68. Jahrgang Nachdruck von Bild oder Text nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet **Nr. 33**

Elektronische Rechenautomaten

DK 518.5 : 621.38

Von AMBROS P. SPEISER, Dipl. El.-Ing., wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Angewandte Mathematik der ETH

Seit Kriegsende tauchen immer wieder Nachrichten auf, die über «denkende Maschinen», «Robots», «mechanical brains» und dergleichen berichten; solche Notizen begegnen im Publikum jeweilen lebhaftem Interesse und werden rege diskutiert, obwohl man über den eigentlichen Zweck solcher Wunderwerke oft nur wenig erfährt und über ihre Arbeitsweise völlig im Unklaren gelassen wird.

Im vorliegenden Aufsatz sollen die Wirkungsweise und das Anwendungsgebiet einer elektronischen Rechenmaschine erklärt und insbesondere ihre Grenzen umschrieben werden. Zunächst wird an Hand von Beispielen der Bereich der Anwendungen erläutert, alsdann wird die Wirkungsweise in mathematisch-logischer Hinsicht dargelegt und schliesslich folgen einige knappe Angaben über die technischen Einzelheiten.

Der Leser sei gleich zu Anfang darauf aufmerksam gemacht, dass, entgegen der allgemein verbreiteten Ansicht, ein gut durchdachter Rechenautomat in seinem prinzipiellen Aufbau nicht kompliziert ist. Er besteht aus fünf Hauptteilen, deren Bedeutung nachstehend beschrieben ist; diese Hauptteile sind ihrerseits aus elementaren Zellen aufgebaut, die nur eine bis zwei Elektronenröhren nebst einigen Widerständen und Kondensatoren enthalten. Es ist lediglich die hohe Anzahl der in einer Maschine erforderlichen Zellen dieser Art, die das Gerät doch zu einem umfangreichen und komplexen Gebilde machen, das im Einzelnen oft recht schwer zu überblicken ist.

I. Der Anwendungsbereich

Elektronische Rechenautomaten werden überall dort mit Vorteil angewendet, wo unter Verwendung von verhältnismässig wenig Ausgangs-Zahlenwerten viele numerische Rechenoperationen auszuführen sind. Ein typisches Beispiel ist die Berechnung der Flugbahn eines Geschosses. Demgegenüber ist die Addition einer langen Zahlenkolonne (etwa in einer Buchhaltung) ein für eine elektronische Rechenmaschine ungeeignetes Problem. Der Grund dazu wird sogleich klar, wenn man sich vergegenwärtigt, dass eine solche Maschine zur Addition zweier Zahlen beispielsweise $^1/_{1000}$ Sekunde oder weniger benötigt. Zum Eingeben einer mehrstelligen Zahl mittels einer Tastatur sind aber mehrere Sekunden erforderlich. Bei der Addition einer Zahlenreihe wäre also die Maschine nur während eines verschwindenden Bruchteils der Zeit überhaupt beschäftigt und dementsprechend schlecht ausgenützt.

Nachstehend sind nun aus einigen Gebieten der Forschung und Industrie typische Beispiele von Problemen aufgeführt, die sich zur Behandlung mit Rechenautomaten eignen. Es kann sich hier selbstverständlich nur um eine ganz kleine Auswahl aus der grossen Zahl von Anwendungen handeln. Diese Probleme zerfallen im wesentlichen in zwei Kategorien, nämlich erstens solche Aufgaben, die schon heute unter Zuhilfenahme konventioneller Rechenhilfsmittel wie Rechenschieber oder Bureau-Rechenmaschine immer wieder gelöst werden müssen, wobei aber der Arbeitsaufwand durch Verwendung eines schnellen Rechenautomaten stark reduziert werden könnte, und zweitens Probleme, die wegen des riesigen Zeitaufwandes, den sie zur Folge hätten, überhaupt noch nicht in Angriff genommen worden sind. Diese zweite Kategorie ist selbstverständlich nun, da die Existenz und die Arbeitsweise von Rechenautomaten weiteren Kreisen bekannt wird, in rapider Erweiterung begriffen. In der Tat ist es möglich, mit einem solchen Automaten Probleme, an denen eine Gruppe von Kalkulatoren jahrelang zu arbeiten hätte, in wenigen Tagen zu bewältigen. Es ist klar, dass man in den meisten Fällen auf die Behandlung einer solchen Aufgabe wird verzichten müssen, falls kein Rechenautomat zur Verfügung steht.

