

Rechenautomaten im Dienste der Technik

Erfahrungen mit dem Zuse-Rechenautomaten Z₄

Professor Dr. math. *Edward Stiefel*, Zürich

Im folgenden sei ausschließlich von digitalen Rechenautomaten die Rede, die also wie Tischrechenmaschinen als einzige arithmetische Fähigkeit haben, die vier Grundoperationen auf ziffernmäßig dargestellte Zahlen ausüben zu können. Ob diese Zahlen dezimal oder dual dargestellt werden, ist eine interne Angelegenheit der Maschine, die für das Arbeiten mit ihr gleichgültig ist. Von einem Automaten sprechen wir, wenn die Aufeinanderfolge der einzelnen Rechenoperationen automatisch von einem Leitwerk gesteuert wird, welches das Rechenprogramm abtastet. Letzteres enthält die einzelnen von der Maschine auszuführenden Befehle, die vom Mathematiker vorbereitet worden sind und zum Beispiel auf einem Lochstreifen festgehalten werden. Im übrigen wollen wir die Struktur und Organisation eines Automaten als bekannt voraussetzen¹ und ebenso seine Einzelteile (Rechenwerk, Speicherwerk, Ein- und Ausgang für Zahlen und Befehle).

Es liegt auf der Hand, daß ein Automat der beschriebenen Art absolut reproduktiven Charakter hat. Die Vorbereitung des Rechenprogramms durch den Mathematiker braucht meistens ein Mehrfaches an Zeit und Denkarbeit, welche die einmalige Durchführung der Rechnung von Hand benötigen würde, und bürdet ihm – den wir hinfort *Programmierer* nennen wollen – häufig infolge allzu primitiver Organisation des Rechenwerks noch zusätzliche Arbeit auf. Ein Automat kann daher nur dann wirtschaftlich eingesetzt werden, wenn ein und dasselbe Rechenprogramm für mindestens einige Rechentage benutzt werden kann. Nun wird ohne Zweifel jedes Recheninstitut Routine-Aufträge erhalten, die diesem Wunsch entsprechen. Als Beispiel sei etwa das Auflösen von linearen Gleichungen oder die Berechnung von Flugbahnen genannt. Das Recheninstitut wird im Laufe seiner Tätigkeit eine Bibliothek von Programmen einrichten, die den immer

¹ *H. Rutishauser, A. Speiser, E. Stiefel: Programmgesteuerte digitale Rechengeräte. Mitteilungen aus dem Institut für angewandte Mathematik der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Nr. 2, 1951 (Verlag Birkhäuser, Basel).*

wiederkehrenden Aufträgen gerecht wird. In einer solchen Situation ergibt der Automat höchsten Nutzeffekt, und die hohe elektronische Rechengeschwindigkeit kann wirklich ausgenutzt werden. Es scheint, daß in den Vereinigten Staaten diese Arbeitsweise die normale ist, indem zahlreiche Automaten zur Verfügung stehen und bereits die einzelne Maschine hinsichtlich der bearbeiteten Probleme spezialisiert ist.

Die Dinge sehen aber ganz anders aus, wenn – etwa wie in der Schweiz – für die mathematischen und technischen Rechnungen eines Landes nur ein Automat zur Verfügung gestellt werden kann. Die Probleme wechseln dann häufig und oft innerhalb eines Tages; gewisse Rechnungen sind nur einmal oder nur versuchsweise auszuführen, und das Institut muß sowohl Routine-Aufgaben als auch die subtilsten numerischen Untersuchungen speditiv ausführen können. Das Programmieren nimmt dann Zeit und Kräfte der qualifizierten Mitarbeiter zu sehr in Anspruch, und es besteht die Gefahr, daß die Programmierer durch die Maschine dauernd gehetzt werden. Dies insbesondere dann, wenn im Institut nur beschränkt Personal eingestellt werden kann.

In der Schweiz hat das Institut für angewandte Mathematik der Eidgenössischen Technischen Hochschule seit 1950 seine wichtigste Aufgabe darin gesehen, das programmgesteuerte Rechnen für die schweizerische Industrie und Technik dienstbar zu machen. Es hat sich dabei gezeigt, daß die obengenannten Schwierigkeiten nur vermieden werden konnten, wenn Ingenieure und Wissenschaftler mit normaler mathematischer Hochschulbildung ihre Rechenprogramme selbst machen können. Diese Regelung hat dann außerdem den Vorteil, daß ein enger Kontakt zwischen dem Auftraggeber und dem Institut geschaffen wird. Sie ist natürlich nur durchzuführen, wenn die Organisation des Automaten so klar und einfach ist, daß das Programmieren für den von außen kommenden Ingenieur nicht als eine komplizierte Meta-Mathematik erscheint, die er ablehnt, und zwar mit Recht. Glücklicherweise erfüllte der von der Firma Zuse im Jahre 1950 gelieferte Relais-Automat diesen Wunsch in beträchtlichem Ausmaß, wie überhaupt Zuse seine Rechengeräte im Hinblick auf die Anwendung in der täglichen Praxis des Ingenieurs konzipiert hat und sich nicht nur darauf beschränkt hat, eine Einrichtung zu bauen, die schnell addiert und multipliziert, aber sonst nicht viel mehr leistet.

Wir haben uns auch bei der Planung unseres neuen Rechenautomaten „Ermeth“ von diesen Gesichtspunkten und den guten Erfahrungen mit der Zuse-Maschine leiten lassen und folgende Forderungen aufgestellt.

1. Das *Rechenwerk* soll (im Gegensatz zu einer Tischrechenmaschine) Zahlen jeder Größenordnung bearbeiten können, damit es vermieden wird, daß die Größenordnung eines Resultats zum voraus bekannt sein oder probeweise von Hand errechnet werden muß. Jede Zahl Z soll also mit „gleitendem Komma“

$$Z = a \cdot 10^a$$

durch Mantisse a und Exponent a dargestellt werden. Für a haben wir den Bereich

$$-199 \leq a \leq +199$$
festgesetzt.

In der ganzen Maschine wird ausschließlich das Dezimalsystem verwendet.

2. Die Arbeit des *Programmierers* soll dadurch erleichtert werden, daß er die einzelnen mathematischen und logischen Befehle unverschlüsselt in ihren klassischen mathematischen Bezeichnungen durch Betätigung von Tasten lochen kann. Jeder „Code“ ist zu vermeiden. Was mathematisch sinnvoll ist, muß auch für die Maschine sinnvoll sein; mit anderen Worten, es darf keine „verbotenen“ Folgen von Operationen oder Befehlen geben.

3. Die Maschine hat ein einziges *Speicherwerk*. (Jeder zusätzliche „Schnell“- oder „Puffer“-Speicher verkompliziert das Programmieren.)

4. Die Liste der *Befehle*, welche die Maschine ausführen kann, ist nach progressiver Schwierigkeit zu disponieren. Es soll möglich sein, daß ein Benutzer von außen mit Hilfe von einigen wenigen Befehlen sein Problem meistern kann. Diese sind im wesentlichen: Arithmetische Befehle, Speicher- und Ablesebefehle, bedingter und unbedingter Sprung auf Unterprogramme, Druck-, Loch- und Abtastbefehle. Von dieser elementaren Organisation ist getrennt die höhere Organisation, die dem Personal des Instituts vorbehalten bleibt. Sie umfaßt: Verwendung von indizierten Adressen und Indexregistern, Rechnen mit Adressen, Berechnung von Programmen.

5. Die Maschine ist so zu organisieren, daß sie zur Vereinfachung der Programmierungsarbeit auch *Rechenpläne berechnen* kann². Es soll also zum Beispiel möglich sein, ein vorliegendes für reelle Zahlen gültiges Rechenprogramm automatisch so zu modifizieren, daß auch komplexe Zahlen richtig verarbeitet werden.

6. Die äußere Bedienung der Maschine am Schaltpult muß einfach und übersichtlich sein. Ein ablösender Bedienungsmann soll durch wenige Hand-

² H. Rutishäuser: Automatische Rechenplanfertigung bei programmgesteuerten Rechenmaschinen. Mitteilungen aus dem Institut für angewandte Mathematik der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Nr. 3, 1952 (Verlag Birkhäuser, Basel).

griffe den Ablauf eines neuen Problems einleiten können, ohne daß er auf den Zustand der Maschine im Moment der Ablösung zu achten hat.

7. Die durch die internen Kontrollen der Maschine aufgedeckten Rechenfehler werden eingeteilt in schwere, die ein Anhalten des Automaten bewirken, und leichte (sporadische), die nur durch einen besonderen Fehlerzähler gezählt werden und normalerweise durch programmierte Repetition der betreffenden Teilrechnung ausgemerzt werden.

Selbstverständlich kann man zusätzlichen technischen Aufwand in einer Maschine vermeiden, indem man sogenannte feste Unterprogramme einführt. Rechnet zum Beispiel ein Automat im Dualsystem und soll ein Resultat in dezimaler Form erscheinen, so besteht diese Umwandlung in einer Kette von arithmetischen Operationen, die nach einem festen Rechenprogramm durch Rechnen im Dualsystem ausgeführt werden können. Dieses Unterprogramm muß dann jedesmal automatisch aufgerufen werden, wenn ein Resultat der Außenwelt mitgeteilt werden soll. Besitzt eine Maschine keine technischen Einrichtungen für das in 1. genannte gleitende Komma, so kann auch dies programmiert werden.

Es ist jedoch aus zwei Gründen nicht angezeigt, in dieser Richtung zu weit zu gehen. Erstens reduziert jedes feste Programm, das ja im Automaten gespeichert sein muß, die Kapazität dieses Speichers und zweitens kommt es dann so weit, daß der Automat im größten Teil seiner Zeit logische statt arithmetische Operationen ausführt. Er interpretiert, modifiziert und iteriert Befehle, schaltet Programme ein und aus und sucht seinen Weg durch die ineinandergeschachtelten Schleifen der Rechenstrukturen, aber er rechnet selten. In konsequenter Verfolgung dieses Gedankens der Einsparung technischer Ausrüstung und deren Ersetzung durch eine Hierarchie von Programmen kommt man schließlich zu einem Gerät, bestehend aus einem amorphen Haufen von Elektronenröhren oder anderen Schaltelementen, in welchem sogar die Addition einstelliger Zahlen programmiert werden muß.

Die Rechenautomaten haben uns das numerische Rechnen abgenommen, uns aber dafür die noch viel langweiligere Arbeit des Programmierens gebracht. Meine Erfahrungen, die ich mit dem Zuse-Automaten gemacht habe, zeigen eindeutig, daß die Vereinfachung der letzteren Tätigkeit von großer Wichtigkeit ist, wenn die Automaten in Industrie und Technik Eingang finden sollen. Ein erster Schritt auf diesem Wege wäre, daß die verschiedenen Rechen-Institute über die Terminologie des Programmierens auf internationaler Basis entsprechende Vereinbarungen treffen.

Noch ein Wort über die Geschwindigkeitsverhältnisse! Die eigentliche Rechengeschwindigkeit muß ausgewogen sein mit der Geschwindigkeit des Verkehrs mit der Außenwelt, also mit dem Lochen und Abtasten. Als Beispiel sei das Auflösen eines linearen Gleichungssystems genannt, das so groß ist, daß die Gleichungsmatrix nicht im inneren Speicherwerk Platz hat. Man muß sie dann in Untermatrizen zerschlagen, von denen jede vollautomatisch invertiert wird. Das Eingeben dieser Untermatrizen in den Automaten beeinflußt dann die Zeit für die Erledigung des Problems erheblich.

