

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 79 (1961)  
**Heft:** 20

**Artikel:** Elektronische Rechenmaschinen - ihre Bedeutung für die Konstruktionspraxis  
**Autor:** Läuchli, Peter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-65523>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 03.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Elektronische Rechenmaschinen — ihre Bedeutung für die Konstruktionspraxis

Von PD Dr. Peter Läubli, Institut für angewandte Mathematik an der ETH, Zürich<sup>1)</sup>

DK 681.14

Der Einsatz von Rechenautomaten bei technischen Berechnungen ist eine verhältnismässig neue Errungenschaft: Bedenken Sie, dass ein Vortrag über das selbe Thema vor 20 Jahren überhaupt noch nicht möglich gewesen wäre. Vor 10 Jahren wäre er zum mindesten noch ziemlich kühn gewesen und hätte jedenfalls ganz anders aufgebaut sein müssen als heute. Man hätte damals seinen staunenden Zuhörern begreiflich gemacht, dass es solche Maschinen gibt, welche vollautomatisch die längsten und kompliziertesten Rechnungen durchführen. Vielleicht hätte man auch zu erklären versucht, wie ein solches Ding im Detail aufgebaut ist und funktioniert<sup>2)</sup>, und nur in einem Ausblick hätte man anzudeuten gewagt, dass diese Rechenmaschinen auch für die Konstruktionspraxis einmal ihre Bedeutung erlangen würden.

Inzwischen hat sich die Situation gewandelt. Der Ingenieur hat sich daran gewöhnt, dass ihm nicht nur Rechenautomaten, sondern an verschiedenen Orten auch ein gut ausgebauter Rechendienst zur Verfügung stehen (in der Schweiz z. B. an den Universitäten von Lausanne und Bern, an der ETH, sowie in verschiedenen kommerziell aufgezogenen Rechenzentren). Weitgehend hat sich bereits die Erkenntnis durchgesetzt, dass es sich bei vielen umfangreicheren Rechnungen vom wirtschaftlichen Standpunkt aus einfach nicht mehr verantworten lässt, diese von Hand, das heisst mit Tischrechenmaschinen durchzuführen.

Ich darf daher heute voraussetzen, dass meine Zuhörer alle schon bei irgendeiner Gelegenheit mit Rechenautomaten in Berührung gekommen sind, und mich darauf beschränken, auf einige wesentliche Punkte hinzuweisen und vor allem ein paar häufig vorkommende Begriffe zu erklären.

Bekanntlich teilt man die Gesamtheit der Rechenmaschinen in zwei grosse Klassen ein, die *Analogiegeräte* und die *Digitalmaschinen*.

Bei den Maschinen der ersten Gruppe werden die auftretenden Rechengrössen durch physikalische Analogien dargestellt, und zwar durch mechanische Grössen wie Längen oder Drehwinkel oder durch elektrische wie Stromstärken oder Spannungen. Auf dem Analogieprinzip beruhen die uns allen geläufigen kleinen Geräte wie Rechenschieber oder Planimeter; an grösseren Beispielen seien Integrieranlagen, Feuerleitgeräte und Flugsimulatoren erwähnt. Allen diesen Geräten ist gemeinsam, dass sie nur mit einer ziemlich beschränkten Genauigkeit arbeiten, welche noch von der Geschicklichkeit des Bedienenden abhängen kann, und dass sie meistens für spezielle Zwecke eingerichtet sind. Dafür ist es oft möglich, mit einfachen Mitteln rasch und übersichtlich Resultate zu erhalten.

Die digitalen Maschinen, welche im folgenden ausschliesslich betrachtet werden, arbeiten dagegen immer ziffernmässig («Ziffernrechner») mit einer ganz bestimmten Anzahl Stellen. Im Zentrum jedes solchen Gerätes steht ein *Rechenwerk*, welches die arithmetischen Grundoperationen ausführen kann. Wie dies technisch realisiert wird, braucht in diesem Zusammenhang nicht diskutiert zu werden.

