

Die programmgesteuerte Relaisrechenanlage „Oprema“

Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungen

Von Dr. W. Kämmerer, Jena

Die im VEB Carl Zeiss Jena in kürzester Zeit entwickelte und erbaute Relaisrechenanlage Oprema¹⁾ konnte im August 1955 den produktiven Rechenbetrieb beginnen, zunächst mit einer Maschine, die in drei Schichten eingesetzt wurde, nachdem in den ersten Monaten des Jahres die Anlage von Schaltfehlern und Schaltunsicherheiten befreit und ein Versuchsbetrieb aufgenommen worden war. Ende des Jahres trat die zweite Maschine hinzu. In den fünf Monaten ihres produktiven Betriebes hat die erste Maschine ihre Leistungsfähigkeit wie auch die Notwendigkeit ihrer Existenz erwiesen.

Ohne eine an anderen Stellen [1], [2] gegebene volle Charakterisierung der Anlage zu wiederholen, seien hier einige Besonderheiten im Zusammenhang mit den gemachten Erfahrungen behandelt.

Zunächst bestand die Grundfrage, mit der sich die Entwickler der Oprema bei der Planung auseinandersetzen mußten, ob eine Relais- oder Röhrenanlage anzustreben sei. Die Erfahrung hat gezeigt, daß es richtig war, die Entscheidung nicht losgelöst von der eigentlichen Zweckbestimmung zu fällen, wollte man nicht Gefahr laufen, zu einer Diskrepanz zwischen tatsächlichem und nötigem Aufwand zu kommen. Die Entscheidung fiel auf eine Relaisanlage, nachdem in einem Dauer-versuch geklärt werden konnte, daß sich die Betriebsbedingungen in einer solchen Anlage so gestalten lassen, daß die Relais praktisch keinem Verschleiß unterworfen sind. Gewiß zeigt auch eine neue Relaisbestückung anfangs Ausfälle, die sich nicht durch Vorprüfung der einzelnen Relais vermeiden lassen. Die Häufigkeit klingt aber in geraumer Zeit ab, während Röhrendefekte trotz besonderer Betriebsvorschriften mit zunächst gleichbleibender Wahrscheinlichkeit auftreten, bis sie sich dann häufen und zum vorbeugenden Totalwechsel zwingen.

Als vorteilhaft hat sich die Wahl polarisierter Relais mit zwei stabilen Lagen erwiesen. Dadurch ist der Energiebedarf der reinen Rechenanlage ungewöhnlich niedrig gehalten worden — er liegt unter 40 Watt; wesentlicher ist aber die dadurch gewonnene Beständigkeit jeder Speicherung, die nach beliebig langen Unterbrechungen eine ungestörte Fortsetzung ermöglicht.

Die in großer Zahl verwendeten Selengleichrichter haben sich als voll befriedigend erwiesen. Es sind keinerlei Ausfälle aufgetreten. Es ist

¹⁾ Der Verfasser ist Entwicklungsleiter im VEB Carl Zeiss Jena. Unter seiner Führung wurde die beschriebene Anlage geplant und gebaut, wofür ihm der Nationalpreis verliehen wurde.

zu vermuten, daß durch den Betrieb selbst eine Nachformierung der Zellen vor sich geht.

Um sich ein Bild über die Einsatzmöglichkeiten der Oprema machen zu können, werden zunächst einige technische Angaben zweckmäßig sein.

Die als Dreiadreßmaschine arbeitende Anlage nimmt das Programm auf sechs Stecktafeln mit je 50 Zeilen auf. Jede Zeile faßt den Befehl für eine volle Operation, den eventuellen Zusatzbefehl für den Druck des Teilergebnisses sowie für unbedingten oder auch bedingten Sprung.

Folgende Operationen stehen zur Verfügung:

- 1) Bildung der algebraischen Summe zweier Zahlen in einer erweiterten Form, die sich durch Hinzunahme der Operationszeichen () für relativen bzw. || für absoluten Wert jedes Summanden ergibt.
- 2) Multiplikation
- 3) Division
- 4/5) Quadratwurzel mit positivem bzw. negativem Vorzeichen
- 6) Übertragung von einem Speicher auf einen anderen
- 7/9) Entscheidungsoperationen vor bedingtem Sprung
Diskriminator I: Sprung, wenn a positiv ist
Diskriminator II: Sprung, wenn a Null ist
Diskriminator III: Sprung, wenn a unendlich ist
- 10) Rechnung beendet.