Man kann leicht Beispiele konstruieren, wo ein Automat mit elektronischer Höchstgeschwindigkeit im Rechenwerk dann im Nachteil ist gegenüber langsameren Maschinen, wenn er nur über einen bescheidenen Ein- und Ausgang (etwa eine einzige „Teletype“-Einrichtung) verfügt.

Die in der Kinderzeit der Entwicklung von Rechenautomaten etwa gehörte Meinung, ein sehr rascher Automat sei dank dieser Geschwindigkeit auch brauchbar, wenn er nur in einem kleinen Teil seiner Betriebszeit richtig rechne, wird heute kaum jemand teilen; in der Tat bewirkt jedes Versagen eines Automaten Unordnung im Arbeitsplan des Personals. Auch bei Rechenmaschinen sollte Sicherheit wichtiger sein als Schnelligkeit.

Um über die Leistungsfähigkeit auch langsamer Automaten für die mathematischen Probleme in Physik, Chemie und Technik ein Bild zu geben, sollen im folgenden einige typische Probleme geschildert werden, die in meinem Institut erledigt worden sind. Bei einigen unter ihnen wird sich Gelegenheit bieten, Einzelheiten der Programmierung zu besprechen. Sämtliche Rechnungen wurden auf Zuses Z_4 ausgeführt und mehrere davon von Auftraggebern programmiert, die nicht dem Institut angehören. Gewöhnlich genügte etwa eine halbtägige Instruktion eines solchen fremden Programmierers, um ihm das Arbeiten mit der Maschine beizubringen, falls sein erstes Programm noch von einem Fachmann korrigiert wurde.

Es mag in diesem Zusammenhang von Interesse sein, daß die technische Hochschule neben der ordentlichen Professur für angewandte Mathematik einen Lehrstuhl gegründet hat, dem speziell der Unterricht im Einsatz von Rechenautomaten obliegt.

Abb. 1 ist eine Gesamtansicht der Zuseschen Z_4 .

Im Vordergrund steht das Schaltpult; es enthält in seinem Mittelstück zwei Abtaster und einen Locher für die Lochstreifen, links die Tastatur zum Eingeben von Zahlen und ein Lampenfeld zum Ablesen von solchen. Der rechte Teil dient der Herstellung von Programmen; durch Betätigung der unten sichtbaren Tasten werden die Befehle auf einen Filmstreifen gelocht.

Hinter der elektrisch gesteuerten Schreibmaschine ist das Speicherwerk angebracht, das ursprünglich eine mechanische Konstruktion von Zuse war, später aber dann von uns durch ein elektronisches Speicherwerk ersetzt wurde. Rechts und im Hintergrund stehen die Schränke für Rechenwerk und Speicherwerk; die Z_4 verwendet als Schaltelemente gewöhnliche Telefon-Relais und Schrittschalter.

Abb. 2 zeigt die beiden Abtaster während des Durchrechnens eines mathematischen Problems. Im rechten Abtaster liegt das Hauptprogramm, auf welchem etwa ein Integrationsschritt zur Lösung einer Differentialgleichung programmiert ist. Der linke Abtaster verarbeitet ein Unterprogramm, und zwar das Ausziehen einer Wurzel auf iterativem Weg. Man beachte, daß dieses Programm eine endlose Schleife ist; ein einmaliger Umlauf desselben ergibt einen Iterationsschritt. Während die Rechnung automatisch abläuft, kann man nun folgendes Spiel beobachten. Sobald das Hauptprogramm an die Stelle kommt, wo eine Wurzel berechnet werden muß, bleibt es stehen und veranlaßt durch einen Sprungbefehl das Anlaufen des Unterprogramms. (Unbedingter Sprung.) Dieses macht so viele Umläufe, das heißt berechnet so viele immer bessere Annäherungen an den Wurzelwert, bis die Rechnung steht; dann nimmt das Hauptprogramm seine Arbeit wieder auf. (Bedingter Sprung.)

Alle größeren numerischen Probleme haben diese Struktur von ineinandergeschachtelten Rechenzyklen. Um nicht zu viele Abtaster haben zu müssen, ist man bei neueren Maschinen dazu übergegangen, alle Programme genau wie die Zahlen in einem elektronischen Speicher aufzubewahren, der etwa nach dem Prinzip der rotierenden Trommel mit magnetischer Schicht gebaut sein kann. Dasselbe Prinzip wird ja bei den bekannten Tonband-Geräten verwendet.

Die Z_4 ist eine außerordentlich betriebssichere Maschine. Im letzten Jahr hat sie in 80 % ihrer Betriebszeit korrekt an mathematischen Problemen gearbeitet; zum Unterhalt genügte ein halber Arbeitstag eines Technikers pro Woche.

Die von der Z_4 durchgerechneten technischen Probleme wollen wir einteilen in

1. Auswertung expliziter Formeln (Tabellierung von Funktionen)

Als Beispiel sei herausgegriffen das folgende von unserem chemischen Institut vorgelegte Problem. Bei der Infrarot-Spektroskopie organischer

Substanzen in Suspensionen bewirkt die Streuung des Lichts an den suspendierten Teilchen eine Extinktion (Auslöschung) der Bandenspektren³. Die mathematische Analyse des Vorgangs führt auf folgende Extinktionsfunktion von zwei unabhängigen Variablen:

$$E(x,y) = 2 - 4 \int_0^1 e^{-xt} \cos(yt) \cdot t \cdot dt.$$

Die Programmierung für maschinelle Auswertung umfaßt

1. Hauptprogramm: Ein Integrationsschritt zur Berechnung des Integrals etwa nach der Simpsonschen Regel.

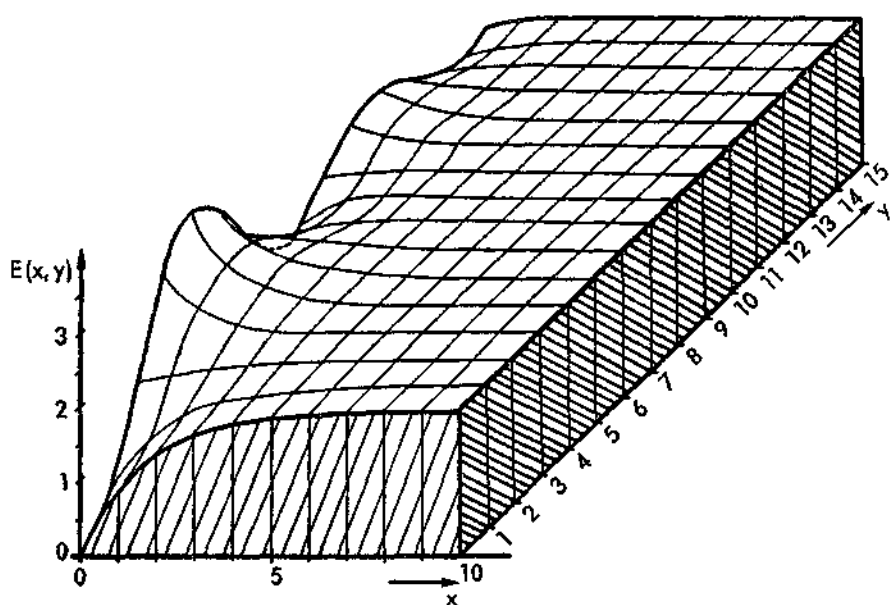


Abb. 3

2. Unterprogramm für die Berechnung der Exponentialfunktion.
3. Unterprogramm für die Berechnung des Cosinus.

(Auch elementare transzendente Funktionen werden bei Einsatz eines Automaten auf diesem berechnet und nicht etwa aus Tabellen abgetastet.)

³ H. Primas und Hs. H. Günthard: Theorie der Form von Absorptionsbanden suspendierter Substanzen und deren Anwendung auf die Nujolmethode in der Infrarotspektroskopie (Helvetica Chimica Acta, 37, 1953).

Die Übergänge von einem Programm zum andern werden durch Sprungbefehle in diesen Programmen selbst geregelt.

Abb. 3 zeigt die Resultate in reliefartiger Darstellung. Zeitaufwand für die Programmierung: fünf Stunden, für die Rechnung: sechzig Stunden.

II. Auflösung algebraischer Gleichungen

Die maschinelle Lösung einer solchen Gleichung n-ten Grades

$$P(x) = \sum_{k=0}^n a_k x^k = 0$$

muß natürlich so programmiert werden, daß alles vollautomatisch abläuft. Der Bedienungsmann muß nur die Koeffizienten a_k am Anfang in die Maschine geben; dann berechnet sie ohne jede Einwirkung von außen eine Wurzel nach der anderen und bleibt selbständig stehen, wenn die n-te Wurzel auf der Schreibmaschine gedruckt worden ist. Derartige Arbeiten werden bei uns oft nachts über ausgeführt. Abends werden die Koeffizienten eingetastet und morgens dann die Wurzeln abgelesen. Während der Nacht befindet sich niemand im Institut. Diese Arbeitsweise verlangt automatische Sicherungseinrichtungen, die das Abschalten aller Stromkreise bewirken, wenn der Automat zu viele Fehler macht oder betriebliche Störungen auftreten. (Zusammenbrechen der Netz-Spannung.)

Eine rohe Programmierung des Problems könnte etwa folgendermaßen aussehen.

1. Hauptprogramm: Berechnung des Wertes des Polynoms $P(x)$ und nachträgliche Vergrößerung von x um einen gegebenen Schritt h . Wiederholung dieses Programms.
2. Unterprogramm: Multiplikation des Schrittes mit $(-1/2)$. Wird ausgelöst, sobald zwei aufeinanderfolgende und nach 1. berechnete Werte von $P(x)$ verschiedenes Vorzeichen haben. Dann zurück auf das Hauptprogramm.
3. Bedingtes Anhalten der Maschine, wenn der Wert von $P(x)$ kleiner als eine gegebene Toleranz ist und Drucken von x .

Der Leser möge sich selbst davon überzeugen, daß mit diesen ineinandergeschachtelten Programmen die Maschine eine Zeit lang rechnet, die erste Wurzel druckt und dann stehenbleibt. Das Fortschreiten zu weiteren Wurzeln müßte durch ein weiteres Unterprogramm geregelt werden.

Tatsächlich wurden feinere Methoden verwendet⁴, die auch beim Auftreten von komplexen Wurzeln noch funktionieren.

Die Z_4 braucht für die vollautomatische Auflösung einer Gleichung n-ten Grades durchschnittlich $1,25 \cdot n^2$ Minuten.

Wir haben ebenfalls für das chemische Institut zahlreiche Säkulargleichungen aufgelöst, die in der Quantentheorie des Molekülbaus auftraten⁵. Bei der Aufstellung dieser Gleichungen spielen die Symmetrien des Moleküls eine große Rolle und verlangen gruppentheoretische Rechnungen. Bei geeigneter Organisation kann ein Automat auch derartiges ausführen, also mit geometrischen Drehungen, Spiegelungen und Translationen rechnen statt mit Zahlen.