Wichtiger ist für den Benutzer die Tatsache, dass die Ziffern stets zu Paketen von ganz bestimmter Länge, zu sogenannten *Wörtern* zusammengefasst und in dieser Form verarbeitet werden. Es kommt natürlich sehr darauf an, ob eine Maschine mit 6 oder mit 15 Dezimalstellen rechnet. Man kann zwar, wenn die Genauigkeit nicht ausreicht, eine Zahl über mehrere Wörter erstrecken und die Rechenoperationen diesen zusammengesetzten Wörtern entsprechend programmieren, aber die Rechenzeit wird dabei sofort mindestens verzehnfacht, so dass man sich schon, wenn irgendwie möglich, mit der ursprünglichen Stellenzahl der Maschine begnügt.

<sup>1)</sup> Vortrag, gehalten an der Fachtagung der S. I. A.-Fachgruppe für Brückenbau und Hochbau am 12. Nov. 1960 in der ETH.

<sup>2)</sup> Vgl. A. P. Speiser, Elektronische Rechenautomaten, SBZ 1950, S. 441 und 464.

Ein sehr wesentlicher Bestandteil jedes Rechenautomaten, der bei den Tischrechenmaschinen noch fehlt, ist der *Speicher*, ein Organ, welches Zahlen aufbewahren kann. Ein Speicher ist normalerweise in durchnummerierte Zellen eingeteilt, von denen jede ein Wort fasst. Entscheidend für die Brauchbarkeit eines Speicherwerks sind seine Grösse und die Zugriffszeit, welche in einem vernünftigen Verhältnis zur Rechengeschwindigkeit stehen sollte. Da die beiden Forderungen einander naturgemäss zuwiderlaufen, ist man vielfach dazu übergegangen, an die selbe Maschine einen *Schnellspeicher* mit verschwindender Zugriffszeit und einigen tausend Zellen sowie einen *Grossspeicher* mit mehreren Zehntausend oder gar Hunderttausenden von Zellen anzuschliessen, wobei dann im zweiten Fall entsprechend grosse Suchzeiten in Kauf genommen werden müssen.

Hier ist wohl der Platz, um kurz auf den Begriff der *Programmsteuerung* einzutreten. Mit ihr wird die Rechenmaschine erst zum Automaten. Wie der Name sagt, muss für die Durchführung eines Rechenprozesses zuerst ein sehr detailliertes Programm aufgestellt werden, welches jeden einzelnen Rechenschritt enthält. Diese Einzelschritte, Befehle genannt, lösen entweder eine Rechenoperation oder einen Transfer eines Wortes zwischen Rechenwerk und Speicher aus. Dann muss durch Befehle auch veranlasst werden können, dass Zahlen im geeigneten Moment in die Maschine hinein oder aus ihr heraus, zum Beispiel Resultate in ein Druckwerk, transportiert werden. Eine weitere Klasse von Befehlen steuert den Ablauf des Programms, das heisst bewirkt, dass der natürliche Ablauf einer Befehlsfolge unterbrochen und an einer beliebigen anderen Stelle des Programms fortgesetzt wird (Sprungbefehle). Auf diese Weise lassen sich einzelne Programmstücke in vielfältiger Weise kombinieren.

Das Steuerorgan, welches dafür sorgt, dass alle diese komplizierten Vorgänge richtig ineinandergreifen, heisst *Leitwerk*. Es holt aus dem Programm Befehl um Befehl und untersucht, welcher Teil der Maschine für dessen Ausführung zuständig ist. Das Programm wird bei den heutigen Maschinen in einer Zahlenverschlüsselung im Speicher aufbewahrt.

Dass zwischen der Idee, was auf einer Maschine gerechnet werden soll, und dem fertigen Programm meistens ein weiter und mühsamer Weg liegt, glaubt wohl jeder, auch wenn er noch nicht selbst programmiert hat. Bereits das numerische Verfahren, das zur Anwendung kommen soll, muss sorgfältig gewählt werden, da sich nicht jede Methode für Rechenautomaten eignet. Sodann wird der Rechengang mit Vorteil in einem graphischen Schema, dem Flussdiagramm, dargestellt und erst anhand von diesem das Detailprogramm ausgeschrieben.