Während die beiden Operandenadressen je sechsstellig gehalten sind, besitzt die Zieladresse nur fünf Stellen, den $2^5 = 32$ Arbeitsspeichern der Maschine entsprechend. Arbeitsspeicher können von der Maschine gelesen und beschrieben werden und sind aus Relais aufgebaut. Neben ihnen besitzt die Maschine noch 348 Eingangsspeicher, die von der Maschine nur gelesen werden können; sie sind wie die Programmtafeln als Stecktafeln ausgebildet. Davon ist eine Gruppe von 28 Registern auf der Konstantentafel vereinigt. Bei diesen besteht also während der ganzen Rechnung eine eindeutige Zuordnung zwischen einer Adresse und der den Speicherinhalt bildenden Zahl. Anders liegen nun die Verhältnisse für die restlichen 320 Eingaben. Diese sind auf vier Tafeln zu je 80 Zeilen zusammengefaßt. Jedem dieser vier Magazine — sie werden als zyklische Speicher gekennzeichnet — gehört eine Adresse zu. Beim erstmaligen Auftreten einer solchen Adresse eines zyklischen Speichers wird die bestimmte Zahl aus dem 80zeiligen Magazin gelesen, deren Zeile auf dem Kommandopult vor Rechnungsbeginn gewählt worden ist. Wird nun im nächsten Programmschritt oder in irgendeinem späteren — dies kann infolge der möglichen Pro-

grammzyklen sogar wieder dieselbe Befehlszeile sein, die zum erstmaligen Lesen führte — so erhält die Maschine normalerweise die in der darunterliegenden Zeile des angesprochenen Magazines eingegebene Zahl. Entsprechend wird so mit jedem nächsten Auftreten der gleichen Adresse die nächste Zahl zur Verfügung gestellt; dabei ist es nun noch beliebig, ob die Adresse für den ersten oder den zweiten Operanden auftritt. An die letzte Zeile der Tafel schließt sich dann die erste an, da alle 80 Zeilen einen Zyklus bilden. Nun besitzt aber noch jede Zeile dieser Magazine zwei Steckmöglichkeiten für Kabelverbindungen, die unbedingte Sprünge ermöglichen. Damit ist es nicht nur möglich, die Zykluslänge von 80 beliebig zu verringern, man kann einen „Vorlauf“ wählen, kann einzelne Zeilen oder Gruppen überspringen und durch andere ersetzen. Diese Möglichkeiten des unbedingten Sprunges sind auch für die Programmtafeln vorhanden, wobei fest eingebaute „Fernverkehrsstraßen“ den bequemen Übergang zwischen den Tafeln ermöglichen. Daneben enthält jede Zeile der Programmtafeln noch die Möglichkeit für Kabelverbindungen, die bedingte Sprünge bereitstellen. Liegt z. B. der Diskriminatorbefehl I vor, so wird die unter der ersten Operandenadresse auffindbare Zahl hinsichtlich ihrer Zugehörigkeit zu dem Zahlenbereich „Null“ oder dem „Nicht Null“ beurteilt. Im letzten Fall schreitet der Programmablauf zur nächsten Zeile, während er im ersten Fall den als bedingten Sprung bereitgehaltenen Weg geht. Entsprechendes ermöglicht Diskriminator II mit Hilfe der Aufteilung in „Positive Zahl“ und „Nicht positive Zahl“ und der Diskriminator III mit „Unendlich“ und „Nicht unendlich“. Die Zahlen werden in halb-logarithmischer Darstellung $\pm a \cdot 10^{\pm b}$ eingeführt. Dabei sind die Zahlen so zu normalisieren, daß die erste der acht möglichen Dezimalziffern von a von Null verschieden ist und das Komma hinter dieser ersten Ziffer steht. b kann Werte von 0 bis 15 annehmen. Da sich Null dieser Darstellung entzieht, ist diese als Sonderzeichen aufgenommen, wie auch „Unendlich“ und „Unbestimmt“. Der arithmetische Teil ist so ausgebildet, daß die Maschine auch mit diesen Sonderzeichen zu rechnen vermag. Die Zahlen werden dezimal mittels Steckerkombinationen (Tetraden) in Dreieckszerschlüsselung eingegeben, die Exponenten in direkter Verschlüsselung. Die Normalisierung wird nach jeder Rechnung nötigenfalls wieder automatisch hergestellt. Die Zahlenausgabe erfolgt über eine elektrische Schreibmaschine für die durch Zusatzbefehl „Druck“ gekennzeichneten Befehlszeilen und auch wieder in dezimaler halblogarithmischer Form. Um die Niederschrift übersichtlicher zu gestalten, kann programmgebunden der Zeilenabstand vergrößert werden, so daß eine gewünschte Struktur eingehalten wird.

