Lochstreifensteuerung, auch "Bandsteuerung" genannt, entwickelt, die bei flexibler Programmierung die Stelle der Schrittschalter vertritt. Die Bandsteuerung ist den festen Programmen vorzuziehen, wenn mit wechselnden Formeln zu rechnen ist oder wenn bei fester Programmierung mehr als 28 Schrittschalter notwendig würden. Den Schrittschalter-Programmen bleibt dagegen der Vorteil einer eleganteren Bedienungsweise und merklich schnelleren Arbeitsweise.

Die Lochstreifensteuerung wird von einem getrennten Zusatzgerät, dem Bandsteuerungstisch, bewirkt. Dieser trägt zwei Abtaster mit je zwei Abtastköpfen und einen Locher für Fernschreiblochstreifen, sowie ein Bedienungspult und enthält Relaispyramiden für den Steuerungsvorgang. Bedienungspult und Locher dienen zur Anfertigung der Programm-Lochstreifen, die dann in die Abtaster zur Steuerung des Rechengerätes eingelegt werden können.

Auf dem Lochstreifen werden die Befehle in vercodeter Form durch Fünflochreihen dargestellt. Zu jeder Recheninstruktion gehören zwei Fünflochreihen. Die Vercodung ist so festgelegt, daß Befehle, die paarweise eine Instruktion bilden, mit einer Fünflochreihe auskommen, während die selbständigen Befehle jeweils zwei Fünflochreihen beanspruchen.

Für die Sprungbefehle wurde eine neue, der Bandsteuerung angepaßte Arbeitsweise entwickelt. Die Wirkung der Bedingungsrelais Gs bis Gf 4 bleibt unverändert. Während das Sprungrelais Ps 0 hier für die Steuerung keine Bedeutung hat, schaltet das Relais Ps 1 jeweils nur eine Recheninstruktion ab und fällt dann selbst ab. Sprünge über mehrere Befehle werden durch Ruf- und Kennummern erzielt. Den vier Abtastköpfen sind die "Rufnummern" 30 bis 33 zugeordnet. Wird von einem beliebigen Abtaster eine Instruktion mit einer solchen Zahl in der ersten Fünflochreihe abgetastet, so wird der entsprechende Abtastkopf aufgerufen. Auf diese Weise kann von einem Abtaster auf einen anderen gesprungen werden, wodurch eine Aufteilung in Ober- und Unterprogramme möglich ist. Ist die zweite Fünflochreihe des Rufbefehls eine Null, so beginnt die Rechnung mit der nächsten Instruktion. Ist sie aber eine bestimmte Zahl, so wird so lange ohne Wirkung abgetastet, bis eine "Kennummer" programmiert ist, deren erste Fünflochreihe Null ist und deren zweite mit jener Zahl übereinstimmt. Hierdurch können auf einem Abtaster auch verschachtelte Sprünge ausgeführt werden.

In der folgenden Übersicht sind alle Befehle zusammengestellt und erläutert, die von der Bandsteuerung angerufen werden können und deren Kenntnis für das Programmieren notwendig ist.

Kriterium		Aufgabe
		Lese- und Speicherbefehle:
	Es...	Erster Operand aus Speicher S... in Register A
Lm	Es...	" " " " " " " M (untere Zahlenhälfte bei doppelter Stellenzahl)
Sa	Es...	Wert aus Register A in Speicher S...
Sa'	Es...	wie vor, aber mit Vorzeichen des ersten Operanden der vorausgehenden Operation
Sm	Es...	Wert aus Register M in Speicher S... (untere Zahlenhälfte bei doppelter Stellenzahl)
	Us	Löschen der Speicher S1 bis S10.
		Arithmetische Operationen:
Op 1	Es...	Zweiter Operand aus S... auf B mit anschließender Addition
Op 2	Es...	wie vor, mit Subtraktion
Op 3	Es...	wie vor, mit Multiplikation
Op 4	Es...	wie vor, mit Division
Op 5		Radikation des Wertes in A-M
Op 6	Es...	Zweiter Operand untere Hälfte aus S... auf B mit anschließender Addition und Resultat in M bei doppelter Stellenzahl
Op 7	Es...	Zweiter Operand obere Hälfte aus S... auf B mit anschließender Addition und Resultat in A bei doppelter Stellenzahl
Op 8	Es...	wie vor, mit Subtraktion
Op 9	Es...	
Op 10		dekadische Ergänzung "1-|x|" des Wertes in A-M
Op 30	Es...	Zweiter Operand aus S... auf B, anschließend Multiplikation mit doppelter Stellenzahl im Produkt
Op 300		Negierung "x·(-1)" des Wertes in A-M

Kriterium	Aufgabe
At	Bildung des Absolutwertes "|x|" in A-M
Va +2 Va +1 Va -1 Va -2	Verschieben des Wertes in A-M um 1 oder 2 Dualstellen aufwärts oder abwärts, d. h. Multiplikation mit 4, 2, 1/2 oder 1/4.
	Außenbefehle :
Wr (Es. . .)	Wert aus A (aus S. . .) in das Dezimalsystem rückübersetzen und in Schwarzdruck schreiben
Sk (Es. . .)	wie vor, in Rotdruck
Ww (Es. . .)	Winkelwert aus A (aus S . . .) rückübersetzen und in Schwarzdruck schreiben unter Bildung der Hundertgradziffer aus den Vorzeichen von sin, cos
Lr	Wert aus A rückübersetzen und im Fernschreibcode lochen
Lw	wie vor, aber Winkelwert entsprechend Ww
Sa Es 301	Wert aus A in Locherpufferspeicher S 301 und im Dualsystem lochen.
Ro	Wagenrücklauf und Zeilenvorschub der Z 11 Schreibmaschine
Rf	Wagenrücklauf und Zeilenvorschub für einen Fernschreiber
Ka. . .	Komma in der Niederschrift an der Stelle . . . von links mit Nullenunterdrückung
Ut 2. . .	Wert im Dualsystem abtasten und Abtasterpufferspeicher S 2. . . neu belegen
Tc 1 Dt	Wert im Fernschreibcode abtasten, in Rotdruck schreiben, in das Dualsystem übersetzen und nach Register A
Tc 1 Dn	wie vor, aber nicht schreiben
Tc 10 Dt	Winkelwert im Fernschreibcode abtasten, entsprechend Tc 1 Dt