Als Anwendungs-Beispiele seien genannt:

a) *Statik:* Bei der Berechnung der Festigkeit von Brücken, Gebäudekonstruktionen u. dgl. ergibt sich oft die Notwendigkeit, simultane Gleichungen mit mehreren Unbekannten aufzulösen; es sind die statisch unbestimmten Fälle, die auf solche Aufgaben führen. Die konventionellen Methoden zur Behandlung derartiger Probleme sind in ihrer Leistungsfähigkeit beschränkt, wodurch man oft gezwungen wird, stark vereinfachende Annahmen zu treffen. Mit modernen Rechenautomaten ist es nun möglich, bis zu 50 oder gar 100 simultane Gleichungen mit ebensovielen Unbekannten innert nützlicher Zeit zu lösen.

b) *Dynamik:* Gegeben sei ein aufgespanntes Seil, etwa eine elektrische Hochspannungs-Freileitung. Dieses Seil sei mit einem homogenen Belag von Eis oder Schnee überzogen. Zu einer gegebenen Zeit t_0 falle entlang einer gewissen Strecke dieser Belag ab. Das Seil wird nun in Schwingungen geraten. Die Aufgabe ist, die Formen, die das Seil zu verschiedenen Zeitpunkten t_1, t_2, ... annimmt, zu berechnen und als Kurven oder Tabellen festzuhalten. Ferner soll festgestellt werden, ob die Zerreissfestigkeit des Seils überschritten wird, und, gegebenenfalls, wann und an welcher Stelle dies eintritt.

c) *Aerodynamik:* Zu berechnen ist die Flugbahn eines Geschosses.

Dieses Problem hat die Mathematiker schon seit mehr als zwei Jahrhunderten intensiv beschäftigt. Noch heute benötigen die Armeen aller Länder grosse Bureaux von Rechnern, die durch schrittweise Integration auf numerischem Wege die Geschossflugbahnen ermitteln. In der Tat ist es gerade dieses Problem, das wegen seiner Dringlichkeit in Amerika den Anstoss zur Konstruktion des ersten elektronischen Rechenautomaten gab; dieser trägt den Namen ENIAC und wurde 1945 an der Moore School of Engineering, University of Pennsylvania, Philadelphia, fertiggestellt, und ist in der Lage, eine Flugbahn, zu deren Durchlaufen ein Geschoss 60 s benötigt, in 30 s zu berechnen. Die Rechnung eilt also gewissermassen dem Flug des Geschosses voraus.

Geschossflugbahnen führen in ihrer Berechnung auf gewöhnliche Differentialgleichungen; diese lassen sich am besten von allen Problemen für die Berechnung auf einem Automaten einrichten, und selbst ein verhältnismässig bescheidenes Gerät wird bereits enorme Zeitersparnisse ermöglichen.

d) *Elektrotechnik:* Gegeben sei ein elektrischer Schwingkreis, der durch ein nichtlineares Glied, etwa einen Gleichrichter, belastet ist, wie dies Bild 1 veranschaulicht. Der Gleichrichter habe dabei eine allgemeine, krummlinige Charakteristik, die in Form einer Kurve oder einer Zahlentabelle bekannt ist. Dieser Kreis wird, wenn er angeregt ist, eine gedämpfte, nicht sinusförmige Schwingung ausführen. Gesucht ist: 1. der Verlauf des Stromes als Funktion der Zeit, wenn die Anfangsbedingungen gegeben sind und 2. der Strom nach einer bestimmten Zeit T als Funktion der Anfangsbedingungen.

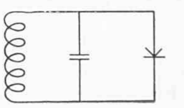

Bild 1. Schwingkreis, belastet durch ein nicht lineares Element

Dieses Problem führt wieder auf eine gewöhnliche Differentialgleichung und eignet sich in idealer Weise zur Behandlung mit einem Rechenautomaten.

e) *Astronomie:* Astronomische Aufgaben gehören zu den ältesten Problemen der angewandten Mathematik, und die Mathematiker aller Zeiten haben einen nicht unbeträchtlichen Teil ihrer Arbeitszeit auf die Berechnung beispielsweise der Planeten- und Mondbahnen verwendet. Die Tatsache, dass ein Planet in seiner Bahn im allgemeinen durch alle übrigen Planeten beeinflusst wird, macht diese Kalkulationen äusserst verwickelt und zeitraubend. Ein Rechenautomat wird hier wiederum eine bedeutende Zeitersparnis bringen und wird es gleichzeitig ermöglichen, dass die Rechnungen weit genauer, d. h. unter besserer Berücksichtigung aller Störungen, ausgeführt werden können.

f) *Mathematik:* Schliesslich sei die bedeutende Aufgabe der Tabellierung mathematischer Funktionen erwähnt. Die Erfordernisse des Krieges machten es nötig, innert kürzester Frist mathematische Tabellen von grossem Umfang anzufertigen. So wurde in den letzten Jahren auf einem Rechenautomaten ein Tabellenwerk der Besselfunktionen der Ordnungen 0 bis 85 berechnet, teilweise bis auf eine Genauigkeit von 18 Stellen nach dem Komma, und in zwölf Bänden publiziert. Für eine Berechnung auf herkömmliche Weise wäre ein Vielfaches der aufgewendeten menschlichen Arbeitszeit nötig gewesen.