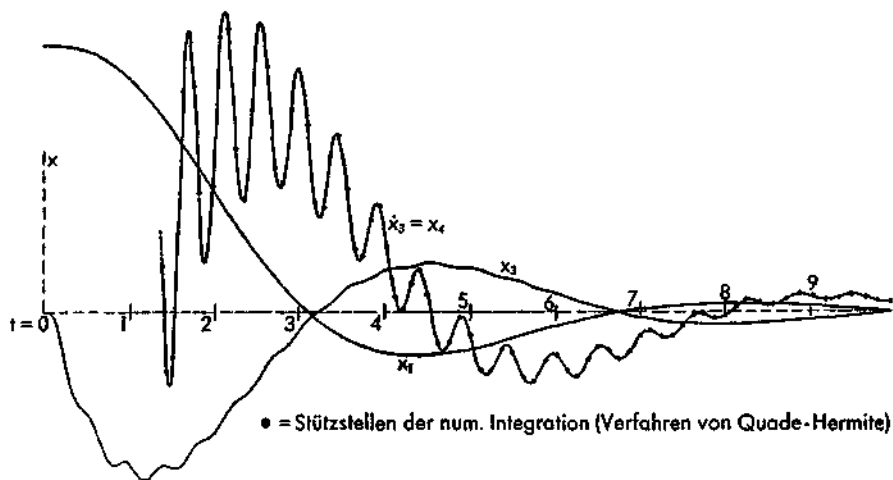


Abb. 4

III. Gewöhnliche lineare Differentialgleichungen, speziell Stabilitäts-Untersuchungen

Dies ist das weite Feld der Regelungstechnik. Abb. 4 enthält die Integration des folgenden Systems für die sechs unbekanntes Zeitfunktionen x_1 bis x_6 , das bei einer Servo-Steuerung auftrat.

⁴ H. J. Maehly: Zur iterativen Auflösung algebraischer Gleichungen (Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik, V, 1954).

⁵ R. W. Schmid und E. Heilbronner: Zur Kenntnis der polarographischen Reduktion aromatischer Aldehyde (Helv. Chimica Acta, 37, 1954).

$$\begin{array}{ll} \dot{x}_1 = x_2 & \dot{x}_4 = f_2 x_2 + f_3 x_3 + f_4 x_6 \\ \dot{x}_2 = f_0 x_2 + f_1 x_3 & \dot{x}_5 = f_5 x_1 + f_6 x_2 + c_7 x_5 \\ \dot{x}_3 = x_4 & \dot{x}_6 = c_8 x_5 + c_9 x_6 \end{array}$$

Dabei sind f_0 bis f_6 und c_7, c_8, c_9 gegebene empirische Funktionen der Zeit, die zuerst durch Polynome approximiert werden mußten. x_1, x_3, x_4 sind graphisch dargestellt. Der Zeitaufwand betrug für die Durchrechnung des in der Figur Gezeigten (100 Integrationsschritte) 25 Stunden.

Derartige Aufgaben haben uns dazu angeregt, die Eignung der bekannten Methoden zur numerischen Integration von Differentialgleichungen für Rechenautomaten etwas zu prüfen. Es zeigt sich nämlich, daß viele klassische in den Lehrbüchern empfohlene Methoden zu numerischen Instabilitäten neigen⁶, falls wirklich viele Integrationsschritte ausgeführt werden, was erst durch die Automaten möglich wurde. Das heißt, die numerische Lösung kann sich nach exponentiellen Gesetzen von der exakten Lösung entfernen, was natürlich die Beantwortung der Frage, ob der vorgelegte Regelkreis stabil ist, verunmöglicht.

Auf dem Gebiete dieser Servo-Aufgaben werden die Rechenautomaten konkurrenziert durch die *Integrieranlagen*; es sei daher noch ein Wort zur Abgrenzung dieser Gerätearten gesagt. Die vom Ingenieur so geschätzten Vorteile der Integrieranlage sind: Wegfall der Programmierungsarbeit; die in die Differentialgleichung eingehenden Data können leicht und schnell verändert werden. Ein Blick auf den Kathodenstrahl-Oszillographen, der die Lösungskurve abbildet, zeigt, wie diese Data verändert werden müssen, um stabile Verhältnisse zu haben. Dem steht aber der schwere Nachteil gegenüber, daß eine Integrieranlage nur solche Probleme lösen kann, für die die Zahl ihrer Integratoren ausreicht. Für das obige noch relativ einfache Problem braucht man zum Beispiel sechs Integratoren, zehn Multiplikatoren und zehn Tische zum Abgreifen gegebener Funktionen!

Es wäre aber wünschenswert, daß auch Rechenautomaten Zusatzgeräte zum Abtasten und Aufzeichnen von Kurven erhalten.

IV. Nichtlineare Differentialgleichungen

Hier nenne ich nur die Berechnung von Geschöß-Flugbahnen; die Z_4 hat monatelang mit demselben Programm an solchen gerechnet.

⁶ H. Rutishauser: Über die Instabilität von Methoden zur Integration gewöhnlicher Differentialgleichungen (Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik III, 1952).

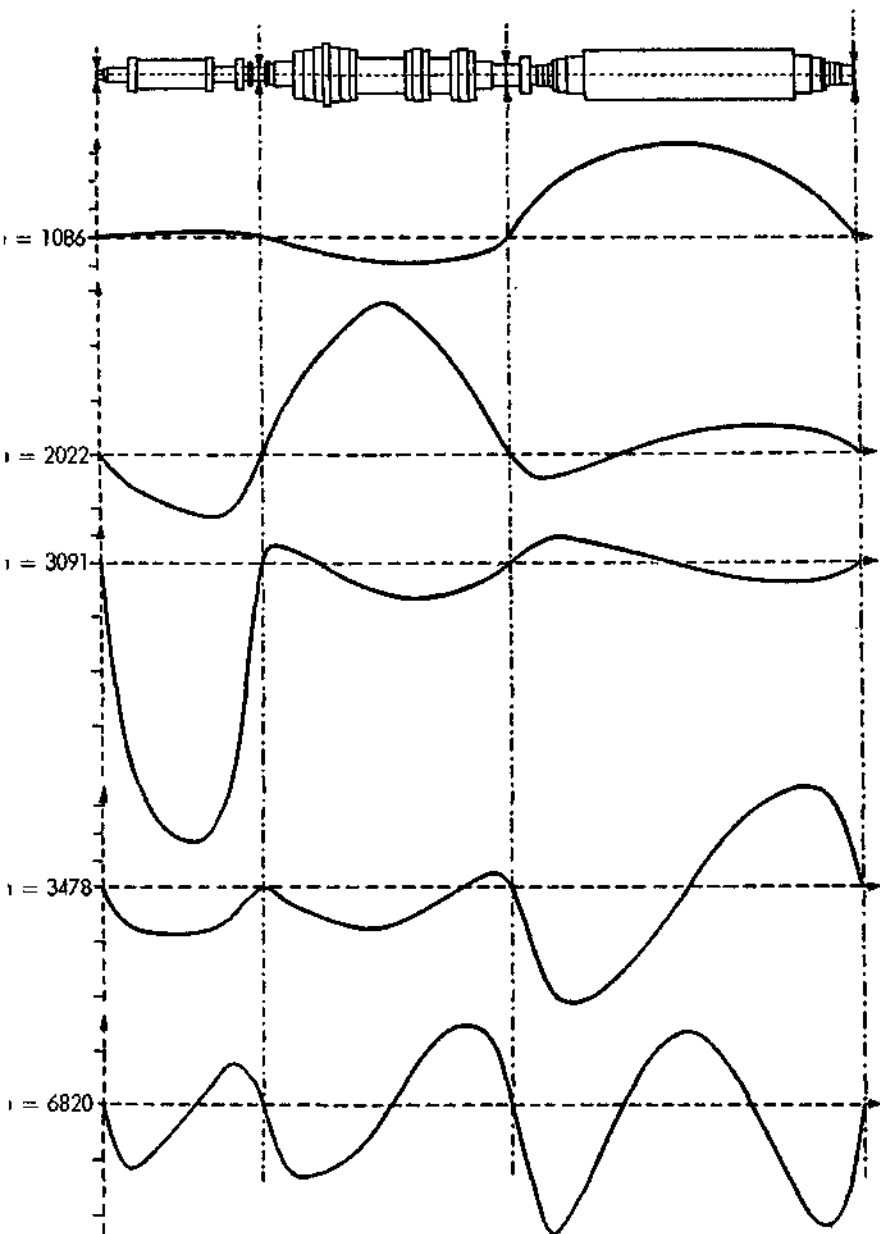


Abb. 5

V. Schwingungsprobleme, kritische Drehzahlen und Frequenzen

Abb. 5: Kritische Drehzahlen einer mehrfach gelagerten Turbinenwelle, die im oberen Teil des Bildes gezeichnet ist.

Die Welle ist an den Enden und in zwei Zwischenlagern gelagert und die Arbeits-Drehzahl soll zwischen zwei kritischen Drehzahlen liegen. Es mußten daher die fünf ersten Frequenzen der Biegeschwingungen berechnet werden. Im unteren Teil des Bildes sind die zugehörigen Schwingungsformen dargestellt; man erkennt, daß jedesmal ein neuer Knoten hinzukommt.

Um hier sicher zu sein, wurde die genaueste mathematische Methode zur Bestimmung von Eigenwerten bei Differentialgleichungen benutzt. Sie besteht im wesentlichen⁷ in der Bestimmung einer Folge $f_j(x)$ von elastischen Linien, welche die gesuchte Eigenschwingung immer besser approximieren. Dabei ist $f_{j+1}(x)$ die elastische Linie zur Belastungsfunktion $f_j(x)$. Bei Anwendung von Lochkartenmaschinen wird häufig ein etwas gröberes nach Rankin⁸ benanntes Verfahren verwendet.

Zur Berechnung eines Satzes von fünf Frequenzen braucht die Z_4 etwa hundert Stunden. Das häufige Auftreten dieser Aufgabe hat die Ingenieure der auftraggebenden Firma veranlaßt, ein elektrisches Netzwerk zu bauen, das direkt Näherungswerte für die kritischen Drehzahlen liefert. Diese können dann auf dem Automaten verbessert werden, womit die noch kaum ausgenutzte Möglichkeit der Zusammenarbeit von Analogiegeräten mit digitalen Automaten aufgezeigt ist.

Das Institut für Mechanik unserer Hochschule hat auf der Z_4 Frequenzen der Biegeschwingungen verwundener Stäbe (Turbinenschaufeln) durchgeführt⁹.

Sehr lohnend werden Automaten für die Flatterrechnungen im Flugzeugbau eingesetzt. Die Z_4 ist monatelang von einer schweizerischen Firma benutzt worden, um die kritischen Fluggeschwindigkeiten zu ermitteln, bei denen ein Flattern des Trag- oder Leitwerks eines in Konstruktion befindlichen Flugzeugtyps eintritt. Der Ansatz der numerischen Methoden,

⁷ L. Collatz: Eigenwertaufgaben mit technischen Anwendungen (Leipzig 1949), speziell 4. Kapitel.

⁸ A. W. Rankin: Calculation of the multiple-span critical speeds of flexible shafts by means of punched-card machines (J. appl. mech., 12, 1945) vgl. auch H. Unger und H. W. Schäfer: Berechnung kritischer Drehzahlen mehrfach gelagerter Wellen. (Mitt. Remington-Rand, Heft 159, 1954).