Kriterium	Aufgabe
Tc 1 ''. . .''	Transparent ''eintasten'' mit Formelzeichen ''. . .'' und Stop; Wert eintasten, in Rotdruck schreiben, übersetzen und nach A
Tc 10 ''. . .''	wie vor, aber Winkelwert eintasten unter Festlegung der Vorzeichen von sin, cos aus der Hundertgradziffer
Tc 2 ''. . .''	Transparente ''eintasten'' und ''springen'' mit Formelzeichen ''. . .'' und Stop; wie bei Tc 1 ''. . .'' oder Taste ''springen'' drücken unter Erregen von Gs
Tc 3	Transparent ''weiterfahren'' und Stop; Taste ''weiterfahren'' drücken
Tc 34	Transparente ''weiterfahren'' und ''wiederholen'' und Stop; wie vor, oder Taste ''wiederholen'' drücken unter Erregen von Ps 1.
	<u>Bedingungsbefehle :</u>
Gs, F1, F2, F3, F4	Erregen der Bedingungsrelais Gs, Gf 1, Gf 2, Gf 3, Gf 4
Ug, Ug 1, Ug 2, Ug 3, Ug 4	Löschen von Gs, Gf 1, Gf 2, Gf 3, Gf 4
Ug 0	Löschen aller Bedingungsrelais
F1N, F2N	Erregen von Gf 1, Gf 2, wenn Wert in Register A-M negativ
F 3/4 A 1/2	Erregen von Gf 3, wenn Steuerposition 1 in Register A, und von Gf 4, wenn Steuerposition 2 in A
P 1	Erregen des Sprungrelais Ps 1
P1G, P1F1, P1F2, P1F3, P1F4	Erregen von Ps 1 in Abhängigkeit eines Bedingungsrelais
P1Bu	Erregen von Ps 1 in Abhängigkeit des Relais Bu, das bei Abtastung des Fernschreibzeichens ''Buchstaben'' gebracht wird
Ub	Löschen von Bu
$P1^{x}$. . .	Erregen von Ps 1 in Abhängigkeit eines Programmschalters
LF3, KF3	Steuerposition 1 oder 2 nach Register A in Abhängigkeit von Gf 3
Dz. . .	Aufruf eines Unterprogramms auf Schrittschalter Dz. . .

8. Die Behandlung der Winkel

Von großer Bedeutung für ein geodätisches Rechengerät ist dessen Fähigkeit, Winkelmaße in Winkelfunktionen umzurechnen und umgekehrt. Diese Aufgabe wird allgemein durch Unterprogramme gelöst, die von beliebigen Oberprogrammen aufgerufen werden können und die Funktionen durch Reihenentwicklung ableiten.

Wie bereits dargelegt wurde, beschränkt sich die Z 11 mit Rücksicht auf die feste Kommastellung auf die Funktionen Sinus und Cosinus. Wird ausnahmsweise doch eine Funktion Tangens oder Cotangens benötigt, so kann diese als Quotient von sin und cos hergeleitet werden, wobei der Dividend vorher mit 10^{-q} zu multiplizieren ist, wenn vorausbestimmt werden kann, daß bis zu q Stellen links des Kommas auftreten werden, und nicht reziprok gerechnet werden darf. Andernfalls bleibt der Tangens auf das Intervall 0 bis $\pi/4$ und der Cotangens auf $\pi/4$ bis $\pi/2$ beschränkt. Die Umrechnung von Funktionen in das Winkelmaß erfolgt analog über die Arcussinus-Funktion.

In der Z 11 sind für das Rechnen mit Winkelfunktionen zwei Unterprogramme vorgesehen, und zwar eines zur gemeinsamen Ableitung von sin und cos aus eingetasteten Winkelmaßen und eines zur Ableitung und Ausgabe von Winkelmaßen aus den gespeicherten Funktionen sin und cos. Die Entwicklung der Funktionen erfolgt mit Hilfe der Sinus- und der Arcussinus-Reihe:

$$\begin{aligned} \sin x &= x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} \dots = s_1 x - s_3 x^3 + s_5 x^5 - s_7 x^7 \\ \arcsin x &= x + \frac{x^3}{2\cdot 3} + \frac{3x^5}{2\cdot 4\cdot 5} + \frac{3\cdot 5\cdot x^7}{2\cdot 4\cdot 6\cdot 7} \dots = a_1 x + a_3 x^3 + a_5 x^5 + a_7 x^7 \end{aligned} \qquad (3)$$

Diese Taylor-Reihen können aber nicht unmittelbar angewendet werden, da zur Erzielung der geforderten Mindestgenauigkeit von 1×10^{-7} eine zu große Anzahl von Gliedern ausgerechnet werden müßte. Die Unterprogramme sollten nicht mehr als je einen Schrittschalter erfordern und die Rechenzeiten sollten die Größenordnung der Eintastzeit eines achtstelligen Betrages nicht wesentlich übersteigen. Aus diesen Gründen sollten die Reihen schon nach 4 Gliedern abgebrochen werden können. Um dies zu ermöglichen, wurden die folgenden Maßnahmen ergriffen:

Nachdem die Genauigkeit jener Reihen bei begrenzter Gliederanzahl mit wachsendem x immer stärker abnimmt, ist bereits ein großer Gewinn zu erzielen, wenn die Entwicklungen auf das Intervall 0 bis $\pi/4$ beschränkt und die Ergebnisse des Intervalls $\pi/4$ bis $\pi/2$ davon hergeleitet werden können, was unschwer zu verwirklichen ist. Bei der alternierenden Sinus-Reihe liegt der auftretende Fehler in der Größenordnung des ersten vernachlässigten Gliedes, mit 4 Gliedern also

$$\text{für } x = \frac{\pi}{2} \text{ nahe von } \frac{1}{9!} \cdot \left(\frac{\pi}{2}\right)^9 = 1{,}6 \cdot 10^{-4},$$

$$\text{für } x = \frac{\pi}{4} \text{ nahe von } \frac{1}{9!} \cdot \left(\frac{\pi}{4}\right)^9 = 3{,}1 \cdot 10^{-7}.$$

Damit wäre für $x < \pi/4$ die gewünschte Genauigkeit schon nahezu erreichbar. Die sehr träge konvergierende Arcussinus-Reihe dagegen würde 17 Glieder benötigen, um für $x = \sin \pi/4$ die Genauigkeit von $1 \cdot 10^{-7}$ zu ergeben.