Man hat sich nun schon lange bemüht, wenigstens für diesen letzten, weitgehend routinemässigen Teil der Arbeit Erleichterungen zu schaffen. Zum Beispiel ist immer zu bedenken, dass ja die digitalen Maschinen fast ausnahmslos nur die vier Grundoperationen direkt ausführen können und somit schon das Ziehen der Quadratwurzel und natürlich auch die Berechnung von Logarithmus- oder trigonometrischen Funktionen programmiert werden müssen. Die betreffenden Programme wird man für eine bestimmte Maschine ein für allemal bereitstellen, eventuell sogar ständig gespeichert haben und sie damit jederzeit aufrufen können. Man geht in dieser Richtung noch einen Schritt weiter und bereitet für die häufigsten Standardprozesse der numerischen Mathematik wie Auswertung bestimmter Integrale, Integration von gewöhnlichen Differentialgleichungen, Auflösung von linearen Gleichungssystemen usw. möglichst universell verwendbare Bibliotheksprogramme vor, zu denen dann jeweils nur noch ein auf den speziellen Fall zugeschnittenes Hauptprogramm zu machen ist.

Eine andere Art der Erleichterung besteht darin, dass man das Programm in einer konzentrierteren Form niederschreibt und in die Maschine gibt und diese dann selbst das

explizite Programm aufstellen lässt. Diese Konzentration kann so weit gehen, dass man direkt mathematische Formeln, sozusagen in Klartext, eingibt. Der hierzu nötige automatische Formelübersetzer ist natürlich selbst ein sehr kompliziertes Programm.

Nach diesem Exkurs über Programmierung sei noch ein letzter Bestandteil jeder Rechenmaschine kurz erwähnt: der *Ein- und Ausgang*. Der vollkommenste Automat nützt nichts, wenn nicht eine vernünftige Verbindung mit der Aussenwelt besteht. Vor Beginn der Rechnung müssen das Programm und die Anfangsdaten in den Speicher gegeben werden. Dies geschieht heute meistens mittels Lochkarten oder auch mit gelochten Papierstreifen. Auf der anderen Seite gehen die Resultate wieder zuerst auf Lochkarten, bzw. Streifen hinaus, um dann später in eine lesbare Form umgewandelt zu werden, oder sie werden direkt mit einer Schreibmaschine oder einem Zeilendrucker gedruckt.

Als Beispiel für einen im Betrieb stehenden Automaten sei die *ERMETH* (Elektronische Rechenmaschine der ETH) angeführt, welche im Institut für angewandte Mathematik der ETH entwickelt und in Zusammenarbeit mit Schweizer Firmen gebaut wurde. Diese Maschine arbeitet 11-stellig, mit gleitendem Komma (d. h. unter automatischer Berücksichtigung einer beliebigen Kommastellung) und ist mit einer Multiplikationszeit von rd.  $15 \cdot 10^{-3}$  s heute schon zu den langsamen Maschinen zu zählen. Sie besitzt einen magnetischen Trommelspeicher mit 10 000 Zellen; für Ein- und Ausgabe werden Lochkarten und Schreibmaschine verwendet.

Zur Illustration soll nun kurz über ein Beispiel berichtet werden, welches am erwähnten Institut mit dem Zweck, verschiedene Rechenmethoden zu erproben, studiert wurde<sup>3)</sup>. Um die Untersuchungen möglichst übersichtlich zu gestalten, wurde der folgende Testfall behandelt, bei welchem evident war, wie die Lösung qualitativ aussehen muss:

Eine quadratische Platte, die am linken Rand (siehe Bild 1) eingespannt ist, rechts aufliegt und oben und unten freie Ränder hat, wird einer Last unterworfen, welche gleichmässig auf ein ausserhalb der Mitte gelegenes kleines Quadrätchen verteilt ist. Gesucht ist die Durchbiegung. Die Behandlung des Problems zerfiel in die folgenden zwei Hauptteile:

1. Formulierung der mathematischen Aufgabe. Entscheidung, an welcher Stelle Approximationen für die exakte Lösung einzusetzen haben. In diesem Fall: Aufstellung eines linearen Gleichungssystems.
2. Diskussion verschiedener Verfahren für die numerische Auflösung des Gleichungssystems.

Es mag auf den ersten Blick befremden, dass diesem zweiten Punkt das selbe Gewicht eingeräumt wurde wie dem ersten. Jedoch braucht dem Praktiker kaum gesagt zu werden, dass die Auflösung eines linearen Gleichungssystems zwar vom rein mathematischen Standpunkt aus betrachtet trivial ist, dass jedoch die numerische Durchführung von einer gewissen Anzahl Unbekannten an nicht nur sehr aufwendig, sondern in vielen Fällen recht gefährlich ist, was die Verfälschung durch Rundungsfehler betrifft.