⁹ A. Troesch, M. Anliker, H. Ziegler: Lateral vibrations of twisted rods (Quarterly appl. math., XII, 2, 1954).

das Programmieren und die konstruktive Verwendung der numerischen Resultate lag vollständig in den Händen von Mitarbeitern dieser Firma. Ein Bericht von *U. Hochstrasser* erscheint demnächst in der Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik.

Verfeinertes Netz für die Mauer

- Randpunkte, auf welchen die Airy'sche Spannungsfunktion w gegeben ist.
- + Innere Punkte, auf welchen die Airy'sche Spannungsfunktion w gesucht wird.
- × Punkte in der Nähe der Trennfuge, auf welchen die Airy'sche Spannungsfunktion gesucht wird. (Irreguläre Punkte der Relaxation)

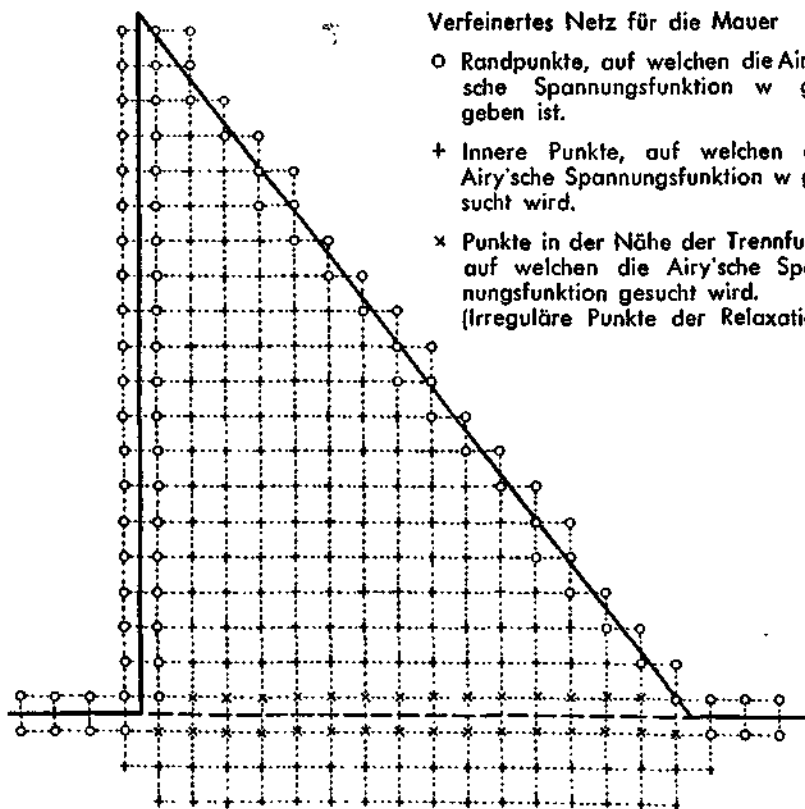


Abb. 6

VI. Partielle Differentialgleichungen

Dies ist wohl das ureigenste Gebiet der digitalen Automaten, in dem sie nicht mehr durch Integrieranlagen, sondern höchstens durch Analogien in der Art elektrischer Netzwerke ersetzt werden können. Unser Institut hat hauptsächlich Erfahrungen in der Potential- und der Elastizitätstheorie

beanspruchter Platten und Scheiben, während auf dem Gebiet der Strömungslehre weniger gearbeitet wurde. *Bild 6* greift als Beispiel die Berechnung der Spannungen in einer Gewichtsstauwand heraus, die im Profil gezeigt ist. Das Problem kommt mathematisch darauf hinaus, die biharmonische Differentialgleichung

$$-\frac{\delta^4 u}{\delta x^4} + 2 \frac{\delta^4 u}{\delta x^2 \delta y^2} + \frac{\delta^4 u}{\delta y^4} = 0$$

für die Airysche Spannungsfunktion $u(x, y)$ zu lösen in einem Gebiet, das aus dem gezeichneten Profildreieck besteht und der ganzen unendlichen unteren Halbebene, die als Baugrund anderen Elastizitätsmodul als die Mauer hat. Dies führt auf Übergangsbedingungen längs der Fuge zwischen Dreieck und Halbebene. Als hübsches Beispiel für das Zusammenwirken von rein mathematischer und numerischer Analysis sei erwähnt, daß wir für die untere Halbebene die explizite *Boussinesqsche* Lösung des biharmonischen Randwertproblems verwendet haben, so daß das Problem darauf hinausläuft, so viele lineare Gleichungen aufzulösen wie Gitterpunkte in *Abb. 6* gezeichnet sind.

Das Problem der maschinellen Auflösung derartiger partieller *Differenzengleichungen* hat einige theoretische Untersuchungen veranlaßt¹⁰.

Ich schließe mit einem Beispiel über die Zusammenarbeit zwischen Automat und Modellversuch. Wird ein elastisches Material äußeren Beanspruchungen unterworfen, so gestattet eine photoelastische Aufnahme die Bestimmung der Differenz der Hauptspannungen in jedem inneren Punkt des Profils. Die noch fehlende Summe dieser Spannungen kann errechnet werden durch Lösung eines Randwertproblems der Potentialtheorie, das – im Gegensatz zur obigen Gleichung 4. Ordnung – nur auf eine partielle Differentialgleichung 2. Ordnung führt.

Weitere Arbeiten der Z_4 betrafen folgende Aufgaben: Störungsrechnungen in der Astronomie, Berechnung eines elektrischen Stoß-Generators, Strahldurchgang durch optische Systeme, Ausgleichung von photogrammetrischen Streifenaufnahmen, harmonische Analysen, Berechnungen zur pneumatischen Förderung von Getreide. Orientierende Berechnungen für die Kon-

¹⁰ *E. Stiefel*: Über einige Methoden der Relaxationsrechnung (Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik, Vol. III, 1952).

E. Stiefel: Relaxationsmethoden bester Strategie zur Lösung linearer Gleichungssysteme (Commentarii Math. Helvetici, 1954).

U. Hochstrasser: Die Anwendung der Methode der konjugierten Gradienten und ihrer Modifikationen auf die Lösung linearer Randwertprobleme (Diss. ETH Zürich, 1954).

struktion von Analogie-Rechengeräten¹¹ und für den neuen Rechenautomaten „Ermeth“.

In den fünf Jahren der Anwendung von Zuses Maschine auf Probleme des Ingenieurwesens hat sich gezeigt, daß Automaten sehr nutzbringend helfen können, wenn ihre Bedienung nicht allzu geheimnisvoll ist. Die Auswirkungen lassen sich kurz so beschreiben:

1. Es werden Vorausberechnungen möglich, die früher nicht oder nur mit prohibitivem Zeitaufwand hätten durchgeführt werden können.
2. Kompliziertere technische Probleme werden der mathematischen Behandlung zugänglich.
3. Automaten können teilweise kostspielige Versuchsanordnungen ersetzen.
4. Die feinere Berechnung des Kräftespiels spart Material und Bauzeit für ein technisches Objekt.
5. Es müssen nicht mehr qualifizierte Mitarbeiter für längere numerische Rechnungen eingesetzt werden.
6. Die durch die Automaten bewirkten Fortschritte in der Grundlagenforschung (Plastizität, Stoßwellen) wirken sich indirekt auch auf die Technik aus.
7. Elektronische und magnetische Komponenten von Rechenautomaten lassen sich auch anderswo in der Nachrichten- und Servotechnik verwenden.

¹¹ A. P. Speiser: Rechengeräte mit linearen Potentiometern (Zeitschrift für angewandte Math. und Physik III, 1952).

M. A. Abdel-Messih: Tabellen zur Erzeugung von Funktionen einer und zweier Variablen mit linearen Potentiometern. Mitteilungen aus dem Institut für angewandte Mathematik der Eidgenössischen Technischen Hochschule Nr. 5, 1954 (Verlag Birkhäuser, Basel).

Diskussion

Professor Dr. phil. Guido Hoheisel

Manche Probleme, zum Beispiel, wann eine Differentialgleichung auf Quadratur zurückführbar ist, hatten für den angewandten Mathematiker eine Bedeutung. Ich wollte fragen, ob derartige theoretisch bedeutsame Fragestellungen auch heute noch in der Praxis von Bedeutung sind, oder ob man die Programmierung heute sofort vornimmt, ohne auf solche theoretischen Erwägungen einzugehen.

Professor Dr. John von Neumann

Diese Frage ist sehr wichtig. Man kann, wenn man eine partielle Differentialgleichung hat und absolut nichts darüber weiß, wie weit sie mit analytischen Mitteln zu lösen oder zumindest zu vereinfachen ist, mangels tieferer Einsichten direkt und „gewaltsam“ vorgehen, d. h. sie durch direkte arithmetische schrittweise Näherungsverfahren lösen. Wenn man aber eine analytische Lösung kennt, so kann man das schneller ausrechnen. Die analytische Einsicht macht u. U. den Unterschied, ob es 100 Stunden oder eine Stunde dauert oder vielleicht auch ob es zehn Milliarden Jahre oder fünf Minuten dauert. Also kann das durchaus entscheidend sein. Es ist aber auch richtig, daß, obwohl eine analytische Durchdringung immer wichtig ist, es unter Umständen noch auf ganz andere Nuancen ankommen kann bei den älteren (vor-maschinellen) Rechenmethoden. Anders ausgedrückt: Die Kriterien, auf Grund derer man ein Problem oder besser gesagt eine Auflösungsprozedur für ein Problem wertet, d. h. „schwer“ von „leicht“ unterscheidet, haben sich jetzt verschoben. Aber mathematisch-analytische Einsicht ist immer noch eines dieser Kriterien, in der Tat, sie ist wohl immer noch das wichtigste, aber sie ist nicht mehr in dem Maße überwiegend, wie sie es früher war.

Professor Dr. phil. Guido Hobeisel

Man hat früher nicht-lineare Systeme durch lineare approximiert. Wird man das heute auch noch tun oder wird man lieber die Programmsteuerung direkt auf das nichtlineare System abstellen?

Professor Dr. John von Neumann

Soweit man lineare Techniken gut beherrschte und die nicht-linearen nur sehr unvollkommen, war man in der Vergangenheit sehr darauf angewiesen zu linearisieren, gleichgültig ob dies als mathematische Näherung mehr oder weniger gerechtfertigt war. Nun gibt es Fälle, wo man durch Linearisierung recht viel verliert. In diesen Fällen wird man jetzt, wo man nunmehr auch einfach direkt „durchrechnen“ kann, nicht mehr linearisieren. Aber das sind alles Fälle, bei denen man auch früher wußte, daß man eigentlich nicht linearisieren sollte.

Professor Dr. phil. Ernst Peschl

Ich möchte fragen: Wie groß ist das sinnvolle Minimum des Ausmaßes einer elektronischen Rechenmaschine? Hat es zum Beispiel einen Sinn eine Rechenmaschine alten Stils elektronisch umzukonstruieren. An sich müßte das doch gehen.