Um das Ergebnis der viergliedrigen Sinus-Reihe noch zu verbessern und die Anwendung der Arcussinus-Reihe überhaupt zu ermöglichen, wurden die Reihenkoeffizienten mit Hilfe Tschebyscheff'scher Polynome verändert. Dieses in [3] geschilderte Verfahren läuft praktisch darauf hinaus, daß die Stelle größter Genauigkeit von $x \approx 0$ in ein ausgewähltes, kleines Intervall hinein verschoben und die Genauigkeit innerhalb dieses Intervalls auf Kosten des übrigen Bereichs erhöht wird.

Der nach Tschebyscheff veränderten, auf das Intervall 0 bis $\pi/4$ abgestellten Sinus-Reihe zu 4 Gliedern haftet nur noch ein Maximalfehler von $3{,}3 \cdot 10^{-9}$ an. Die Arcussinus-Reihe aber würde trotz Anwendung Tschebyscheff'scher Polynome noch 8 Glieder erfordern, wenn die Genauigkeit $1 \cdot 10^{-7}$ betragen soll. Es mußte daher ein zusätzliches Verfahren eingeschlagen werden, mit dessen Hilfe das Entwicklungsintervall auf 0 bis $\pi/8$ eingeschränkt werden konnte. Die nach Tschebyscheff geänderte, auf dieses Intervall abgestellte Arcussinus-Reihe zu 4 Gliedern weist dann noch einen Maximalfehler von $3{,}8 \cdot 10^{-8}$ auf.

Die Annäherung von Funktionen mit Hilfe Tschebyscheff'scher Polynome ist wenig bekannt und hat erst in Verbindung mit Rechenautomaten Bedeutung erlangt. Das Verfahren für die Sinus- und Arcussinus-Reihe wurde in der I. Abteilung des Deutschen Geodätischen Forschungsinstitutes bearbeitet, wo auch die veränderten Reihenkoeffizienten für (3) berechnet wurden, die in der nachfolgenden Tabelle gegenübergestellt werden:

Koeffizient:	nach Taylor:	nach Tschebyscheff:
$s_1 = \frac{1}{1!}$	1	0,999999999 $\approx$ 1
$s_3 = \frac{1}{3!}$	0,16666666..	0,166666364
$s_5 = \frac{1}{5!}$	0,00833333..	0,008331564
$s_7 = \frac{1}{7!}$	0,000198413	0,000194588
$a_1 = 1$	1	0,999999355
$a_3 = \frac{1}{2 \cdot 3}$	0,16666666..	0,166724409
$a_5 = \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4 \cdot 5}$	0,075	0,073618777
$a_7 = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 7}$	0,044642857	0,056546748

Die Reihenentwicklungen werden rechentechnisch so aufgebaut, daß zuerst x^2 gerechnet und dann nach dem Hornerschen Schema vorgegangen wird:

$$\sin x = -((x^2 \cdot s_7 - s_5)x^2 + s_3)x^2 \cdot x + x$$

$$\arcsin x = (((x^2 a_7 + a_5)x^2 + a_3)x^2 + a_1)x$$

Die Funktionen sin und cos könnten mit Hilfe der Sinus- und der Cosinus-Reihe nebeneinander entwickelt werden. Um jedoch Programmschritte und zu speichernde Koeffizienten einzusparen, wird stets nur die kleinere der beiden Funktionen über die Sinus-Reihe abgeleitet und die größere mittels der Formel $\sqrt{1-\sin^2 x}$ davon hergeleitet. Entsprechend wird bei der Entwicklung des Arcussinus von der kleineren der beiden Funktionen ausgegangen. Um diese außerdem auf das Intervall 0 bis $\frac{\pi}{8}$ beschränken zu können, wird im Intervall $\pi/8$ bis $\pi/4$ nach der in [3] aus dem Additionstheorem abgeleiteten Formel zunächst ein neuer Sinuswert

$$x' = \cos\frac{\pi}{8} \cdot x - \sin\frac{\pi}{8} \cdot \sqrt{1-x^2} \tag{4}$$

gebildet, mit diesem die Reihe entwickelt und aus dem erhaltenen Arcussinuswert sodann der endgültige

$$\arcsin x = \frac{\pi}{8} + \arcsin x' \tag{5}$$

berechnet.

Bei der Entwicklung der Rechengeräte SM 1 und Z 11 ist davon ausgegangen worden, daß die in geodätischen Aufgaben auftretenden Winkelmaße (Richtungswinkel und reduzierte Richtungen) positiv sind, sich ohne Bevorzugung eines bestimmten Intervalls über den ganzen Vollkreis 0 bis + 2π erstrekken, und daß mit den Winkelmaßen selbst nur ausnahmsweise zu rechnen ist, so daß eingegebene Winkelmaße stets unmittelbar in ihre Funktionen umgerechnet und auszugebende Winkelmaße stets unmittelbar aus errechneten Funktionen abgeleitet werden können. Dementsprechend ist das Programmwerk zur Behandlung der Winkel aufgebaut worden, das negative Winkelmaße nicht verarbeiten kann und Winkelmaße nach ihrer Eingabe oder vor ihrer Ausgabe nicht direkt zu addieren gestattet.[1] Wird im Laufe eines Programms die Addition oder Subtraktion zweier Winkelwerte unumgänglich, so muß nach einem Additionstheorem vorgegangen werden.