II. Analogiegeräte und numerische Geräte

Es gibt zwei prinzipiell verschiedene Klassen von Rechenautomaten. In die erste Gruppe fallen die sogenannten Analogiegeräte. Dies sind Rechengeräte, in denen die Zahlenwerte mit physikalischen Grössen, wie z. B. Längen, Drehwinkel, Stromstärken, in Beziehung gesetzt werden. Das Ablesen der Resultate ist dann eine *Messung*. Ein typisches Analogiegerät ist der Rechenschieber, bei dem die zu berechnenden Grössen in Gestalt von Längen verarbeitet werden. Ein weiteres Analogiegerät ist ein kWh-Zähler, der bekanntlich Strom und Spannung multipliziert und das Produkt über die Zeit integriert. Dort erscheint das Resultat in Form eines Drehwinkels. In die selbe Klasse gehört der Geschwindigkeitsmesser, der einen Drehwinkel nach der Zeit differenziert und in Form eines andern Drehwinkels angibt.

Diese Geräte machen sich meist gewisse physikalische Gesetze zunutze, um entsprechende Rechenoperationen auszuführen. Beispielsweise kann unter Beiziehung des Ohmschen Gesetzes

$$\frac{E}{R} = J$$

eine Division ausgeführt werden; der zugehörige Apparat ist in Bild 2 skizziert. E ist eine konstante Spannung; am Messinstrument kann nun der Strom J abgelesen werden, der den reziproken Wert des Widerstandes darstellt (nach Multiplikation mit einer Konstanten).

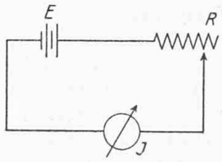

Bild 2. Analogie-Gerät zur Ausführung einer Division

Allen diesen Instrumenten ist die Eigenschaft gemeinsam, dass sie für einen ganz speziellen Zweck gebaut sind und nur für diesen verwendet werden können; ferner, dass ihre Genauigkeit nur mit grossem Aufwand über ein bestimmtes Mass erhöht werden kann. Ein Rechenschieber z. B. gibt drei- oder vierstellige Resultate, und es bedürfte ausserordentlicher Massnahmen, seine Genauigkeit auch nur um eine einzige Stelle zu erhöhen. Auch ist diese Genauigkeit Schwankungen unterworfen und wird durch nachteilige Einflüsse, wie etwa unrichtige Temperatur, verschlechtert. — Analogiegeräte sind im allgemeinen billig und einfach, und sie führen oft mit elementaren Mitteln komplizierte Rechenoperationen durch.

Ihnen gegenüber stehen die numerischen (digitalen) Geräte, welche die eingegebenen Zahlen als Zahlen weiterverarbeiten, unter Berücksichtigung der Rechenregeln, nach denen jedermann Addition, Multiplikation usw. auszuführen gewohnt ist. Einfache und anschauliche digitale Geräte sind der Zählrahmen sowie die Registrierkasse im Kaufladen, die automatisch addiert. Wir können hier nicht von einer «Genauigkeit» im oben verwendeten Sinne sprechen. Die Genauigkeit einer Registrierkasse ist eine absolute, d. h. wenn wir zwei Zahlen addieren, so erhalten wir das richtige Resultat und nicht den kleinsten Bruchteil mehr oder weniger. Bei unsachgemässer Behandlung oder Lagerung kann keine allmähliche Reduktion der Genauigkeit eintreten (es sei denn, dass ein wirklicher Defekt entsteht, wonach die berechneten Resultate einfach als falsch erkannt werden). Weiterhin ist ersichtlich, dass die Genauigkeit durch Zufügen weiterer Stellen mit Leichtigkeit beliebig erhöht werden kann; die Erhöhung des Materialaufwandes ist dabei nur bescheiden.

Die vorliegende Abhandlung wird sich nur mit digitalen Maschinen befassen. Diese weisen den Vorteil einer universellen Verwendbarkeit und Anpassungsfähigkeit auf; die grossen Entwicklungen der letzten Jahre sind hauptsächlich auf ihrem Gebiete erfolgt. Dies soll nicht heissen, dass die Analogie-Geräte an Bedeutung verloren hätten; gewisse Geräte dieser Art, wie etwa Integrieranlagen oder artilleristische Feuerleitgeräte, werden ständig weiter entwickelt und haben eine hohe Bedeutung erlangt.