Professor Dr. John von Neumann

Das hängt sehr von der Rechenmaschine ab. Es ist bei vielen Maschinen möglich, Bestandteile, die später entwickelt wurden, der Maschine nachträglich anzugliedern. Es ist aber nie so wirksam, als wenn man von vornherein daraufhin geplant hat. Wenn ich Herrn Professor Stiefel richtig verstanden habe, hat er zum Beispiel einer Relaismaschine eine magnetische Trommel angegliedert. Eine Maschine, die ich gut kenne, die ENIAC, die vor acht Jahren gebaut wurde, wurde nachher mit allen möglichen Zusätzen versehen, zum Schluß sogar mit einem kleinen ferromagnetischen Speicher. Das geht, aber über ein gewisses Maß hinaus lohnt es sich natürlich nicht. Mit anderen Worten: Nachträgliche Verbesserungsmöglichkeiten bestehen, aber sie sind beschränkt. Wenn man zu viele Generationen von neuen Organen anhängt, kommt man zu Situationen wie beim Automobil, bei dem man nur den Motor, das Chassis und die Räder ersetzt hat. Die Objekte, die ich beschrieben habe, sind sehr große Maschinen. Es gibt aber

bereits sehr viele Abarten von mittleren und kleinen Maschinen. Ich habe den Eindruck – er mag vielleicht nicht richtig sein –, daß man augenblicklich viel besser versteht, große Maschinen zu konstruieren als kleine.

Staatssekretär Professor Leo Brandt

Dann wird der Bau kleinerer Maschinen für unsere Ingenieure eine dankenswerte Aufgabe sein.

Professor Dr. math. Eduard Stiefel

Gegenwärtig werden Handmaschinen gebaut, die an Stelle des Zählerwerkes mit Röhren und anderen elektrischen Schaltern arbeiten nicht aber wegen der Geschwindigkeitserhöhung, sondern um kleine Speicher anschließen zu können, die auch bei der Handmaschine sehr erwünscht sind.

Professor Dr. phil. Heinrich Kaiser

Auf dem amerikanischen Markt werden kleine elektronische Rechenmaschinen für Spezialaufgaben angeboten. Z. B. baut die Consolidated Engineering Company eine Maschine, mit der man lineare Gleichungssysteme lösen kann. Solche Maschinen sind sehr nützlich bei der Auswertung von analytischen Messungen in der Massenspektrometrie oder auch in der Molekülspektroskopie. Wahrscheinlich sind die Maschinen nach demselben Prinzip gebaut, haben aber nur ein festgelegtes Programm und sind deshalb billiger.

Ich habe dann noch eine Frage, die mein eigenes Arbeitsgebiet betrifft und die sich auf Analogierechenmaschinen bezieht. Wir haben uns überlegt, ob es nicht möglich wäre, die Schwingungsverhältnisse in komplizierten organischen Molekülen, die man sehr schwer rechnen kann, durch elektrische Analoga nachzubilden. Man könnte diese elektrischen Modelle mit vergrößertem Zeitmaßstab bauen, und man könnte sie dann mit einem Schwebungssummeer durchmessen und auf einem Oszillographenschirm unmittelbar die Schwingungsfrequenzen und vielleicht sogar die Intensitäten ablesen. Dafür genüßten verhältnismäßig grobe Modelle. Es wäre aber sehr wichtig für die ganze Konstitutionsforschung, man könnte sehen, wie die Moleküle gebaut sind, man könnte an ihnen herumbasteln und sie irgendwie verändern. In einer Diskussion, die vor zwei Jahren in einem Kreis von Infrarotspektroskopikern stattfand, erregte diese Frage allgemeines

Kopfschütteln. Dann wurde mir gesagt, mit elektrischen Netzwerken könne man komplizierte räumliche Gebilde nicht nachbilden, sondern nur lineare. Leider reichte die bei mir „gespeicherte Mathematik“ nicht aus, um diese Frage sofort beurteilen zu können, so ist sie offen geblieben.

Professor Dr. John von Neumann

Die Consolidated-Maschine ist, wenn ich nicht irre, eine echte Analogiemaschine, wobei die linearen Gleichungssysteme im wesentlichen durch ein elektrisches Netzwerk-Analogon gelöst werden. Ich glaube, daß sich diese Maschine nicht zweckmäßig in eine Ziffernmaschine einordnen läßt, umso mehr, als – falls man gewillt ist, die Kosten der Ziffernmaschine zu akzeptieren – die letztere das lineare Gleichungssystem ohne weiteres selber lösen kann.

Wie ich bereits erwähnte, ist der Preis einer großen Rechenmaschine heute in den Vereinigten Staaten $\frac{1}{2}$ bis $1\frac{1}{2}$ Millionen Dollar. Ich glaube, daß unter den Preis- und Arbeits-Verhältnissen von England und von Schweden, wo ähnliche Projekte durchgeführt wurden, die amerikanischen Kosten etwa zu halbieren sind. Es gibt am amerikanischen Markt jetzt auch kleinere Maschinen für etwa 30 000 bis 200 000 Dollar – ich nehme an, daß die europäischen Preise auch hier etwa die Hälfte sein werden. (Dies ist in einem möglichen Vergleichsfall, Frankreich–Vereinigte Staaten, den ich kenne, einigermaßen bestätigt.) Diese kleineren Maschinen sind zumeist Ziffernmaschinen, die weniger hohe Geschwindigkeiten haben und anstatt des sehr empfindlichen elektrostatischen Speichers oder des noch recht neuen Ferritspeichers wesentlich einfachere und bereits voll entwickelte magnetische Trommelspeicher benutzen. In diesen ist zu sagen, daß sich bisher ein einheitlicher Typ viel weniger herausgebildet hat. Sonderbarerweise ist es gerade die teuerste Klasse der ganz großen Maschinen, wo zum Beispiel eine Firma (IBM) heute bereits 18 identische Maschinen gebaut hat. Bei den kleineren Maschinen ist eine derartige Standardisierung noch nicht zustande gekommen.

Zu der letzten Bemerkung: Die elektrischen Analoga, auf die Sie Bezug nehmen, existieren, einerlei ob das Molekül 1-, 2- oder 3dimensional ist. In der Tat, in jedem dieser Fälle handelt es sich um ein oscillator-artiges klassisch-mechanisches System mit vielen Freiheitsgraden – für dieses sucht man ein Modell und für dieses liefert ein (lineares) elektromagnetisches Netzwerk (mit Widerständen, Induktionen und Kapazitäten) generisch

ein Modell. Ferner kann ich mir wohl denken, daß ein organischer Chemiker, der ganz genau weiß, welche Art von Problemen ihn in den nächsten fünf Jahren beschäftigen werden, ein derartiges Analogiegerät ebensogut (oder vielleicht sogar etwas besser) benutzen kann als eine schnelle Ziffernmaschine. Aber er muß es äußerst genau wissen. Der große Vorteil der Ziffernmaschine ist, daß, wenn man sie sich für ein Problem angeschafft hat und dieses Problem erledigt ist oder sich geändert hat, man sie auch für andere oder für geänderte Probleme benutzen kann. Also: Es ist meistens möglich, bei einem Problem, das man sehr gut verstanden hat und bei dem man sicher ist, daß der Problemtypus jahrelang unverändert und unverändert wichtig bleiben wird, eine auf diesen Problemtypus eigens zugeschnittene Spezialmaschine zu bauen, die wohl eine Analogiemaschine sein mag. Aber die Ziffernmaschinen haben den Vorteil, daß sie einen viel weiteren Problembereich umfassen und daß man sicher sein kann, daß auch dann, wenn sich das Problem ändert, die Maschine nützlich sein wird. Lediglich aus diesem Grunde glaube ich, daß die Ziffernmaschine auch bei diesen Molekularproblemen überlegen ist – obwohl es Spezialsituationen geben mag, die ich hier nicht mit erfaßt habe.

Professor Dr. rer. techn. Alwin Walther

Zum Auflösen von linearen Gleichungssystemen in der Massen-Spektroskopie und in der Infrarot-Spektroskopie gibt es beispielsweise das Analogiegerät CEC 30-103 der Consolidated Engineering Corporation (CEC) in Pasadena/Californien. Es liefert die Unbekannten von maximal 12 Gleichungen mit vierziffrigen Koeffizienten und rechten Seiten nach dem Iterationsverfahren von Gauß-Seidel schnell und bequem durch Potentiometer-Abgleich. Mehrere Mitarbeiter meines Instituts haben sich bei der Badischen Anilin- und Sodafabrik (BASF) in Ludwigshafen für 6 Gleichungen mit 6 Unbekannten von der guten Arbeitsweise überzeugt. Umso erstaunter war ich, von der Herstellerfirma zu erfahren, daß die Produktion als zu speziell eingestellt worden sei.

Vielleicht aber ist diese Tatsache charakteristisch. Man kann verhältnismäßig leicht Analogiegeräte auf Grund elektrischer Netzwerke für 4 oder 5 oder 6 Gleichungen, auch bis zu 12 Gleichungen bauen. Ich bin aber nicht sicher, ob sie sich wirklich lohnen. Denn bei so wenigen Unbekannten kommt auch eine etwas geübte Rechnerin mit der gewöhnlichen, ziffernmäßig arbeitenden Rechenmaschine nach dem modernisierten Gaußschen

Algorithmus leicht und rasch durch. Diese Möglichkeit ist längst nicht bekannt genug und wird von der Praxis nicht entfernt ausgenützt, obwohl der zusätzliche Vorteil besteht, daß gewisse physikalische Schwierigkeiten umfangreicher Analogiegeräte wie Temperaturabhängigkeit von selbst vermieden werden.

Recht aussichtsreich erscheinen mir ziffernmäßige elektronische Rechenautomaten mit dem speziellen Programm des Auflöserns linearer Gleichungssysteme. Zwar ist die Maschine von C. L. Perry für 300 Gleichungen mit 300 Unbekannten im Atomlaboratorium in Oak Ridge, wie er mir soeben auf dem Amsterdamer Internationalen Mathematiker-Kongreß mitteilte, wieder abgebaut worden. Man läßt – genau im Sinne der Ausführungen von Herrn von Neumann – solche großen Probleme lieber von universell verwendbaren Rechenautomaten bearbeiten und ärgert sich nicht mit langen Magnetbändern eines Spezialgerätes herum. Für den Tagesbedarf beispielsweise des Spektroskopikers aber bin ich gespannt, ob nicht ein kleiner Ziffernautomat für etwa 10 oder 20 Gleichungen am besten sein wird. In dieser Richtung liegt beispielsweise die von J. P. Walker jr. in der ausgezeichneten Zeitschrift „Mathematical Tables and other Aids to Computation“ 7 (1953) 190–195 beschriebene Maschine mit Magnet-Trommelspeicher.