Was den ersten Teil der Aufgabe betrifft, so hat es sich als vorteilhaft erwiesen, folgenden Weg einzuschlagen:

Das Problem lässt sich so formulieren, dass man unter allen denkbaren Durchbiegungsfunktionen  $u(x, y)$ , welche die Randbedingungen erfüllen, diejenige suchen muss, welche die potentielle Energie zu einem Minimum macht. Die Energie stellt sich mathematisch als ein Doppelintegral dar, welches die unbekannte Funktion  $u(x, y)$  und deren partielle Ableitungen enthält und über das Gebiet der Platte zu erstrecken ist. Um die Aufgabe numerisch anpacken zu können, begnügen wir uns damit, die Funktion  $u$  nur an einzelnen Stellen zu betrachten. Dazu legen wir ein quadratisches Netz über die Platte und führen die Werte von  $u$  in den Gitterpunkten als Unbekannte  $u_i$  ein.

<sup>3)</sup> siehe M. Engeli, Th. Ginsburg, H. Rutishauser und E. Stiefel, Refined Iterative Methods for Computation of the Solution and the Eigenvalues of Self-Adjoint Boundary Value Problems, «Mitteilung Nr. 8 aus dem Institut für angewandte Mathematik», Birkhäuser Verlag, Basel 1959.

Für die Approximation des Energieintegrals hat man lediglich die Beiträge zusammenzustellen, welche von jedem Gitterquadrätchen beigesteuert werden. Wenn man einmal ausgemacht hat, durch welche Differenzenausdrücke die im Integranden stehenden partiellen Ableitungen zu ersetzen sind, dann ist dies eine ganz mechanische Arbeit. Man hat nur darauf zu achten, dass bei den Punkten in der Nähe des Randes die Einspannung, bzw. Auflage richtig berücksichtigt wird, was aber weiter auch nicht schwierig ist.

So tritt nun an die Stelle des Integrals eine quadratische Funktion der Unbekannten, welche folgendermassen geschrieben werden kann:

$$\sum_{i,k} a_{ik} u_i u_k + 2 \sum_i c_i u_i;$$

und die Minimumsbedingungen erhält man durch Nullsetzen der Ableitungen:

$$\sum_k a_{ik} u_k + c_i = 0 \quad (\text{für } i = 1, 2, \dots, n)$$

Dies ist aber ein lineares Gleichungssystem für die  $u_i$ , mit einer bezüglich der Diagonalen symmetrischen Koeffizientenmatrix, was für die Auflösung eine wesentliche Erleichterung bedeutet.

Weiter hat die obige quadratische Summe die wichtige Eigenschaft, dass nur Produkte  $u_i u_k$  auftreten, bei denen die entsprechenden Punkte nicht beliebig weit auseinanderliegen. Das bedeutet aber, dass die Koeffizientenmatrix des aufzulösenden linearen Gleichungssystems nicht ausgefüllt ist, sondern nur in einem Band von ganz bestimmter Breite, welches symmetrisch zur Diagonalen liegt, von Null verschiedene Elemente hat. Dieser Umstand kann bei der Auflösung des Systems benützt werden, da erstens einmal viel weniger Werte zu speichern sind und zweitens eine grosse Anzahl sinnloser Rechenoperationen (Multiplikation mit Null!) gespart werden kann.

Nun muss man aber in dieser Richtung noch einen Schritt weitergehen. Falls man das Netz genügend fein