Die Betragstastatur ist in ihrer obersten Stelle, die links des Maschinenkommas liegt, bis zur Ziffer 3 ausgebaut. Diese 3 Tasten, die bei Eingabe von Winkelmaßen den Hundertgradziffern zugeordnet sind, geben in diesem Falle keine Ziffern weiter, sondern legen über die Relais Zv3 und Zv4 die Vorzeichen der abzuleitenden Funktionen sin und cos fest; die Winkelmaße gelangen somit ohne Hundertgradwerte in das Rechenwerk. Zu Beginn des Unterprogramms "Sinus-Cosinus", das in der Regel unmittelbar nach Eingabe eines Winkelmaßes aufgerufen wird, wird zuerst ein Größenvergleich zwischen diesem und dem Wert 50^g ausgeführt. War der Winkel $< 50^g$, so wird hierbei das Bedingungsrelais Gf 1 angezogen, was bewirkt, daß die nachfolgende Komplementbildung des Winkelmaßes auf 100^g, die im Intervall $\pi/4$ bis $\pi/2$ erforderlich wäre, übersprungen wird. Ferner wird das Bedingungsrelais Gf 2 in Abhängigkeit von Gf 1, Zv3 und Zv4 zum Anzug gebracht, wenn der Winkel im Bereich von 50 bis 150^g oder 250 bis 350^g liegt. Hierauf wird das Winkelmaß, das nun stets auf das Intervall 0 bis $\pi/4$ reduziert ist, in das Bogenmaß umgerechnet und anschließend die Reihe entwickelt. Das Resultat ist die kleinere der beiden Funktionen, aus der nach der Formel $\sqrt{1-\sin^2 x}$ die größere hergeleitet wird. Sodann wird der Sinuswert mit dem Vorzeichen aus Zv3 im Speicher S3 und der Cosinus-

---

[1] Dieser Mangel wird z. Zt. von ZUSE durch Schaffung besonderer Übertragsbefehle zwischen den Relais Zv1, Zv2, Zv3, Zv4 und dem Addierwerk behoben.

wert mit Zv4 in S4 gespeichert, wobei in Abhängigkeit von Gf 2 der kleinere Wert als sin und der größere als cos genommen wird, wenn der Winkel im Bereich 150 bis 250^g oder 350 bis 50^g lag, oder umgekehrt der entwickelte Wert als cos und der davon hergeleitete als sin eingesetzt wird, wenn der Winkel im Bereich 50 bis 150^g oder 250 bis 350^g lag (Patent Nr. 953197 des Verfassers).

Das Unterprogramm "Arcussinus" zur Berechnung eines Winkelmaßes aus den im Sinus-Speicher S1 und im Cosinus-Speicher S2 enthaltenen Funktionen beginnt mit einem Größenvergleich zwischen den beiden Werten. War $\cos x < \sin x$, so spricht das Bedingungsrelais Gf 2 an und bewirkt, daß der Cosinus zum Weiterrechnen verwendet wird; andernfalls würde bei abgefallenem Gf 2 der Sinus in die Rechnung eingehen. Gleichzeitig werden die Vorzeichen der beiden Funktionen auf die Relais Zv1 und Zv2 übertragen. Der verwendete Wert wird nun einem zweiten Größenvergleich mit $\sin \frac{\pi}{8}$ unterzogen, bei dem Gf 1 anspricht, wenn der Wert kleiner als $\sin \frac{\pi}{8}$ war. In diesem Falle wird die nachfolgende Reduktion nach (4), die im Intervall $\frac{\pi}{8}$ bis $\frac{\pi}{4}$ durchgeführt würde, übersprungen. Anschließend wird mit dem nun stets im Intervall 0 bis $\frac{\pi}{8}$ liegenden Wert die Arcussinus-Reihe entwickelt; ist Gf 1 nicht angezogen, so wird noch nach (5) $\frac{\pi}{8}$ addiert. Sodann wird das erhaltene Bogenmaß in das Gradmaß umgerechnet und in Abhängigkeit von Gf 2, Zv1 und Zv2 die Ergänzung auf 100^g gebildet, wenn der Winkel im Bereich von 50 bis 150^g oder 250 bis 350^g liegen wird. Dem Winkelmaß fehlt demnach noch die Hundertgradziffer. Abschließend wird daher bereits vom Unterprogramm die Ausgabe des Winkelmaßes veranlaßt, wobei die Hundertgradziffer aus der Stellung der Relais Zv1 und Zv2 entnommen wird.

Die Winkelmaße können sowohl im Centesimal- als auch im Sexagesimal-System eingetastet werden, während die Ausgabe nur centesimal erfolgen kann.[1] Bei sexagesimaler Eingabe, auf die durch einen Programmschalter umgestellt werden kann, werden beim Übersetzungsvorgang in das Dualsystem die jeweiligen Aufbauwerte abwechselnd mit 6 oder 10 multipliziert, wobei auch die Multiplikation mit 6, dual 110, in abgekürzter Weise durch Addition des zwei- und vierfachen Wertes erfolgt. Neben der Eingabe und Übersetzung der Winkelwerte innerhalb eines Quadranten sind aber auch durch die Huntertgradtasten die Vorzeichen der Funktionen auf die Relais Zv3 und Zv4 zu bringen. Dabei ist zu beachten, daß bei der sexagesimalen Teilung die Hundertgradziffern nicht allein die Quadrantenlage kennzeichnen und auch die Zehnergradziffern in den einzelnen Quadranten nicht den gleichen Wert bedeuten. Dieses Problem kann durch eine Kontaktanordnung an den Hundert- und Zehnergradtasten gemäß Patent Nr. 938277 des Verfassers oder wie in der Z 11 durch einen rechnenden Vorgang mit Hilfe von Sonderrelais gelöst werden.

Die Rechenzeiten der Unterprogramme "Sinus-Cosinus" und "Arcussinus" betragen ca. 8 bzw. 10 sec. Die oben angegebene Genauigkeit der Reihen würde natürlich nur dann in Erscheinung treten, wenn mit 9 Dezimalstellen gerechnet würde. Innerhalb der Rechengenauigkeit der Maschine mit 25 Dualstellen dürfen die Entwicklungen als absolut genau angesprochen werden. Die nachfolgende Tabelle zeigt das Ergebnis von Proberechnungen, bei denen das eine Mal aus eingegebenen Winkelmaßen die Sinus- und Cosinus-Funktion bestimmt und in das Gradmaß zurückgerechnet und das andere Mal aus siebenstellig eingegebenen, einer Tafel entnommenen Funktionen, die Winkelmaße berechnet wurden.