Professor Dr. John von Neumann

Ich kenne zufällig zwei Fälle, bei denen man die Geschichte einer bestimmten Spezialmaschinengattung in den Vereinigten Staaten verfolgen kann. Die eine ist eine sehr große Analogiemaschine, die man zur Erforschung von großen elektrischen Starkstromnetzen benutzte. Diese hat man jahrzehntelang benutzt und man war dabei recht erfolgreich. Wenn man aber alle Fragen berücksichtigt, Kosten usw., so ist eine solche Analogiemaschine heute bereits teurer als eine geeignete große Ziffernmaschine, die es bestimmt schneller machen wird und mit weniger Quälerei. Hier hat man daher ein Gebiet, auf dem man in diesem Falle die Analogiemaschine sehr gut durcharbeiten konnte und bei dem man die hohen Kosten nicht scheute. Aber zum Schluß ist es doch sehr schwierig, mit einer Ziffernmaschine zu konkurrieren. Der zweite Fall ist der der Auswertung von Laue-Diagrammen, d. h. von Röntgen-Interferenzdiagrammen zur Kristallstrukturbestimmung. Hier handelt es sich um das Durchführen von Fouriertransformationen (in der Regel von recht vielen). Für diesen Zweck (Fouriertransformation) sind Spezialmaschinen (Analogiemaschinen ver-

schiedener Arten) gebaut worden. Einige sind recht erfolgreich benutzt worden. Trotzdem geht es mit einer großen Ziffernmaschine, sobald zusätzliche Schwierigkeiten (Wärmebewegung, zusätzliche chemische Strukturinformation usw.) hinzukommen, wesentlich besser.

Professor Dr. rer. nat. Heinrich Behnke

Ich glaube, es wäre jetzt an der Zeit, daß wir versuchen, uns einen Überblick über die in Betrieb und im Bau befindlichen großen Rechenautomaten zu verschaffen. Vor 5 Jahren gab es ganz wenige, die schon in Betrieb waren. In Harvard University war der von Aiken konstruierte Automatic Sequence Controlled Computer, dann gab es vor allem in Philadelphia den von Eckert und Mauchley konstruierten wohlbekannten ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), der wegen seiner Leistungen erhebliches Aufsehen erregte. Insgesamt mögen es damals nicht mehr als etwa 5 Maschinen gewesen sein. Inzwischen ist die Zahl wesentlich vergrößert. Und auch auf dem europäischen Kontinent sind die ersten Rechenautomaten in Tätigkeit getreten. So läuft schon längere Zeit in Zürich die sogenannte Zuse-Maschine, die Zuse noch im Kriege im Allgäu konstruiert hatte. Von Herrn Stiefel hörten wir, daß inzwischen in Zürich eine leistungsfähigere gebaut wird. Aber auch bei uns in Westdeutschland sind Maschinen im Bau und zwar in Göttingen, Darmstadt und München. Versuchsmaschinen laufen in Göttingen sogar schon seit längerer Zeit. Wir können also hoffen, daß die deutsche Kapazität an Großrechenanlagen auch stark zunimmt.

Doch gibt es in Deutschland einen Engpaß. Das ist der Mangel an Mathematikern, die auf dem Gebiete des Maschinenrechnens produktiv tätig sind. Die mathematische Forschung hat in Deutschland immer einen besonderen Zug ins Abstrakte gehabt. Das war sogar ihre Stärke. Nun aber benötigen wir plötzlich Forscher, die sich ganz dem Maschinenrechnen zuwenden. Die werden wohl mehr und mehr aus der jüngsten Generation kommen müssen. Das geschieht aber vorläufig nicht von selbst, weil die angewandte Mathematik an der Universität noch viel zu wenig gelehrt wird. Die an Begabung hervorgehobene akademische Jugend wird – soweit ich sehe – nahezu ausschließlich von der reinsten Theorie angezogen und in Stellungen verwandt, die höchstens zusätzlich „die lästige Pflicht“ nach sich ziehen, sich teilweise mit angewandter Mathematik zu beschäftigen. In der Forschung bleibt auch heute noch die „jeunesse dorée“ der reinen Mathematik verbunden.

Wenn wir im Gebiete der Rechengiganten am wissenschaftlichen Fortschritt der Welt beteiligt sein wollen, so muß auch die durch Leistung und Gaben hervorgehobene mathematische Jugend dafür begeistert werden können.

Professor Dr. rer. techn. Alwin Walther

Für die Nationale Rechenzentrale in Rom (Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo) soll in diesen Wochen der Rechenautomat Nr. 4 der englischen Firma Ferranti Ltd. in Manchester geliefert werden. Nr. 5 steht schon in der Shell-Forschungsanstalt in Amsterdam und wird dort nach dem Transport aus England soeben neu zusammengesetzt. Diese Anstalt hat übrigens meines Wissens 800 Mitarbeiter, darunter 300 Akademiker. Sie ist also ein leuchtendes Beispiel dafür, was man für die Forschung tun kann, und bezeugt andererseits, wie sehr sich die Forschung lohnt – denn sonst würde Shell nicht so viel Geld hineinstecken.

Der Ferranti-Rechenautomat ist einer von denjenigen, die bereits kommerziell hergestellt werden. Nr. 1 befindet sich an der Universität Manchester, Nr. 2 an der Universität Toronto. Das Ministry of Supply verfügt über Nr. 3, 6, 7, die Royal Air Force über Nr. 8. Bereits erwähnt wurden Nr. 4 in Rom und Nr. 5 in Amsterdam. Nr. 9 verbleibt vorläufig bei der Herstellerfirma auf Lager und kann dort für etwa 100 000 Pfund, also rund 1,2 Millionen DM erworben werden. Der Ferranti-Rechenautomat hat eine ausgezeichnete Magnettrommel als Hauptspeicher, Williams-Kathodenstrahlröhren als Schnellspeicher und eine technisch ausgereifte lichtelektrische Lochstreifeneingabe, welche die erstaunliche Abtastgeschwindigkeit von 200 Zeilen je Sekunde aufweist. Er ist billig gegenüber dem UNIVAC der Eckert-Mauchley-Corporation in Philadelphia, der etwa 1 Million Dollar kostet und durch seine Verwendung zur Extrapolation der ersten Teilergebnisse bei der letzten amerikanischen Präsidentenwahl bekannt geworden ist.

Professor Dr. John von Neumann

An tatsächlich funktionierenden Maschinen, die in diese Klasse gehören, wird es in den Vereinigten Staaten heute wohl 40 bis 50 geben. Ich würde annehmen, daß vor drei Jahren die Zahl der funktionierenden Maschinen kleiner war, vielleicht vier oder fünf.

Professor Dr. phil. Walter Weizel

Ich würde mich für die Möglichkeit interessieren, empirisches Material in solchen Maschinen mitzuverwerten. Herr Stiefel hat schon gesagt, daß eine empirische Funktion mit eingegeben werden kann. Aber das ist nicht das eigentliche Problem der Eingabe empirischen Materials in eine solche Maschine, denn dabei ist doch bereits vorausgesetzt, daß die eingegebenen empirischen Zahlwerte richtig sind. Das ist aber nicht das Charakteristikum des empirischen Materials, sondern empirisches Material eingeben bedeutet, daß gewisse Zahlwerte oder auch gewisse Funktionen mit einem gewissen Streubereich eingegeben werden. Die Frage ist die: kann man empirische Daten mit gewissen Genauigkeitsgrenzen in die Maschine eingeben, so daß die Maschine auch Rechenschaft von der Genauigkeit gibt, die erzielt wird. Sonst ist das Eingeben empirischen Materials doch problematisch, weil das Material überbewertet wird, wenn die Maschine die eingegebenen Zahlen als völlig korrekt verwertet, während sie in Wirklichkeit gar nicht korrekt sind. Ein zweites Problem scheint mir zu entstehen, wenn sehr viele Zahlen ebenfalls mit einer gewissen Ungenauigkeit eingegeben werden. Da müßte man wohl untersuchen, wie die Maschine mit dem umfangreichen, aber doch in seiner Genauigkeit problematischen Material fertig wird. Es würde mich interessieren, ob man in dieser Hinsicht Untersuchungen angestellt hat.

Professor Dr. John von Neumann

Es liegen hier zwei Probleme vor: 1. wie die Maschine ein umfangreiches Material, das bei seiner Entstehung gar nicht ziffernmäßig ist, perzipiert. Die zweite Frage, die Sie besonders betonten, ist die, was die Maschine mit einem umfangreichen Material anfängt, welches an sich kritisch zu werten (d. h. bekannterweise mit Fehlern behaftet) ist.

Bezüglich des Letzteren kann man folgendes sagen: Es handelt sich bei der Ziffernmaschine um eine logische Maschine. Also kann man alles, was man mit Worten eindeutig ausdrücken kann, auch der Maschine „erklären“ (d. h. in ihrem Code ausdrücken), und sie wird es dann der „Erklärung“ (d. h. den Code-Anweisungen) gemäß treu durchführen. Sie haben bereits in anschaulicher Form angedeutet, welche Behandlung des Zahlenmaterials Sie im Auge haben. Sie hätten das auch in der Form einer Ausgleichsrechnung mit verschiedenen Schmiegungsverfahren und Gewichten usw. beschreiben können. Daraus hätte man einen Code machen können – und das kann die Maschine dann durchführen. Ich möchte hierzu ein Beispiel angeben,

das ich gut kenne, weil meine Mitarbeiter daran gearbeitet haben, da es in einem unserer Probleme vorkam. Wir wollten meteorologische Voraussagen machen. Dies erfordert die Auflösung einer partiellen Differentialgleichung und man behandelt diese zweckmäßigerweise auf einem rechteckigen Gitter. (Dieses Gitter ist natürlich nicht auf der wirklichen gekrümmten Erdoberfläche „rechteckig“, sondern auf einer geeignet gewählten ebenen Projektion – etwa der Polarprojektion.) Nun sind die Stationen, von denen die meteorologischen Berichte einlaufen, nicht gleichmäßig verteilt, ja, ihre Verteilung enthält sogar ein gewisses zeitlich veränderliches, zufallsbedingtes Element. Damit verhält es sich so. In den Vereinigten Staaten gibt es etwa 250 recht unregelmäßig verteilte Stationen, deren jede 3stündig Wetterberichte aus allen Höhenlagen (Radiosondenberichte) geben sollte, von denen aber (wegen der Sichtbarkeitsverhältnisse u. ä.) bei jeder Gelegenheit im Mittel nur etwa 170 berichten (dies ist die zeitlich veränderliche zufallsbedingte Auswahl). Ich nehme an, daß dies in Europa ähnlich ist. Somit entsteht diese Information in einer nicht unmittelbar verwendbaren Form. Dieses numerische Material muß vielmehr auf die Eckpunkte des weiter oben erwähnten standardisierten rechteckigen Gitters übertragen werden. Diese Eckpunkte bilden ein Netz von etwa $20 \times 20 = 400$ Punkten (vgl. weiter oben). Diese müssen aus etwa 170 unregelmäßig verteilten Punkt-Angaben (d. h. wirklichen Beobachtungen, vgl. weiter oben) konstruiert werden. Außerdem weiß man von vornherein, daß alle diese Angaben mit Beobachtungsfehlern behaftet sind und daß meistens etwa zwei oder drei sogar durch Druckfehler (Kommunikationsfehler) verfälscht sind. Man muß daher diese Übertragung (von den 170 Ursprungspunkten zu den 400 definitiven Gitterpunkten) durch eine zweckmäßige Kombination von Ausgleichs- und Schmiegungs-Verfahren mit geeigneten Gewichten durchführen. (Verschiedene Stationen haben verschiedene Beobachtungsfehlerniveaus, Windbeobachtungen – die auf Grund des geostrophischen Prinzips den Druckgradienten bestimmen – sind weniger zuverlässig – mehr durch lokale Turbulenz gestört – als Druckbeobachtungen usw.). Man mag auch nachher diejenigen Beobachtungen, deren Ausgleichungsfehler eine gewisse erfahrungsbestimmte „Maximaltoleranz“ überschreiten, als „druckfehlerverdächtig“ ausschließen, d. h. die ganze Ausgleichsrechnung dann ohne sie wiederholen u. ä. Wir haben derartige Verfahren auf unsere Maschine übertragen. Unser erstes Verfahren beansprucht etwa 30 Minuten Rechenzeit per Höhenlage, aber es ließe sich bestimmt noch bedeutend beschleunigen.