III. Eigenschaften digitaler Rechenautomaten

Bild 3 zeigt einen typischen Rechenautomaten dieser Klasse. Er enthält 12500 Elektronenröhren, 20000 elektromagnetische Relais, sowie eine grössere Anzahl Locher und Abtaster für Lochstreifen und Lochkarten. Trotz seines komplexen Aufbaues gibt es nur einen einzigen wesentlichen

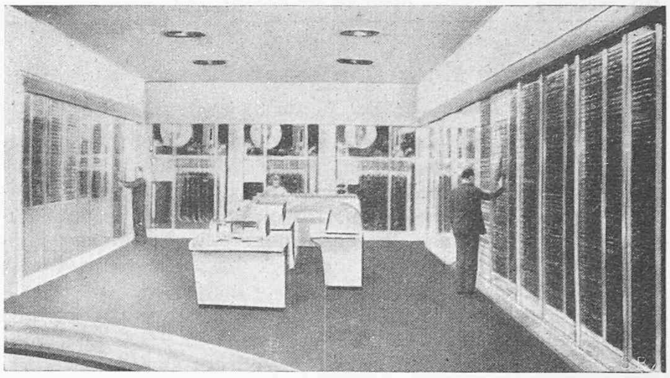

Bild 3. Selective Sequence Electronic Calculator der International Business Machines Corporation in New York

Punkt, in dem sich ein solcher Automat von einer gewöhnlichen Bureau-Rechenmaschine unterscheidet, nämlich die sogenannte *Programmsteuerung*. Im Gegensatz zur konventionellen Rechenmaschine, wo jede Operation (Addition, Multiplikation usw.) einzeln eingetastet und das Resultat abgelesen werden muss, ist nämlich ein Automat in der Lage, ein fast beliebig langes Programm zu Beginn einer Rechnung entgegenzunehmen und die verlangten Operationen ohne weiteres Zutun des Personals automatisch auszuführen, wobei die Zwischenresultate unter Umständen längere Zeit gespeichert werden. Dies ist, es sei wiederholt, der einzige prinzipielle Unterschied gegenüber den bekannten und seit Jahrzehnten verwendeten Rechenmaschinen. Daneben finden wir allerdings andere, wenn auch nicht grundsätzliche Abweichungen, insbesondere bezüglich der Rechengeschwindigkeiten. Es gibt elektronische Rechenautomaten, die pro Sekunde über 100000 Additionen oder 1000 Multiplikationen von zwölfstelligen Zahlen ausführen; es ist sehr schwierig, sich von solchen Geschwindigkeiten eine anschauliche Vorstellung zu machen.

An dieser Stelle sei bemerkt, dass die einzigen Operationen, die ein Rechenautomat ausführen kann, die Folgenden sind: Addition, Subtraktion, Multiplikation, sowie in gewissen Fällen Division und Wurzelziehen. Dazu kommen einige logische Operationen, wie Feststellung des Vorzeichens und Wahl des Absolutwertes einer Zahl. Man mag sich daher wundern, wie es möglich ist, dass Probleme wie etwa die Berechnung elektrischer Einschwingvorgänge trotzdem gelöst werden können. Es ist nun eine den Mathematikern bekannte Tatsache, dass alle Probleme, die überhaupt eine numerisch anzugebende Lösung besitzen, unter Verwendung der genannten Operationen bewältigt werden können. In den meisten Fällen handelt es sich um den Ersatz der Differentialrechnung durch die Differenzenrechnung. Ein einfaches, jedem Ingenieur bekanntes Beispiel dafür ist die graphische oder numerische Integration, die in Bild 4 erläutert ist: Um die von der Kurve $f(x)$ und den Koordinatenaxen begrenzte Fläche zu ermitteln, wird diese in einzelne Streifen zerlegt, von denen jeder annähernd ein Trapez ist und daher leicht berechnet werden kann. Je schmäler die Streifen gewählt werden, desto genauer die Lösung, desto grösser aber auch der Rechenaufwand. Es ist nötig, hier den richtigen Kompromiss zu finden.

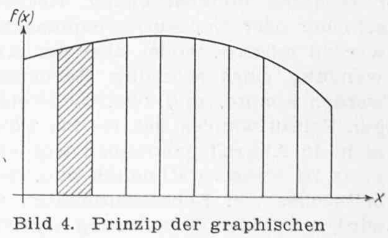

Bild 4. Prinzip der graphischen Integration

IV. Der Aufbau einer digitalen Maschine

Der prinzipielle Aufbau eines Rechenautomaten ist in Bild 5 gezeigt; es sind fünf Hauptteile ersichtlich, nämlich:

Das *Rechenwerk* ist der Teil, der die im vorhergehenden Abschnitt erläuterten arithmetischen Operationen ausführt. Es entspricht in seiner Gesamtheit einer konventionellen Bureau-Rechenmaschine.