Das Programmieren ist bei einer Dreiaдресmaschine überaus einfach. Die hiesigen Erfahrungen zeigen, daß die Realisierung des Programmes durch Steckverbindungen eine große Biegsamkeit gewähr-

leistet, wie sie bei Programmeingabe über Lochbänder als Haupt- und Nebenprogramme nur schwer zu erreichen ist. In gleicher Richtung wirkt sich das praktische Fehlen von Einschränkungen hinsichtlich der Sprungmöglichkeiten aus. Da auch während der Maschinenarbeit in unbenutzten Zeilen weitere Programme eingegeben werden können, lassen sich die Übergangszeiten zu einer neuen Aufgabe niedrig halten.

Als ein sehr wertvolles Prinzip hat sich das der zyklischen Speicher erwiesen. Während sonst bei zyklischen Problemen die nach jedem Umlauf vorzunehmenden Adressenänderungen eine Ausweitung des Programmes nötig machen, werden hier solche Nebenrechnungen vermieden, da ja automatisch mit jedem Adressenaufruf eines zyklischen Speichers eine Änderung der Unteradresse (Zeile im Magazin) verbunden ist. Welche taktischen Möglichkeiten der Einsatz dieser zyklischen Speicher bietet, sei an einem praktischen Beispiel aus der Arbeit der Oprema angedeutet.

Die rechnerische Behandlung von Strahlendurchgängen durch optische Systeme benötigt die Bereitstellung der Konstruktionsdaten des betreffenden Systems. Nun kann man etwa die Brechwerte der einzelnen Medien (Gläser bzw. Luft) hintereinander in der Reihenfolge in einen zyklischen Speicher geben, wie sie von dem durchlaufenden Strahl angetroffen werden. Entsprechend lassen sich die Radien der einzelnen Kugelflächen in einem anderen zyklischen Speicher bereitstellen und die jeweiligen Scheitelabstände aufeinanderfolgender Flächen in einem dritten. Will man nun die Durchrechnung für eine Reihe von Strahlen durchführen, so lassen sich in einem vierten zyklischen Speicher hintereinander erst alle Bestimmungstücke des ersten Strahles einstecken, anschließend alle Bestimmungstücke des zweiten Strahles, jedoch in der gleichen inneren Reihenfolge, usw. für alle weiteren Strahlen. Die Eingaben in den zyklischen Speichern lassen sich dann noch durch Kabel zum eigenen Zyklus schließen. Angaben über Anzahl der Flächen und der durchzurechnenden Strahlen in den Konstantenspeichern vervollständigen die Daten.

Nun ist das Programm so zu bilden, daß die Adresse jedes zyklischen Speichers, der Konstruktionselemente enthält, gerade einmal benutzt wird, während die Adresse des vierten zyklischen Speichers gerade soviel mal aufgerufen wird, als Angaben für Festlegung eines Strahles nötig sind. Dieses Programm, das zunächst zwei Schleifen enthält, die untergeordnete Schleife für den Flächendurchlauf und die übergeordnete für den Strahlenablauf, läßt die Rechnung mit dem ersten Strahl anfangen und alle Linsenflächen durchlaufen. Dann geht es auf den zweiten Strahl über, um wiederum den Durchgang durch das System zu berechnen usw., bis schließlich nach Durchrechnung des letzten vorgesehenen Strahlendurchganges die Anlage mit „Rechnung beendet“ zum Anhalten kommt. Damit ist in allen zyklischen Speichern wieder

die ursprüngliche Bereitschaft hergestellt. Wenn man „Variationsrechnungen“ beabsichtigt, kann man in der Zwischenzeit schon die einzeln oder in Kombination abzuändernden Bauelemente (also geänderte Gläserarten, bzw. Farben, Radien oder Abstände) passend in die entsprechenden zyklischen Speicher aufnehmen. So genügen jetzt wenige Kabelverbindungen, durch die Zeilen der ursprünglichen Zahlenbesetzung ersetzt werden durch solche, die neue Werte enthalten, um fast ohne Stillstandszeit die neue Rechnung anlaufen zu lassen.

Das Programm beruht auf einer vektoriellen Methode und ist dabei in seiner Struktur keineswegs einfach, da es neben paraxialer Durchrechnung vorwärts wie rückwärts, meridionale und auch windschiefe Durchrechnung bietet. Es erwies sich als vorteilhaft, in all diesen Fällen die Rechnungen an Kugel- und Planflächen mit speziellen Formeln durchzuführen, in die die Automatik selbst auf Grund der Eingabewerte einsteuert. Die Formel für die Übergangsrechnung von einer Fläche zu der nächsten lautet verschieden, je nachdem diese eine Kugel- oder eine Planfläche ist, da das neue Koordinatensystem in einem Fall auf den Mittelpunkt, im anderen auf den Scheitelpunkt (hier die Planfläche selbst) bezogen wird. Formal erhält man aber die Übergangsformel auf die Planfläche aus der auf die Kugelfläche, wenn man darin $r = 0$ setzt. Führt man daher die Planfläche nicht mit $r = \infty$, sondern gerade mit $r = 0$ in den zyklischen Speicher ein, so kommt man in dem Programm mit der allgemeinen Übergangsformel aus. Der Diskriminator II führt dabei die Rechnung entweder normal zu den Brechungsformeln an einer Kugelfläche oder bei $r = 0$ im Sprung zu den an einer Planfläche. Diese an sich unbedeutende Einzelheit wurde angeführt, um zu zeigen, wie Beobachtungsgabe Möglichkeiten einer geschickten Programmierung erkennen und ausschöpfen läßt.