Übrigens werden gegenwärtig die Radiosondenbeobachtungen von Menschen abgelesen, durchtelegraphiert und bei der Rechenanlage wieder von Menschen in Lochkarten gestanzt. Auch diese Zeitverluste sind behebbar. Die elektrischen Radiosondenmeldungen sollten automatisch in einen Morse-Code übertragen werden, dieser automatisch von jeder Beobachtungsstation zur zentralen Rechenstelle durchtelegraphiert werden und dort automatisch (über den Weg von Lochkarten oder auch direkt) in die Maschine gefüttert werden.

Professor Dr. rer. techn. Atwin Walther

Die Schwingungen organischer Moleküle hängen zusammen mit der Fouriersynthese in der Kristallstrukturforschung. Dieses Problem ist ein wunderbares Beispiel für das Zusammenwirken von numerischen und analytischen Verfahren in der Mathematik. Bekanntlich ist bei der Fouriersynthese die Masse der Rechnungen sogar für moderne elektronische Rechenautomaten schwer zu bewältigen. Das trifft aber nur zu, wenn man rein numerisch arbeitet. In den letzten Jahren ist man in einem Triumph des Geistes über die Maschine dazu übergegangen, die Koeffizienten nur bis zu einer gewissen nicht allzu hohen Grenze unmittelbar zu berücksichtigen. Darüber hinaus schätzt man ihren Einfluß analytisch ab durch eine von Ewald wieder entdeckte Gaußsche Transformation, die bisher nur in der Zahlentheorie und Reihenlehre eine Rolle spielte. So vermindert sich die Zahlenrechnung auf ein tragbares Maß. Auf diesem Wege kann wahrscheinlich auch die Frage von Herrn Dr. Kaiser nach den Schwingungen organischer Moleküle in absehbarer Zeit behandelt werden.

Zur Frage meines Freundes Behnke nach Rechenautomatenlisten bemerke ich, daß mein Institut eine solche Liste auf Grund einer großen internationalen Umfrage nach dem Stand vom Winter 1952/53 hergestellt und vervielfältigt hat. Vom Office of Naval Research der amerikanischen Marine in Washington rührt ein für 2 Dollar käufliches Übersichtsheft „A Survey of Automatic Digital Computers“ von 1953 her. Mit 6 Seiten Einleitung, 98 Seiten für je einen Rechenautomaten und 11 Seiten Register läßt es eindrucksvoll erkennen, wie viele Rechenautomaten schon vorhanden sind und welche stürmische Entwicklung auf diesem Gebiete herrscht.

Zur Ausbildung darf ich folgendes berichten. An der Technischen Hochschule Darmstadt haben wir regelmäßige Vorlesungen über Mathematik und Technik der Rechenautomaten. So hielt mein Oberingenieur Dr.-Ing. H.-J. Dreyer im Sommersemester 1954 eine Vorlesung über Lochkarten-

maschinen mit Praktikum an unserer Lochkartenanlage. Im kommenden Wintersemester 1954/55 wird er die Anwendung ziffernmäßiger elektronischer Rechenautomaten behandeln. Ich empfinde es als äußerst dringlich, daß Mathematiker und Elektrotechniker in dieses neue Gebiet eingeführt werden. Dabei sind die technischen Möglichkeiten, Vorgehensweisen und Grenzen auseinanderzusetzen. Die mathematischen Verfahren müssen den Gegebenheiten des Rechenautomaten angepaßt oder neu dafür ausgearbeitet werden. Schließlich kommt es darauf an, die Programmierung zu leisten und in den Rahmen allgemeiner mathematisch-logischer Fragen einzugliedern. Glücklicherweise wacht Deutschland im Hinblick auf die Rechenautomaten-Entwicklung neuerdings stark auf. Diese Entwicklung ist neben der Atomzertrümmerung wohl die wichtigste unserer Zeit. Materiell leitet sie für das Rechnen hinsichtlich Quantität und Schnelligkeit die Epoche des Fabrikbetriebs ein und bahnt weitere Automatisierungen an. Ideell eröffnet sie der Mathematik neue Perspektiven, realisiert in bemerkenswerter Weise logische Operationen und liefert primitive Modelle für Gehirn und Nervensystem.

Zur Frage von Herrn Weizel über die Verarbeitung empirischen Materials hebe ich hervor, daß bekanntlich die unmittelbare Eingabe empirischer, durch Kurven dargestellter Zusammenhänge ein besonderer Vorteil der stetig arbeitenden Integrieranlagen ist. Aber auch in ziffernmäßig arbeitende Rechenautomaten kann man empirische Zusammenhänge eingeben, und zwar in Tabellenform, beispielsweise durch Lochkarten. Ein noch schöneres Beispiel bietet sich bei den Schwingtischen und bei den Steuerungsgeräten für Raketen dar. An einen Schwingtisch kann unmittelbar ein Analogiegerät (Simulator) oder ein Rechenautomat angeschlossen werden, der die vom Schwingtisch gelieferten Daten übernimmt und weiterverarbeitet. Die Rechnung läuft dann unmittelbar so ab, wie die Natur selbst es verlangt, ohne daß die empirischen Befunde erst in die Zwangsjacke einer Näherungsformel hineingepreßt werden mußten. In diesem Zusammenhang verdient die Wichtigkeit der ZK-Wandler, d. h. der Geräte zur Umsetzung von Zahlen- in Kurvenform (digital to analog converters), und der umgekehrten Geräte hervorgehoben zu werden.

Professor Dr. phil. Ernst Peschl

Mir scheint es wichtig zu sein, das Problem der Dokumentation kurz aufzugreifen. Es ist schon schwierig, jeweils den augenblicklichen Stand der Anzahl von vorhandenen verschiedenen Typen von Rechenanlagen in den

verschiedenen Ländern zu kennen. Aber noch viel schwieriger ist es, das erarbeitete Material, soweit es nicht geheim zu sein braucht, auszutauschen und an dieses heranzukommen, um Doppelarbeit zu vermeiden. Das scheint mit einer sehr wichtigen Aufgabe zu sein. Denn um jede große Rechanlage gruppiert sich doch ein größerer Rechenstab. Es ist nicht mehr so, daß alle diese Anlagen unbedingt im Bereich der Hochschulen stehen, und auch nicht mehr so, daß alle diese Veröffentlichungen im Rahmen der üblichen wissenschaftlichen Zeitschriften erscheinen. Viele wichtige Resultate werden vielleicht in irgendeinem Institut oder in der Industrie erarbeitet, die den anderen Rechenzentren entweder gar nicht oder erst nach sehr langer Zeit bekannt werden. Ich glaube, daß es eine wichtige organisatorische Aufgabe wäre, die eigentlich der Internationalen Mathematischen Union zufallen müßte, hier einen Austausch zu organisieren, und zwar scheint mir diese Aufgabe noch wichtiger zu sein als etwa die Errichtung eines internationalen Rechenzentrums.

Es gibt bei jedem Rechenzentrum 1. gewisse Aufgaben, die – vielleicht von besonderen Anlässen und Fragen des praktischen Lebens ausgehend – wichtige mathematische Probleme behandeln, ohne geheim zu sein, sodann 2. andere Aufgaben, die nicht für die Öffentlichkeit bestimmt sind, sei es, daß deren Geheimhaltung im öffentlichen Interesse des betreffenden Landes oder im privaten industriellen Interesse liegt. Bei der Bearbeitung solcher Probleme fallen aber ebenfalls oft Hilfsprobleme an, die rein mathematischer Natur sind und deren Behandlung und Lösung sehr wohl im Interesse aller Rechenzentren verdient, bekanntgemacht zu werden. Und schließlich gibt es 3. noch gewisse große „Füllaufgaben“, die immer weiterlaufen werden, die sinnvolle Ergänzungen geben als fortwährend benötigtes Hilfsmaterial für die laufenden Arbeiten. Manche dieser so erarbeiteten wertvollen mathematischen Ergebnisse, Rechenerfahrungen, Tabellen und sonstigen Materialien werden wegen des Umfangs nicht in die üblichen Zeitschriften aufgenommen werden können, sondern oft nur in kleiner Auflage und meist nur zum „Hausgebrauch“ vervielfältigt werden. Dieses umfassende wissenschaftliche Material gegenseitig auszutauschen und den Austausch zu organisieren, erscheint mir im Interesse aller Rechenzentren sehr erwünscht zu sein. Es ist im Augenblick schon sehr schwierig, eine bibliographische Übersicht über alle Schriftenreihen zu geben, die von den (öffentlichen und privaten) Rechenzentren aller Länder herausgegeben werden. Aber außerdem fällt sicherlich in der Industrie und in anderen Forschungszentren (auch solchen der Rüstungsforschung) außerhalb des

Rahmens der allgemein zugänglichen Schriften wertvolles Material an, das bei vernünftiger Abgrenzung keineswegs geheimgehalten zu werden braucht und dessen Austausch vermutlich allen beteiligten wissenschaftlichen Instituten von erheblichem Nutzen wäre.

Professor Dr. phil. Heinrich Kaiser

Man sollte einmal die Frage stellen, ob es wirtschaftlich sinnvoll ist, wenn an verschiedenen Stellen die ganze Entwicklung solcher Maschinen von Anfang an wiederholt wird. Was bei diesen hochgezüchteten technischen Geräten das meiste Geld kostet, ist die Überwindung der vielen technischen Kinderkrankheiten. Wenn solche Maschinen auf dem Markt zu haben sind, sollte man sie zunächst einmal kaufen. Das ist billiger: in der Großserie werden die Krankenhauskosten für die Kinderkrankheiten aufgeteilt. Man muß natürlich daran denken, daß wir die amerikanischen Geräte wegen des hohen amerikanischen Lebensstandards etwa um den Faktor 2 zu hoch bezahlen, so daß aus diesem Grunde eine europäische Entwicklung wohl sinnvoll ist. Abgesehen davon sollte man nur dann neu entwickeln, wenn man wichtige neue Ideen hat. Für bloße Autarkiebestrebungen ist die Welt zu klein geworden. Eine ähnliche Situation haben wir auf dem Gebiet der automatisch registrierenden Spektralapparate gehabt. Die deutschen Firmen haben sich entschlossen, vorerst kaum zu entwickeln, sondern die Benutzer auf die ausländischen Geräte hinzuweisen, weil bei uns die wirtschaftliche Kraft nicht ausreicht, um die enorm hohen Kosten zu tragen.