Der *Speicher* hat, wie sein Name besagt, die Aufgabe, berechnete Zwischenresultate bis zur Wiederverwendung zu speichern. Es ist oft erwünscht, insgesamt 1000 oder mehr

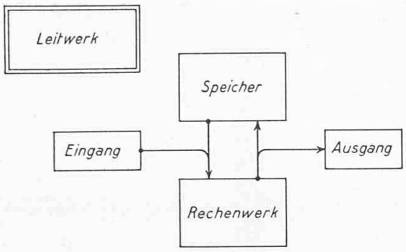

Bild 5. Prinzipschema eines Rechenautomaten

Zahlen zu speichern, wobei jede Zahl aus beispielsweise 15 Dezimalstellen besteht. Diese Zahlen müssen mit möglichst kurzer Suchzeit dem Rechenwerk wieder zur Verfügung gestellt werden, sobald dies erforderlich ist. Diese Suchzeit ist eine wichtige Grösse, und sie beeinflusst die Rechengeschwindigkeit oft entscheidend; denn im allgemeinen wird nach jeder Operation eine Zelle des Speichers aufgerufen. Wenn nun die Rufzeit ein Mehrfaches der Operationszeit beträgt, so wird die Rechengeschwindigkeit auf einen Bruchteil herabgesetzt.

Das *Leitwerk* ist derjenige Teil, der die Funktionen aller Teilapparate steuert; es ist also gewissermassen als die Kommandobrücke zu betrachten. Vom Leitwerk gehen Verbindungsleitungen nach allen Teilen der Maschine (diese Leitungen sind auf dem Bild nicht eingezeichnet). Im Leitwerk sind die vorbereiteten Befehle, deren Zahl oft in die Hunderte oder gar Tausende gehen kann, gespeichert, zu welchem Zweck es oft einen separaten Speicher besonderer Art enthält. In vielen Fällen allerdings wird dazu der reguläre, auch für Zahlen verwendete Speicher in Anspruch genommen; die Aufgabe des Leitwerkes ist dann, diesem Speicher die Befehle einzeln zu entnehmen und zu verarbeiten und die entsprechenden Kommandos an die verschiedenen Teile der Maschine weiterzugeben.

Rechenwerk, Speicher und Leitwerk bilden zusammen einen vollständigen Rechenautomaten, der aber mit der Aussenwelt keinerlei Verbindung hat. Es muss noch eine Möglichkeit vorgesehen sein, der Maschine die zu lösenden Probleme bekanntzugeben und die Resultate abzulesen. Hierzu dient einerseits der *Eingang*. Er nimmt die Anfangswerte und vorbereiteten Befehle einer Aufgabe entgegen, meistens in Form eines Lochstreifens oder eines Tonbandes, auf dem die Zahlen als Impulse magnetisch aufgezeichnet sind. Die Eingabe in den Speicher erfolgt im allgemeinen über das Rechenwerk. — Zur Vorbereitung der erwähnten Streifen dient ein separater Locher, welcher mit der Maschine nicht verbunden ist. Auf ihm kann das Bedienungspersonal die Lochstreifen für ein neues Problem vorbereiten, während die Maschine noch mit der Bearbeitung der früheren Aufgabe beschäftigt ist.

Der *Ausgang* besteht im allgemeinen aus einer automatisch betätigten Schreibmaschine, welche die Resultate in Tabellenform niederschreibt. Oft ist allerdings anstatt der Schreibmaschine ein Locher für Streifen vorgesehen; diese Streifen werden, nachdem sie gelocht sind, abgenommen und in ein separates Druckwerk gegeben, welches nun seinerseits die Resultate tabelliert. Dadurch können die Tabellen zu beliebiger Zeit angefertigt werden, während die Maschine mit andern Aufgaben beschäftigt ist; dies ermöglicht in vielen Fällen eine Erhöhung der Rechengeschwindigkeit.

Die vom Ausgang gelochten Streifen können auch als Speicher fast beliebig grosser Kapazität verwendet werden, wenn man diese Streifen nicht dem Druckwerk, sondern wieder dem Eingang zuführt. Allerdings ist die Suchzeit hier relativ gross; ausserdem sind die gespeicherten Zahlen nur in der Reihenfolge verfügbar, in der sie gelocht wurden, während im eigentlichen Speicher jede beliebige Zelle jederzeit aufgerufen werden kann.

V. Die Befehlsgebung

Es ist im vorhergehenden Abschnitt erläutert worden, dass das Leitwerk Befehle ausgibt, welche an die übrigen Teile der Maschine weitergeleitet werden. Ein derartiger Befehl hat die Form: A op $B = C$[1])
und bedeutet folgendes:

«Nimm die Zahlen, die in den Speicherzellen A und B enthalten sind; führe damit die mit „op" bezeichnete Operation aus; gib das Resultat in Speicherzelle C».