---

[1] Die sexagesimale Winkelausgabe wird z. Zt. von ZUSE entwickelt.

Neugrad eingegeben	Sinus Sollwert berechnet eingegeben	Cosinus Sollwert berechnet eingegeben	Neugrad rückgerechnet berechnet
	0,001570796	0,999998766	
0,10000	0,00157079	0,99999877	0,099998
	0,0015708	0,9999988	0,099998
	0,078459096	0,996917334	
5,00000	0,07845908	0,99691733	4,999998
	0,0784591	0,9969173	5,000001
	0,156434465	0,987688341	
10,00000	0,15643447	0,98768833	10,000002
	0,1564345	0,9876883	10,000005
	0,233445364	0,972369920	
15,00000	0,23344537	0,97236990	15,000003
	0,2334454	0,9723699	15,000003
	0,309016994	0,951056516	
20,00000	0,30901700	0,95105651	19,999998
	0,3090170	0,9510565	19,999998
	0,382683432	0,923879533	
25,00000	0,38268345	0,92387953	25,000005
	0,3826834	0,9238795	25,000002
	0,453990500	0,891006524	
30,00000	0,45399048	0,89100652	30,000004
	0,4539905	0,8910065	30,000004
	0,522498565	0,852640164	
35,00000	0,52249857	0,85264015	35,000008
	0,5224986	0,8526402	35,000008
	0,587785252	0,809016994	
40,00000	0,58778527	0,80901697	40,000006
	0,5877853	0,8090170	40,000009
	0,649448048	0,760405966	
45,00000	0,64944806	0,76040595	45,000004
	0,6494480	0,7604060	44,999998
	0,707106781	0,707106781	
50,00000	0,70710679	0,70710676	50,000000
	0,7071068	0,7071068	50,000002

9. Die Lösung geodätischer Aufgaben

Wie aus den vorstehenden Ausführungen hervorgeht, ist das Rechengerät Z 11 zur Lösung aller Aufgaben der niederen Geodäsie geeignet. Die Bandsteuerung setzt den Benutzer in die Lage, sich die entsprechenden Programme unter Ausnutzung der gegebenen Möglichkeiten selbst zu fertigen. Die geodätischen Grundaufgaben wurden vom Verfasser für den festen Einbau auf Schrittschaltern programmiert. Um zu zeigen, welche Programme bereits zur Verfügung stehen und wie sich die entsprechenden Rechengänge abspielen, hat Verfasser in [9] die Bedienungs-Anweisungen hierzu veröffentlicht. Nachfolgend sei der Ablauf der wichtigsten dieser festen Programme kurz beschrieben.

a) Richtungswinkel und Entfernung

Nach Eingabe der Koordinaten des Anfangs- und Endpunktes werden zunächst die Entfernung und die Funktionen sin und cos des Richtungswinkels berechnet und gespeichert. Dieser erste Programmteil dient als Vorprogramm bei der Koordinierung polar oder orthogonal aufgenommener Punkte oder einer Koordinaten-Transformation mit Transformationsachse. Dabei kann im ersteren Fall der Richtungswinkel durch Subtraktion der Anschlußrichtung auf die zufällige Nullrichtung der Beobachtungen reduziert werden, während die Funktionen im zweiten Fall durch Verwendung der gemessenen Entfernung zwecks Repartition der Messungsfehler mit einem Maßstabsfaktor behaftet werden können. Im zweiten Programmteil werden das Gradmaß des Richtungswinkels abgeleitet und ausgegeben und die Richtungskoeffizienten für eine Koordinaten-Ausgleichung berechnet. Außerdem können im Gauß-Krüger-System die sphäroidischen Längen- und Richtungsreduktionen ausgeliefert werden, während im Soldner-System die sphärische Abszissenverkürzung berücksichtigt wird.

An diesem ersten, die Landesvermessungsämter besonders interessierenden Beispiel, sei die Anwendung der Automatik näher erläutert. - Nachdem die Koordinaten eingetastet sind und die Entfernung nach Pythagoras berechnet und ausgegeben wurde, fordert die Maschine mit den Transparenten "eintasten" und "springen" die Eingabe der gemessenen Entfernung. Wird diese tatsächlich eingetastet, so werden die Richtungswinkelfunktionen mit Maßstabsfaktor berechnet. Soll aber die gerechnete Entfernung eingesetzt werden, so ist die Taste "springen" zu betätigen, wodurch der gerechnete Wert nicht durch einen eingetasteten ersetzt wird. Bei der nachfolgenden Eingabe der Anschlußrichtung wird entsprechend verfahren. Sodann stopt das Programm mit dem Transparent "gespeichert" in einer Zwischenruhestellung, in der ein Hauptprogramm zur Transformation von Koordinaten eingeschaltet werden kann. Das Programm "Richtungswinkel" wird hierauf durch nochmalige Betätigung der Programmtaste fortgesetzt, worauf wieder ein Halteschritt mit den Transparenten "weiterfahren" und "beenden" folgt. Wurde das Programm nur als Vorprogramm für eine Transformation gebraucht, so wird jetzt beendet. Andernfalls wird die Taste "weiterfahren" gedrückt, worauf der Richtungswinkel und die Richtungskoeffizienten ausgegeben werden und abermals ein Halteschritt mit den Transparenten "wiederholen" und "beenden" folgt. Hier kann das Programm entweder endgültig beendet oder von vorne wiederholt werden. Im letzteren Falle handelt es sich stets um die Berechnung der Ausgangswerte für eine Koordinaten-Ausgleichung, wobei die Elemente der Strahlen vom Neupunkt zu den Altpunkten zu bestimmen sind. Es werden daher beim Wiederholen die Eingabe der Koordinaten des gleichbleibenden Anfangspunktes, sowie alle unnötigen Halteschritte automatisch übersprungen. - Das Programm kann mit Ausgabe der Längen- und Richtungsreduktionen und der Mittelwerte der gerechneten Richtungskoeffizienten noch weiter ausgebaut werden.