Professor Dr. John von Neumann

Im Zusammenhang mit der Bemerkung von Herrn Professor Peschl möchte ich noch sagen: Ich bin ganz Ihrer Ansicht, daß irgendeine internationale Organisation dies tun sollte. Irgendeine der zwei internationalen Unionen für Mathematik und für angewandte Mathematik und Mechanik könnte dies besorgen. Ich glaube, es wäre sehr erwünscht, wenn man es im Zusammenhang mit der Einrichtung des internationalen Rechenzentrums in Rom erreichen könnte, daß diese Aufgabe mit übernommen wird. Aber solange das nicht geschieht, sollte man es auf nationaler Grundlage machen, das wäre auch besser, als wenn garnichts geschieht. Wenn ich es richtig verstanden habe, wird dies in Deutschland jetzt eingeleitet. In den Vereinigten Staaten gibt es zwei Unternehmungen, die Teile hiervon besorgen, zunächst die Nachweise der amerikanischen Marine, auf die Herr Kollege Walther

hingewiesen hat, die sich aber mehr auf Maschinen und Charakteristika von Maschinen beziehen, nicht auf Probleme. Es gibt auch eine ältere Zeitschrift, die aus der Vormaschinenära stammt, die aber zu diesem Zweck reorganisiert wurde, die heißt „Mathematical Tables and other Aides to Computing“ (MTAC), die sich bemüht, eine möglichst vollständige Bibliographie zu publizieren. Ich weiß nicht, ob dieselbe wirklich vollständig ist, aber sie ist jedenfalls recht nützlich.

Professor Dr. rer. nat. Hans Petersson

Ich würde mich für ein Problem rein mathematischer Art interessieren. Wir haben gehört, daß sich gezeigt hat, daß gewisse Näherungsverfahren, die man in der angewandten Mathematik in der Zeit vor den Maschinen angewendet hat, sich bei den neueren Maschinen nicht so sehr bewährt haben. Es ist da eine Umstellung eingetreten hinsichtlich der angewendeten Methoden. Das erste, was ich wissen möchte, ist, ob sich dabei völlig neue Methoden eingestellt haben, die auch theoretisch neu und von Interesse sind, und sodann, ob man bei diesen oder bei alten Methoden infolge von Erfahrungen nähere Aufschlüsse über die Güte der Konvergenz erhalten hat, als man sie bisher kannte.

Professor Dr. John von Neumann

Mit manuellen oder quasimanuellen Methoden ist Arithmetik sehr teuer und Speichern sehr billig. Mit Maschinenmethoden ist es gerade umgekehrt. Das ist eine Verschiebung der Akzente, die notwendigerweise eine Reihe von Methoden geändert hat. So wird man z. B., wenn man die Eigenwerte einer Matrix ausrechnen will und keine Maschine benutzt, kaum die Jakobische Methode (der wiederholten ebenen Drehungen) benutzen. Mit einer Maschine scheint diese aber bei weitem die beste Methode zu sein. So liegt hier eine typische radikale Änderung der Methodik vor. Ein anderes Beispiel ist dieses: Es gibt jetzt mehr und mehr statistische Methoden, die man für die Lösung von exakten Problemen benutzen kann. Ich kenne mehrere Fälle, wo man durch massenhaftes Produzieren von Beispielen auf statistische Weise sehr schwierige analytische Probleme gelöst hat. So verhält es sich z. B. bei gewissen Rechnungen über die Höhenstrahlung, wo es klar ist, daß man statistische Rechenexperimente machen muß, da es rein analytisch viel zu schwierig ist. Es gibt auch andere gleich wichtige Beispiele. Alle diese sind Methoden, die man ohne Maschinen kaum herangezogen hätte.

Professor Dr. rer. techn. Robert Sauer

Ich wollte kurz auf die Anregung von Herrn Kollegen Peschl zurückkommen. In Deutschland haben wir schon einen Informationsdienst im Bereich der Rechenanlagen, der gut funktioniert. Es kommt monatlich einmal am Institut für Praktische Mathematik der TH Darmstadt (Professor Walther) ein Mitteilungsblatt heraus im Auftrage der Deutschen Forschungsgemeinschaft und im Zusammenwirken mit dem VDI. Diese monatlichen Mitteilungen enthalten, glaube ich, etwa 200 bis 250 Literaturangaben. Das ist schon ein sehr nützlicher Anfang in dieser Hinsicht.

Professor Dr. rer. techn. Alwin Walther

Die von meinem Darmstädter Institut im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft seit Januar 1954 herausgegebene Titelliste über Rechenanlagen wird einstweilen vervielfältigt hergestellt und ist in dieser Form beziehbar. Vielleicht wird der Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) sie zum Druck übernehmen und dadurch allgemein zugänglich machen. Monatlich bringt sie etwa 200 bis 250 Titel und läßt den riesig anwachsenden Umfang des Gebietes und der literarischen Produktion auf ihm erkennen.

Professor Dr. John von Neumann

Mein Eindruck ist, daß man besser daran sein wird, wenn man nicht allzulange auf immer weitere Verbesserungen wartet – die Technologie ist viel zu neu, „Vollkommenheit“ und selbst eine einigermaßen stabile Ausbildung von Standard-Typen ist noch recht weit in der Zukunft. Wenn man auf die „Stabilisierung der Typen“ warten will, so wird man noch viele Jahre lang nicht rechnen können. Bisher war es noch mit jeder neuen Maschine so, daß man, wenn sie fertig war, bereits wußte, daß man sie eigentlich anders hätte bauen sollen. Trotzdem war sie nützlich und hatte in der Regel 5 bis 6 Jahre Produktivität vor sich, d. h. sie stellte ein Wertobjekt dar, bei dem es sich ein halbes Jahrzehnt lang lohnt, es zu benutzen. Aber man muß sich damit abfinden, daß man nicht den vollkommenen Typ und nicht einmal einen stabilen Typ bekommt. Schließlich ist das garnicht so schlimm, es ist in der Technologie einmal so.

Staatssekretär Professor Leo Brandt

Das ist sogar bei so teuren Gegenständen wie Flugzeugen der Fall. Anlässlich eines Besuches in Farnborough konnten wir feststellen, daß die Flugzeugserien stets nur sehr klein sein können. Bei Beginn einer Produktion kann man nämlich bereits übersehen, daß bei einer neuen Serie wieder erhebliche Änderungen berücksichtigt werden müssen. Man kann aber die Produktion deswegen nicht unterbrechen.

Professor Dr. rer. nat. Emanuel Sperner

Die vorhin geäußerte Ansicht, daß eigene deutsche Entwicklungen auf dem Gebiete der programmgesteuerten elektronischen Rechenmaschinen unzuverlässig seien, hält genauerer Überlegung nicht stand. Aus verschiedenen Gründen ist es notwendig, daß die deutsche Wissenschaft und Technik auch auf diesem Gebiete wieder den Anschluß findet. Die Entwicklung ist ja auch in Amerika und England noch ganz im Fluß und keineswegs abgeschlossen. Ganz von vorn anzufangen, ist garnicht nötig. Die deutschen Entwicklungen standen m. W. von Anfang an mit amerikanischen und englischen Stellen im Erfahrungsaustausch und sind dank deren Unterstützung und eigener intensiver Arbeit gut vorangekommen. Es liegen selbständig gemachte Erfahrungen vor, die durchaus brauchbar für die Weiterentwicklung sind.

Professor Dr. math. Eduard Stiefel

Es mag vielleicht interessant sein zu erfahren, warum wir uns zum Bau und nicht zum Ankauf einer Maschine entschlossen haben. Neben anderen Gründen sind vielleicht die beiden folgenden erwähnenswert:

1. Man kennt eine Maschine, die man später betreiben muß, am besten, wenn man sie selbst gebaut hat.
2. Die Industrie hat erklärt: Wir unterstützen wohl den Bau eines Rechenautomaten finanziell, aber nicht den Ankauf, weil wir daran interessiert sind, daß auch in der Schweiz die Technik der Speicherung von Informationen wegen ihrer Bedeutung zum Beispiel für Fernsprechkentralen entwickelt wird.

Professor Dr. rer. nat. Emanuel Sperner

Im Zusammenhang mit den Entwicklungen möchte ich noch ein Problem anschnitten. Soweit ich weiß, ist auf dem Prinzip des Fernsehens ein neuartiger Speicher entwickelt worden. Liegen darüber bereits Erfahrungen vor?

Professor Dr. John von Neumann

Der Speicher, den man beim Fernsehen hat, ist ein elektrostatischer Speicher. Mehrere Typen von elektrostatischen Speichern sind versucht und teilweise auch benutzt worden. Der Speicher von F. C. Williams ist wahrscheinlich der, der in dieser Beziehung am erfolgreichsten war. Ich weiß nicht, welches System Sie im Sinne haben? (Zuruf: Williams!) Das Williams'sche System ist sehr erfolgreich gewesen, es ist, solange die Ferritspeicher nicht wirklich in Betrieb kommen, das schnellste der existierenden Speichersysteme. Es hat seine Fehler, aber man kann damit leben und viele Maschinen benutzen es heute. Eine Maschine, die wir gebaut haben, hat einen Williams-Speicher. Die Williams-Speicher kommen auch vor in den Ferranti'schen Maschinen, weiter in etwa fünf Maschinen in Amerika, in einer Serie von 18 Maschinen der International Business Machine Company, der sogenannten „701“-Serie. Die NORC-Maschine, die ich weiter oben erwähnte, hat auch einen Williams-Speicher. Wahrscheinlich gibt es noch einige weitere Maschinen, die ihn benutzen. Also: Die Williams-Speicher sind in ziemlich ausgedehntem Gebrauch. Übrigens war für mich sehr interessant, daß, wenn ich es richtig verstanden habe, die Entwicklung in Deutschland den elektrostatischen Speicher überspringen wird, d. h. vom magnetischen Trommelspeicher direkt zum Ferritspeicher gehen wird. Das beweist, daß man nicht notwendigerweise immer und überall durch dieselben Zwischenstufen gehen muß.

Staatssekretär Professor Leo Brandt

Würden Sie noch einige Ausführungen über die mathematische Behandlung meteorologischer Probleme machen?

Professor Dr. John von Neumann

In der mathematischen Behandlung der Meteorologie gibt es mindestens zwei Methoden, mit denen man das Problem angehen kann. Die eine beruht auf sehr genauen statistischen Analysen der Vergangenheit und zielt darauf hin, die aus diesen abgeleiteten Korrelationen auf die Zukunft anzuwenden. Die einfachste Ausdrucksweise ist die, daß man sich aus den letzten 50 Jahren diejenige Wetterkarte aussucht, die der von heute am ähnlichsten ist, und dann diejenige des nächsten Tages für morgen prognostiziert. Das ist eine statistische und nicht kausal-mechanistische Unter-

suchung der Frage. Bei der anderen Methode geht man dynamisch vor. Die Atmosphäre ist ja schließlich und endlich eine Flüssigkeit, und man kann ausrechnen, was sie tun wird, und das in ziemlicher Unabhängigkeit davon, was man über die letzten 50 Jahre weiß. Wir haben die letztgenannte Methode ausgearbeitet. Es gibt mehrere Meteorologen, die in dieser Richtung arbeiten.

Professor Dr. rer. techn. Alwin Walther ergänzte die beiden Vorträge noch durch Vorführung von Modellen zu den Grundlagen des elektronischen Rechnens, wie sie in seinem Aufsatz „Probleme im Wechselspiel von Mathematik und Technik“ in der Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure Bd. 96 (1954) Nr. 5, Seite 127–149 beschrieben sind.