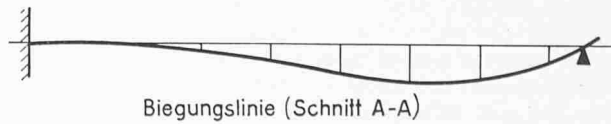
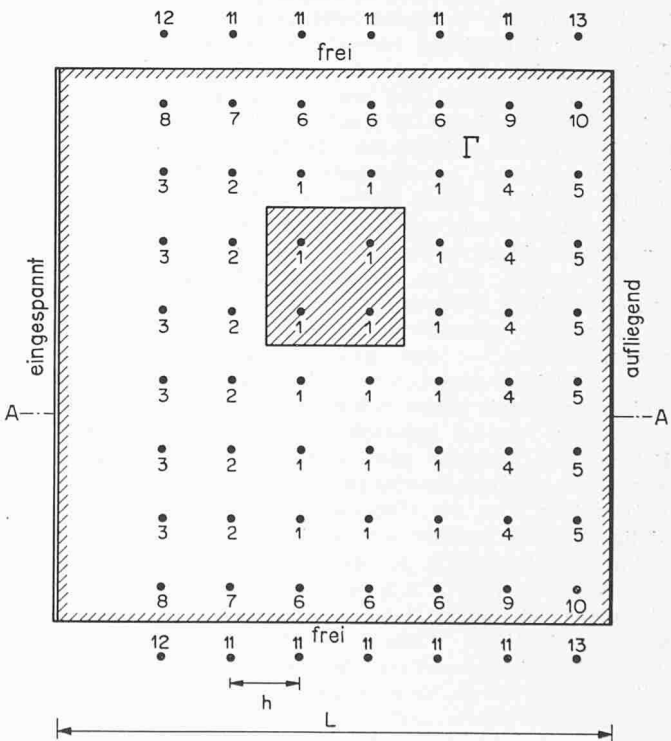


Bild 1

macht, wird die Matrix bald einmal so gross, dass auch das ausgefüllte Band in der Mitte allein schon die Kapazität der meisten Speicherwerke überschreitet. Man braucht sich nur zu vergegenwärtigen, dass bei  $m$  Punkten längs einer Quadratseite  $m^2$  Unbekannte und damit  $m^4$  Matrixelemente auftreten.

Es ist jedoch möglich, das Gleichungssystem zu behandeln, ohne die Koeffizientenmatrix explizit aufzustellen. Man beachte dazu, dass durch jede Gleichung die Unbekannte eines Punktes  $A$  mit den Unbekannten einiger umliegenden Punkte in Beziehung gebracht wird. Diese Beziehung kann man etwa dadurch zum Ausdruck bringen, dass man aus dem Gitter diejenigen Punkte herausgreift, welche an der Gleichung des Punktes  $A$  beteiligt sind und in dem so entstehenden Stern die Zahlen anschreibt, mit welchen die betreffenden Unbekannten zu multiplizieren sind. Bei unserem Plattenproblem hat der Stern z. B. die Gestalt von Bild 2. Die Gleichung des Systems, welche zum Punkt  $A$  gehört, erhält man somit, indem man alle Unbekannten, die vom Stern bedeckt werden, mit den betreffenden Konstanten multipliziert und zusammengezählt. Es kommt dann noch ein einfacher gebildeter Term hinzu, der von der Belastung abhängt. Dies drückt man etwa auch so aus, dass man sagt, es werde der durch obigen Stern charakterisierte Operator in einem Punkt der Platte angewendet. Am Rande des Gebietes sind die Operatoren selbstverständlich gemäss den Randbedingungen zu modifizieren.

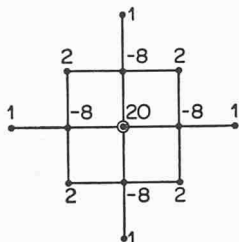


Bild 2

Das Gleichungssystem lösen heisst nun doch: die Unbekannten so bestimmen, dass sie, in den linken Seiten der Gleichungen eingesetzt, die rechten Seiten zu Null machen. Wenn man also links Werte einsetzt, die nicht genau mit den Lösungen übereinstimmen, dann werden rechts gewisse Werte bleiben, welche man *Residuen* nennt. Ein Näherungsverfahren muss also darin bestehen, dass für die Unbekannten irgendwelche Versuchswerte eingesetzt werden, welche man so zu korrigieren versucht, dass die Residuen immer kleiner werden. Man hat für diesen Zweck sehr wirksame Methoden entwickelt, auf welche hier natürlich nicht eingetreten werden kann. Wir notieren jedoch für das Plattenbeispiel, dass es möglich ist, die Residuen für irgend eine Näherungslösung auszurechnen ohne die Koeffizientenmatrix zu bilden, eben indem man die Operatoren des betreffenden Problems auf sämtliche Gitterpunkte anwendet. Aus den Residuen können dann wieder die Korrekturen berechnet werden, die an den Unbekannten anzubringen sind, um die nächste Näherung zu erhalten.