Die in den vergangenen Monaten durchgeführten Rechenarbeiten zu optischen Systemen waren sehr abwechslungsreich, da Anpassung an die unterschiedlichen Arbeitsmethoden verschiedener Auftraggeber ebenso erforderlich war wie an die besonderen Probleme; erwähnt seien Berechnungen an Systemen mit parallelen oder gekreuzten Zylinderlinsen, sowie an einem Vorsatzsystem vor ein vorhandenes Objektiv. Die Variationsrechnung an dieser letzten Aufgabe hat das Besondere, daß die Feinstkorrektur des Gesamtsystems dabei jeweils die optimale Anpassung des Abstandes zwischen dem zu variierenden Vorsatz und dem festen Objektiv einbezog.

Aber auch Aufgaben anderer Art sind von dem Automaten erledigt worden, u. a. Lösungen von Gleichungen höheren Grades, wie sie sich z. B. aus einer vierreihigen Matrix mit Störgliedern an allen Elementen ergab, Berechnung von Kurvenscheiben für das Schleifen asphärischer Flächen, Intervall-Verfeinerung einer Antilogarithmentafel. Der letzte Fall wurde mittels Reihenentwicklung berechnet, wobei die für die

gewünschte Genauigkeit benötigte Anzahl von Gliedern von der Maschine selbst jeweils bestimmt wurde. Rechner hatten vor der Fülle und erdrückenden Gleichförmigkeit dieser Aufgabe kapituliert. Nur durch den improvisierten Einsatz des Automaten konnte die Tafel rechtzeitig in Druck gegeben und damit der Termin für die Auslieferung eines Gerätes, zu der diese Tafel gehörte, eingehalten werden. Auch die numerische Lösung einer Differentialgleichung wurde während der Versuchsperiode erfolgreich durchgeführt. Hierbei läßt sich vorteilhaft die Intervallbreite aus der Rechnung heraus steuern. Die Ausgeglichenheit hinsichtlich Vorbereitungszeit, Rechenzeit und der Auswertzeit, die schon bei der Planung als ein wesentliches Konstruktionsziel hingestellt wurde, erwies sich als äußerst fruchtbar in der engen Zusammenarbeit mit den Konstrukteuren der Optikentwicklung. In einem angemessenen Wechselspiel konnten so die verschiedenen Auftraggeber laufend und mit geringstem Aufwand befriedigt werden.

Schon mit der ersten Maschine hat sich eine so hohe Rechensicherheit erwiesen, daß ein Zwillingsbetrieb zur ständigen gegenseitigen Kontrolle des Rechenablaufs nur in besonderen Fällen angebracht erscheint und daher die noch ausstehende Querverkabelung beider Maschinen, die einen Stillstand für einige Tage erfordern würde, zunächst zurückgestellt wurde. Meist lassen sich passende Proben (z. B. Invarianten) in das Programm einfügen, so daß eine den Bedürfnissen angepaßte Kontrollmöglichkeit geboten ist.

Die Arbeitskapazität für das Jahr 1956 — sie entspricht etwa 200 Rechnern — ist schon jetzt von den verschiedenen Abteilungen des Werkes fast völlig in Anspruch genommen. Der über die Wochentage dreischichtig laufende Opremaetrieb erfordert von dem sie leitenden Mathematiker eine hohe Einsatzbereitschaft, da hier auch organisatorische Fragen hinsichtlich der Bereitstellung und wirtschaftlichen Einordnung von entscheidender Bedeutung sind. Es hat sich gezeigt, daß gerade die Tatsache, daß er wie seine nächsten Mitarbeiter an der Entwicklung der Maschine aktiv beteiligt waren, ein über das Gewöhnliche hinaus schnelles Hineinwachsen in diese Arbeitsstellungen ermöglichte.

Literaturverzeichnis:

- [1] W. Kämmerer: Die programmgesteuerte Rechenanlage im VEB Carl Zeiss Jena. Die Technik, Messesonderheft 1955, S. 7—9.
- [2] W. Kämmerer und H. Kortum: Oprema, die programmgesteuerte Zwillings-Rechenanlage des VEB Carl Zeiss Jena. Feingerätetechnik, 4. Jahrgang, Heft 3, März 1955, S. 103—106.