b) Vorwärtseinschneiden

Für das Vorwärtseinschneiden mit Richtungs- und mit Dreieckswinkeln können zwei getrennte Programme vorgesehen werden, die nach Eingabe der sechs Anfangswerte unmittelbar die Koordinaten des Neupunktes bestimmen und denen folgende, der Arbeitsweise der Z 11 angepaßte Formeln zugrunde liegen:

mit Richtungswinkeln:

$$y_p = \frac{y_r \cdot \sin t_l \cdot \cos t_r - y_l \cdot \cos t_l \cdot \sin t_r - (x_r - x_l) \sin t_l \cdot \sin t_r}{\sin t_l \cdot \cos t_r - \cos t_l \cdot \sin t_r}$$

$$x_p = x_r + \frac{(y_p - y_r) \cdot \cos t_r}{\sin t_r}$$

mit Dreieckswinkeln:

$$y_p = \frac{y_r \cdot \cos\alpha_l \cdot \sin\alpha_r + y_l \cdot \sin\alpha_l \cdot \cos\alpha_r + (x_r - x_l) \sin\alpha_l \cdot \sin\alpha_r}{\cos\alpha_l \cdot \sin\alpha_r + \sin\alpha_l \cdot \cos\alpha_r}$$

$$x_p = \frac{x_l \cdot \sin\alpha_l \cdot \cos\alpha_r + x_r \cdot \cos\alpha_l \cdot \sin\alpha_r + (y_l - y_r) \sin\alpha_l \cdot \sin\alpha_r}{\cos\alpha_l \cdot \sin\alpha_r + \sin\alpha_l \cdot \cos\alpha_r}$$

Das Vorwärtseinschneiden kann auch mittels eines Zwischenprogramms auf eine polare Aufnahme zurückgeführt werden. Dieses Programm, das zwischen das Vor- und Hauptprogramm zur Koordinierung polar bestimmter Punkte eingeschaltet wird, hat nur die Aufgabe, aus den eingegebenen Winkeln und den Zwischenergebnissen des Vorprogramms den Richtungswinkel und die Entfernung von einem Ausgangspunkt zum Neupunkt zu berechnen. Hierbei kann sowohl mit Richtungs- als auch mit Dreieckswinkeln gerechnet werden, indem im ersteren Falle zwei und im letzteren drei Winkel eingetastet werden, was der Maschine sagt, nach welchem Verfahren sie vorzugehen hat.

c) Rückwärtseinschneiden

Für das Rückwärtseinschneiden mit dem Rechengerät Z 11 eignen sich die beiden Verfahren von Cassini und Kneißl, wobei nach Eingabe der drei Koordinatenpaare und zwei Winkel in einer Gesamtzeit von 80 sec unmittelbar die Koordinaten des Neupunktes ausgeliefert werden. Über das Verfahren nach Kneißl hat Verfasser bereits in [7] ausführlicher berichtet.

d) Einzelpunkt-Koordinaten-Ausgleichung

Dieses Programm läuft in zwei Teilen ab und umfaßt im ersten Abschnitt die Berechnung der Koordinatenverbesserungen dy, dx, der Orientierungsverbesserung dz und der Fehlerquadratsumme [pvv] aus der Minimumsgleichung, während im zweiten Abschnitt die Richtungsverbesserungen v, der mittlere Richtungsfehler m, der mittlere Koordinatenfehler m_y, m_x und aus den Richtungsverbesserungen nochmals die Fehlerquadratsumme [pvv] bestimmt werden.

Zu Beginn sind die Mittel der Richtungskoeffizienten der inneren Strahlen einzugeben. Sodann werden für jeden Anschlußpunkt die Richtungskoeffizienten a, b, die Richtungswidersprüche -l der inneren und äußeren Strahlen und das Gewicht p der äußeren Strahlen eingetastet. Besteht zu einem Anschlußpunkt der innere oder äußere Strahl nicht, so ist an Stelle der Eingabe des zugehörigen Widerspruches die Taste "springen" zu drücken. Da die Kapazität des Relais-Speichers nicht ausreicht, all diese Werte vom ersten zum zweiten Teil des Programms durchzuspeichern, müssen dieselben Werte zweimal eingetastet werden. Ist jedoch der Lochstreifen-Speicher vorhanden, so können obige Werte im ersten Abschnitt mitgelocht werden, worauf für den zweiten Abschnitt nur noch der Lochstreifen einzulegen ist.

Über die Ausgleichung vermittelnder und bedingter Beobachtungen hat Verfasser bereits in [7] berichtet.

e) Koordinaten-Umrechnung in den Nachbar-Meridianstreifen

Dieses Programm gestattet die Umrechnung von Gauß-Krüger-Koordinaten zwischen zwei 3^o-Meridianstreifen. Es stützt sich auf die Tafel von Jordan, der die Konstanten x_o, y_o, a_1, a_2, b_1, b_2 zu entnehmen sind. Da $x \neq 0$ sein muß, braucht der Hilfspunkt nicht die gleiche Abszisse zu haben wie der Neupunkt, d.h. es ist in der Tafel nicht zu interpolieren und es kann mit den gleichen Konstanten ein ganzer Punkthaufen umgerechnet werden. Programmiert sind die Formeln:

$$y_p = -y_o + \Delta y + a_1 \cdot \Delta x \cdot \mathrm{sgn}(y_o) - b_1 \cdot \Delta y + b_2(\Delta x^2 - \Delta y^2) \cdot \mathrm{sgn}(y_o) - 2a_2 \Delta x \Delta y$$

$$x_p = +x_o + \Delta x - b_1 \cdot \Delta x - a_1 \cdot \Delta y \cdot \mathrm{sgn}(y_o) - a_2(\Delta x^2 - \Delta y^2) - 2b_2 \Delta x \Delta y \cdot \mathrm{sgn}(y_o)$$

Alle Rechtswerte sind durch Subtraktion von 500 km in Ordinaten umzuwandeln, wobei die Umrechnung von West nach Ost oder von Ost nach West dadurch gekennzeichnet ist, daß y_o im zweiten Fall negativ eingetastet wird.

f) Koordinierung polar bestimmter Punkte

Dieses Programm dient sowohl zur Berechnung eines Polygonzuges als auch zur Koordinierung von Kleinpunkten.