[1]) Dies ist ein sogenannter Drei-Adress-Befehl, weil er drei «Adressen» A, B, C, enthält. Es gibt auch Systeme, welche Ein-Adress- oder Vier-Adress-Befehle verwenden; auf diese wird hier nicht eingetreten.

Wollen wir also z. B. ausrechnen, wie viele Sekunden ein Tag enthält, d. h. die Multiplikation 24 . 3600 ausführen, so geben wir zunächst in Zelle A die Zahl 24 und in Zelle B die Zahl 3600. Dann erteilen wir den Befehl:

$$A \times B = C$$

Das Resultat 86400 wird sich alsdann in Zelle C finden und kann von dort aus dem Druckwerk zugeführt werden. (Die Befehle, die den Verkehr mit Ein- und Ausgang regeln, sind ähnlich wie Operationsbefehle aufgebaut; sie seien hier der Einfachheit halber nicht besprochen).

Nun wollen wir ein Problem betrachten, das mehr als einen einzelnen Befehl benötigt, nämlich die Erstellung einer Zahlentafel: Es soll die Funktion

$$y = \pi x + {}^1/_4$$

tabelliert werden; dabei soll x in Schritten von ${}^1/_{100}$ von 0 bis 9,99 laufen; im Ganzen sind also 1000 Werte zu berechnen. Nach Fertigstellung der Tabelle soll die Maschine automatisch stoppen. — Wir benötigen dazu einen Rechenautomaten mit fünf Speicherzellen, die mit a, b, c, d, e bezeichnet seien. Die Werte π, ${}^1/_4$, ${}^1/_{100}$ seien in der Maschine bereits enthalten, und zwar: π in Zelle a, ${}^1/_4$ in Zelle b, ${}^1/_{100}$ in Zelle c. Ferner sei vereinbart, dass der laufende x-Wert in Zelle d gespeichert werde; hier sei anfänglich die Zahl 0 enthalten. Zelle e sei für Zwischenresultate reserviert.

Der Rechenplan für die Fertigung dieser Tabelle sieht nun (mit einigen unwesentlichen Vereinfachungen) wie folgt aus:

(1) a $\times$ d = e
(2) e + b = Druckwerk
(3) d + c = d
(4) stop, wenn d = 10
(5) zurück zu (1)

Dieser Plan bedarf einiger Erläuterungen: Befehl (1) multipliziert x (zunächst gleich Null) mit π; das Produkt πx ist ein Zwischenresultat und wird in Zelle e gegeben. Befehl (2) addiert dazu ${}^1/_4$; das Resultat ist der endgültige zu tabellierende Wert $\pi x + {}^1/_4$ und wird daher dem Druckwerk zugeführt.

Da nun insgesamt 1000 Werte tabelliert werden müssen, besteht die Möglichkeit, eine solche Befehlsfolge 1000 mal zu wiederholen, jedesmal mit andern x-Werten. Es ist aber einer der grossen Vorteile der Rechenautomaten, dass der selbe Befehl oft nacheinander verwendet werden kann; er veranlasst dann jedesmal zwar die selbe arithmetische Operation, aber mit andern Zahlenwerten. Im vorliegenden Beispiel genügt es, den in Zelle d befindlichen x-Wert um ${}^1/_{100}$ zu erhöhen und dann den selben Plan wieder zu durchlaufen. Dies besorgt Befehl (3), welcher zu x (in Zelle d) den Wert ${}^1/_{100}$ (in Zelle c) addiert und das Resultat wieder nach Zelle d verbringt. (Es sei hier beigefügt, dass jede Zelle vor dem Eingeben eines Wertes automatisch gelöscht, d. h. dass der bisherige Inhalt vernichtet wird; in Befehl (3) wird also einfach der alte, nicht nicht mehr benötigte x-Wert durch den neuen ersetzt).

Für das Folgende möge nun der Leser den Befehl (4) zunächst ignorieren. (5) ist alsdann ein sogenannter *Sprungbefehl*, welcher bedeutet, dass das Leitwerk im Rechenplan nicht fortfahren, sondern auf eine andere Stelle springen soll. In diesem Falle wird der Plan wieder von Anfang an durchlaufen, und das Spiel wiederholt sich zunächst unbegrenzt lange.

Nun wurde die Forderung gestellt, die Maschine möge stoppen, sobald der Funktionswert für $x = 9{,}99$ gedruckt sei. Dies wird durch den *bedingten Befehl* (4) ermöglicht: Seine Ausführung ist an eine Bedingung geknüpft, in diesem Fall die, dass die in d enthaltene Zahl gleich 10 ist. (Dies tritt dann ein, wenn der letzte verwendete x-Wert 9,99 war). Ist diese Bedingung erfüllt, so wird der Befehl ausgeführt; ist sie nicht erfüllt, so wird er von der Maschine unbeachtet gelassen und einfach übergangen. — Damit werden also alle 1000 Werte automatisch tabelliert werden, wonach die Maschine den Prozess ohne Zutun des Bedienungspersonals unterbricht und die Beendigung der Aufgabe durch ein Signal anzeigt[2]).

[2]) Dem Leser dürfte nicht entgangen sein, dass der vorliegende Plan auch einfacher hätte gestaltet werden können, indem jeder Funktionswert aus dem vorhergehenden durch Addition von $\pi/100$ hervorgeht. Zweck des Beispieles war es jedoch, das Prinzip des aus mehreren Befehlen bestehenden und wiederholt ausgeführten Rechenplanes zu illustrieren.

Aus diesem Beispiel sind zwei Prinzipien, die in Rechenautomaten eine wichtige Rolle spielen, ersichtlich: Erstens die Tatsache, dass Befehle oder Folgen von Befehlen vielmal durchlaufen werden; hier genügt ein Rechenplan mit nur fünf Befehlen, um eine ganze mathematische Tabelle zu erstellen. Zweitens existieren bedingte Befehle, wodurch der Fortgang einer Rechnung nicht eindeutig festgelegt ist, sondern von bereits berechneten Resultaten abhängt. Der Maschine kommt also in gewissem Sinne eine Entscheidungsfähigkeit zu.

Die Anfertigung solcher Rechenpläne stellt in vielen Fällen eine bedeutende Arbeit dar und erfordert oft weite mathematische Kenntnisse und eine grosse Erfahrung. Ein grosser Rechenautomat benötigt zu seinem Betrieb eine ganze Anzahl geschulter Mathematiker, welche vollamtlich beschäftigt sind.

(Schluss folgt)

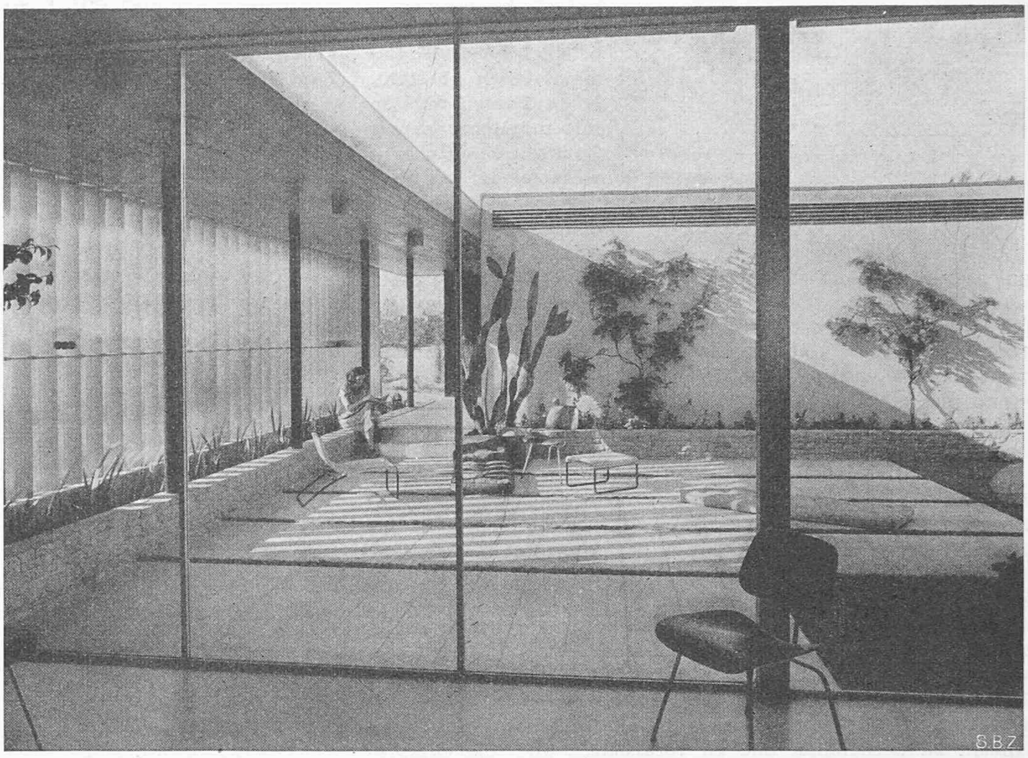

Bild 2. Blick vom Essplatz des Wohnraums in den Patio (vgl. Bild 6), der nach Westen mit einer verstellbaren Aluminiumjalousie abgeschlossen ist. Im Hintergrund der Gästeflügel

Das «Haus in der Wüste»

Arch. RICH. J. NEUTRA, Los Angeles
Hierzu Tafeln 45/46 DK 728.6(73)

Die Schönheit und die Erholung bietenden Faktoren einsamer Wüstengegenden ziehen in den Vereinigten Staaten immer mehr Menschen an. Die Stille und Erhabenheit der Gebirgswelt, die gewaltigen Naturschauspiele der Sonnenuntergänge, vor allem aber die Nebelfreiheit und die intensive Sonnenbestrahlung liessen in solchen Gegenden ganze Landhauskolonien oder Winterkurorte heranwachsen.