Zu Beginn der Polygonzugsberechnung sind die Koordinaten des Ausgangspunktes und der Anschlußrichtungswinkel einzugeben. Sodann werden der Reihe nach die Polygonwinkel und Seiten eingetastet, worauf jeweils die Koordinaten des Polygonpunktes und gegebenenfalls auch die Koordinatenunterschiede ausgeliefert werden. Die jeweils neuen Richtungswinkel werden durch Vorzeichenumkehr bei den Winkelfunktionen gebildet.

Die Kleinpunktkoordinierung bedient sich des Vorprogramms "Richtungswinkel", auf dem der Richtungswinkel der Nullrichtung abgeleitet wird. Im Hauptprogramm "Polare Punkte" sind dann nur noch die gemessenen Richtungen und Strecken einzutasten. Die Auswahl zwischen Polygonzug und

Kleinpunkte erfolgt dadurch, daß nur im zweiten Fall das Vorprogramm vorausgeht, das ein Bedingungsrelais bringt.

g) Koordinierung orthogonal bestimmter Punkte und Bogenschnitt

Der Rechengang beginnt mit dem Vorprogramm "Richtungswinkel", auf dem die Koordinaten des Anfangs- und Endpunktes der Messungslinie und deren gemessene Länge eingegeben werden. Im Hauptprogramm "Orthogonale Punkte", das beliebig oft wiederholt werden kann, werden dann Abszisse und Ordinate der orthogonalen Aufnahme eingetastet.

Dieses Programm gestattet auch die Berechnung eines Bogenschnittes, wobei im Hauptprogramm die beiden Entfernungen einzugeben sind, die zuerst in Abszisse und Ordinate einer orthogonalen Aufnahme umgerechnet werden. Um zu kennzeichnen, ob der Neupunkt rechts oder links der Grundlinie liegt, ist im zweiten Fall einer Entfernung ein negatives Vorzeichen beizugeben. Zur Unterscheidung, ob ein Bogenschnitt oder ein orthogonal bestimmter Punkt zu rechnen ist, wird zu Beginn des Hauptprogramms eine der beiden Tasten "weiterfahren" oder "wiederholen" gedrückt, wobei im zweiten Fall der erste Programmteil übersprungen wird.

h) Koordinaten-Transformation mit zwei oder mehr identischen Punkten

Das Programm umfaßt sowohl die Koordinaten-Umformung mit zwei identischen Punkten als auch die Helmert-Transformation mit beliebig vielen Paßpunkten. Bei letzterem Verfahren wird nicht mit Koordinatendifferenzen zwischen dem gegebenen und gesuchten System gearbeitet, sondern es wird in beiden Systemen der Schwerpunkt gebildet und nach folgenden Formeln gerechnet, die auch für zwei identische Punkte geeignet sind:

Vorprogramm:

$$o = \frac{[(x_p - x_s)(y'_p - y'_s) - (y_p - y_s)(x'_p - x'_s)]}{[(y'_p - y'_s)^2 + (x'_p - x'_s)^2]} = v \cdot \sin \varepsilon$$

$$a = \frac{[(y_p - y_s)(y'_p - y'_s) + (x_p - x_s)(x'_p - x'_s)]}{[(y'_p - y'_s)^2 + (x'_p - x'_s)^2]} = v \cdot \cos \varepsilon \qquad (6)$$

Hauptprogramm:

$$y_i = y_s + (y'_i - y'_s) \cdot a - (x'_i - x'_s) \cdot o$$

$$x_i = x_s + (x'_i - x'_s) \cdot a + (y'_i - y'_s) \cdot o \qquad (7)$$

Die vollständige Lösung der Helmert-Transformation setzt den Lochstreifen-Speicher voraus. Es werden dann im Vorprogramm die Koordinaten der Paßpunkte im gegebenen und gesuchten System eingetastet und gelocht, wobei zunächst nur der Schwerpunkt berechnet wird. Sodann wird zur Bildung der Produktsummen in Zähler und Nenner von (6) der Lochstreifen abgetastet, worauf schließlich die Transformationselemente gerechnet, ausgegeben und gespeichert werden. Ist kein Lochstreifenwerk vorhanden, so muß der Schwerpunkt von Hand berechnet und zu Beginn eingetastet werden. Da $v > 1$ sein kann, ist vorgesehen, daß $v \cdot \cos \varepsilon$ reziprok gerechnet und nach Seite 21 verfahren werden kann; in (7) wird dann automatisch nach (1) vorgegangen.

Das Hauptprogramm nach (7), das in einer Zwischenruhestellung des Vorprogramms eingeschaltet wird, ist universell gestaltet und paßt sich durch eingefügte Bedingungen auch anderen Vorprogrammen an.

i) Affine Umformung

Es handelt sich um die strenge Lösung der affinen Umformung mit drei identischen Punkten, bei der keine Restfehler verbleiben. Das Programm ist wieder als Vorprogramm zur Berechnung und Speicherung der Transformationselemente ausgebildet, in dessen Zwischenruhestellung das Hauptprogramm nach (7) zur Transformation der Einzelpunkte eingeschaltet werden kann, das in diesem Falle entsprechend den Formeln der affinen Umformung mit vier verschiedenen Elementen a, o, a', o' arbeitet.

k) Linienschnitt

Nach Eingabe der Koordinaten der Endpunkte der beiden Linien werden aus den Geradengleichungen die Koordinaten des Schnittpunktes und das Spannmaß auf der ersten Linie berechnet und ausgegeben. Durch Wiederholung des Programms können die Schnittpunkte weiterer zweiter Linien mit der ersten bestimmt werden. Es ist auch möglich, den Schnittpunkt einer durch einen Punkt gegebenen Parallelen zur zweiten Linie mit der ersten zu berechnen.

l) Trigonometrische Höhenberechnung

Dem Programm liegen die Formeln zugrunde:

$$h'_n = h_a \pm \left(\frac{s \cdot \cos z}{\sin z} + f - t + k \cdot s^2\right); \quad h_n = \frac{[p \cdot h'_n]}{[p]}$$