Der hier veröffentlichte grössere Landsitz, der in der von gewaltigen Felsblöcken uralter Gletscherzeiten besäten Colorado-Wüste am Fuss des Mount Jacinto errichtet wurde, dient als Wohnsitz für die ersten Monate des Jahres, wenn das Klima in der Stadtwohnung des Besitzers in Pennsylvanien weniger angenehm ist. Architekt

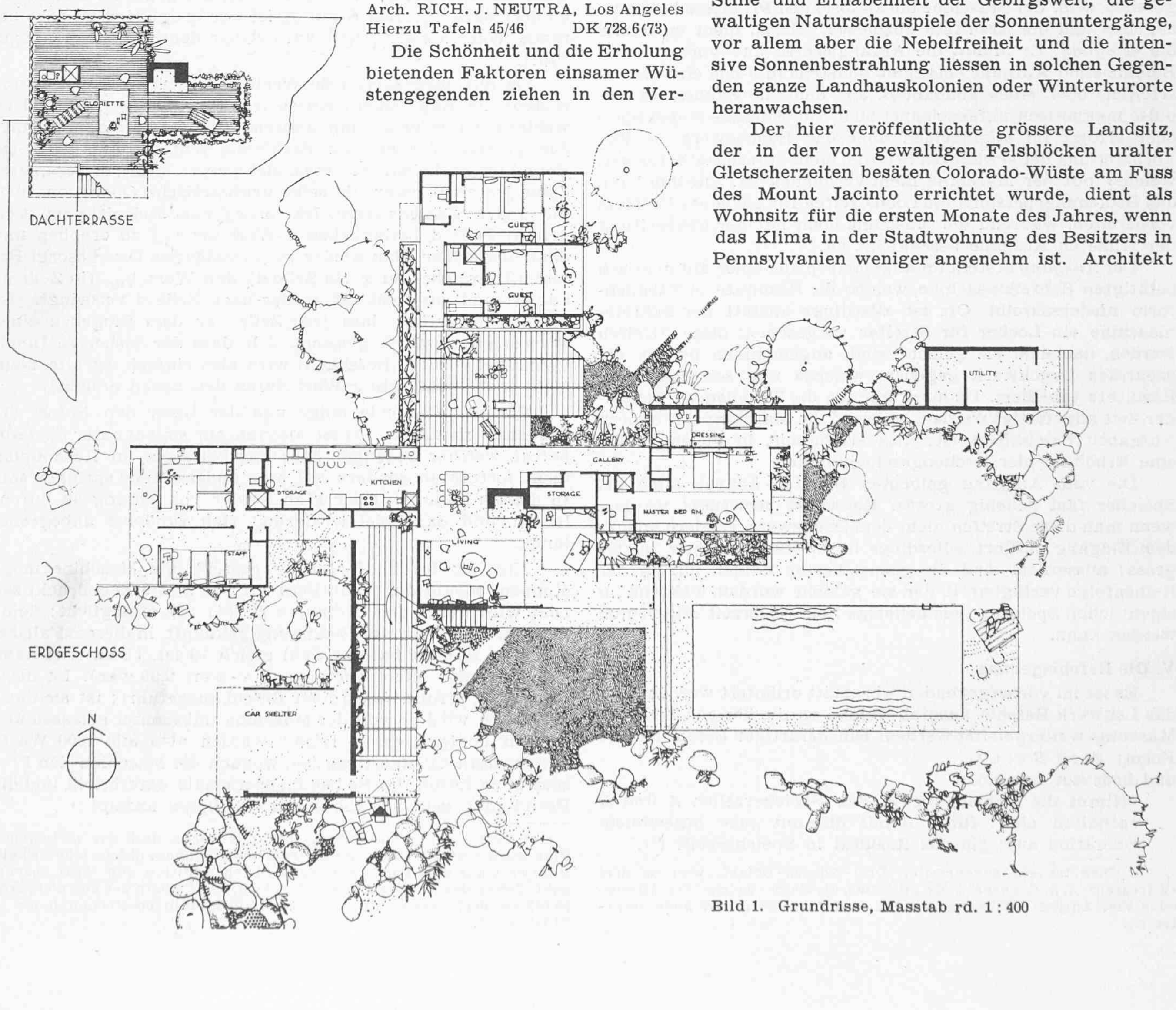

Bild 1. Grundrisse, Masstab rd. 1 : 400