Nach Eingabe der Fernrohrhöhe f, der Tafelhöhe t, der Anschlußhöhe h_a, der Entfernung s und des Zenitwinkels z werden zunächst das Gewicht $p = \frac{2^{-25}}{s^2}$ und die vorläufige Höhe h'_n aus der Einzelmessung berechnet und ausgegeben. Sodann stehen die Tasten "weiterfahren", "wiederholen" und "beenden" zur Wahl. Wird wiederholt, so kann die Gegenmessung mit dem gleichen Anschlußpunkt ausgewertet werden, wobei h_a und s nicht mehr einzugeben sind; die Unterscheidung zwischen Vor- und Rückblick erfolgt bei der Eingabe von f. Wird weitergefahren, so können die Messungen mit einem weiteren Anschlußpunkt ausgewertet werden. Wird dagegen beendet, so werden die gemittelte Höhe h_n des Neupunktes und zur Fehlerrechnung von Hand die Gewichtssumme [p] ausgeliefert. Die Konstante $k = \frac{1-0,13}{2r}$ für die Horizontverbesserung ist gespeichert.

m) Dreiecksrechnung

Die geodätischen Anwendungen des Sinussatzes können in einem Programm zusammengefaßt werden, wobei die Auswahl der gewünschten Formel durch entsprechende Betätigung der Anlaßtasten erfolgt. Das Programm gestattet eine Zentrierung, eine Herablegung und unter Hinzunahme des Cosinussatzes eine indirekte Seite zu berechnen, wobei jeweils andere Winkel und Seiten eines Dreiecks gegeben und gesucht sind.

n) Streckenrechnung

Der wichtigste Fall der Streckenrechnung ist die Berechnung von Spannmaßen. Das entsprechende Programm ermittelt nach Eingabe der Koordinaten des Anfangs- und Endpunktes das Spannmaß nach Pythagoras. Dabei stehen nach Ausgabe des Resultats die Tasten "weiterfahren", "wiederholen" und "beenden" zur Wahl. Wird weitergefahren, so kann nach Eingabe eines weiteren Endpunktes "Kette" gerechnet werden, indem der vorige Endpunkt als Anfangspunkt genommen wird. Wird jedoch wiederholt, so wird "Spinne" gerechnet, indem der vorige Anfangspunkt bestehen bleibt.

o) Flächenrechnung

Die Berechnung von Flächen erfolgt nach der Formel:

$$F = \sum \frac{1}{2} (x_n - x_{n-1}) (y_n + y_{n-1}) \quad .$$

Es kann sowohl mit Koordinaten als auch mit Trapezen gerechnet werden. Im ersten Fall sind die Koordinaten der Eckpunkte je einmal einzutasten, wobei die y-Werte zur Vermeidung von Bereichsüberschreitungen automatisch reduziert werden und das erste Koordinatenpaar zur Erzielung des Anschlusses durchgespeichert wird, bis die Fläche aufgerufen wird. Im zweiten Fall sind die Abszissen und Ordinaten oder die Trapezhöhen und -breiten einzugeben, worauf wahlweise die einzelnen Trapezflächen, die Flächen abschnittsweise zusammengefaßter Trapeze und die Gesamtfläche ausgeliefert werden können.

p) Zuteilungsrechnung im Flurbereinigungsverfahren

Bei diesem Programm handelt es sich um die Parallelteilung von Trapezen nach bestimmten Flächen. Es liegen die Formeln

$$k = \frac{b_2-b_1}{h_2-h_1} \; ; \qquad b_n = \sqrt{b_1^2 + 2Fk} \; ; \qquad h_n = h_1 + \frac{2F}{b_1+b_n}$$

zugrunde, worin h_2-h_1 die Höhe, b_1 und b_2 die Grund- und Decklinie des gegebenen Trapezes, h_n-h_1 die Höhe, b_1 und b_n die Grund- und Decklinie der Teilfläche, F die Forderungsfläche und k den "Verjüngungsfaktor" bedeuten. Das Programm kann unter Ausnutzung der Automatik so ausgestaltet werden, daß zur Aufteilung eines Blocks (Gewanne) im Flurbereinigungsverfahren nach Eingabe einer Forderungsfläche solange die Eingabe aufeinanderfolgender Höhen und Breiten (Grundlinien) der Teiltrapeze verlangt wird, bis das Flächensoll überschritten ist, und sodann die neue Höhe und Breite der Zuteilungsgrenze ausgeliefert wird. Nach Eingabe der nächsten Forderungsfläche kann dann unmittelbar weitergefahren werden.

L i t e r a t u r

[1] Bentert: Elektrische Rechenmaschinen; Funk-Technik 1951, Heft 22-24.

[2] Rutishauser, Speiser u. Stiefel: Programmgesteuerte digitale Rechengeräte; Separatdruck aus der ZAMP, Basel 1951.

[3] Näbauer: Annäherung von Funktionen mit Hilfe Tschebyscheffscher Polynome; Veröff. der DGK, Reihe A, Heft Nr. 13.

[4] Seifers: Eingabevorrichtung zu einem Rechenautomaten für trigonometrische Formeln; Patentschrift Nr. 938277 mit Zusatz Nr. 953197.

[5] Seifers: Rechenautomat SM1 für Vermessung und Flurbereinigung; ZfV Nr. 9/1954.

[6] Seifers: Rechenautomaten für den geodätischen Behördendienst; VR Nr. 1/1956.

[7] Seifers: Die Anwendung des Rechengerätes Z 11 in der Geodäsie; Veröff. der DGK, Reihe A, Heft Nr. 28/III.

[8] Seifers: Programmgesteuertes Rechnen im Vermessungswesen; AVN Nr. 9/1958.

[9] Seifers: Bedienungs-Anweisung für die festen Programme des Rechengerätes Z 11; Veröff. der DGK, Reihe B, Heft Nr. 55.

B e r i c h t i g u n g e n

Seite 19 Zeile 6 :	Ecomat	anstelle	Exomat
Seite 23 Zeile 12 :	angepaßten	anstelle	eingepaßten
Seite 47 Zeile 4 :	$\Delta x \neq 0$	anstelle	$x \neq 0$