Ein sehr wesentliches Merkmal dieser iterativen Lösungsmethoden — dies gilt nun wieder allgemein für lineare Gleichungssysteme — ist die Tatsache, dass die Unbekannten mit jedem Schritt verbessert werden und man somit den Prozess jederzeit abbrechen kann, wenn zum Beispiel die Residuen genügend klein sind. Im Gegensatz hierzu gibt uns ein Eliminationsverfahren erst irgendwelche Information über die Unbekannten, wenn der Rechengang völlig zu Ende geführt worden ist.

Auf der ERMETH wurden verschiedene Versuche mit dem Netz von Bild 1, d. h. mit 70 Unbekannten ausgeführt, die Rechenzeit betrug dabei für einen Fall, je nach der verwendeten Methode, 2 bis 3 Stunden. Daneben wurden auf der beträchtlich schnelleren Maschine IBM 704 einige Fälle mit einem feineren Netz, welches auf ein System von 270 Unbekannten führte, durchgerechnet.

\*

Zum Schluss müssen wir nochmals auf die Rechenmaschinen im allgemeinen zurückkommen. Bei dem skizzierten Beispiel erhebt sich vielleicht die Frage, ob ein Rechenautomat überhaupt imstande sei, eine so komplizierte Aufgabe selbsttätig zu lösen. Das ist ein sehr wichtiger Punkt, der noch kurz aufgegriffen werden soll, denn

ein Hauptgrund dafür, dass die Inanspruchnahme der Rechenzentren gerade von der Seite des Bauingenieurs aus eigentlich nur zögernd vor sich geht, liegt darin, dass zum Teil den Rechenmaschinen einfach zu wenig zugetraut wird, was die Automatisierbarkeit von Rechengängen betrifft.

Es ist äusserst wichtig, dass man sich immer genau Rechenschaft ablegt über die *Struktur eines Rechenprozesses*. Denn natürlich gibt es Abläufe, bei denen der Rechner zwischenhinein immer wieder Entscheidungen treffen muss, die ihm keine Maschine abnehmen kann; oder Abläufe, in welchen jede einzelne Rechenvorschrift nur einmal benützt wird. Es liegt auf der Hand, dass sich in solchen Fällen der Einsatz der Rechenmaschine kaum lohnt, da die Vorbereitungsarbeit bald einmal vergleichbar wird mit dem bei der Handrechnung benötigten Aufwand.

Auf der anderen Seite treten in vielen Rechenprozessen *zyklische Strukturen* auf, Strukturen also, bei denen gewisse Zweige oftmals durchlaufen werden. Das heisst nun nicht, dass bei jedem Durchlauf an der betreffenden Stelle jedesmal genau das selbe zu geschehen hat, sondern die grosse Flexibilität der modernen Rechenautomaten beruht eben gerade darauf, dass ein beliebiges Programmstück bei jedem Durchlauf in systematischer Weise variiert werden kann. Um auf das Beispiel der Auflösung von linearen Gleichungssystemen nach einer Eliminationsmethode zurückzukommen: Beim Gausschen Algorithmus werden die zu behandelnden Zeilen und Spalten im Koeffizientenschema immer kürzer. Dennoch muss dabei immer wieder das selbe Programmstück verwendet werden können, so dass es gerade bei diesem Beispiel möglich ist, mit einem verhältnismässig kurzen Programm eine sehr umfangreiche Rechnung zu bewältigen.

Eine zweite wichtige Voraussetzung für die Flexibilität der Programmsteuerung ist die Möglichkeit, Fallunterscheidungen zu treffen. Denn es muss doch zum Beispiel automatisch festgestellt werden können, wann ein Zyklus zu verlassen ist, sei es durch Abzählen oder durch Kontrolle, ob eine vorgeschriebene Genauigkeit erreicht worden ist. Oder im Falle der Operatoren des Plattenproblems muss in jedem Punkt entschieden werden, ob es sich um einen inneren oder einen randnahen Punkt handelt, und entsprechend ist dann der richtige Operator auszuwählen.

Die Automatisierung des Plattenproblems kann übrigens noch weitergetrieben werden: Anzustreben (und tatsächlich auch in Vorbereitung) ist ein Programm, welches bei einem gegebenen Randwertproblem in einem Gebiet von beliebiger Form für jeden Gitterpunkt den Operator aufstellt, wobei eine vorzuschreibende Anzahl von umliegenden Punkten benützt werden darf.

Mit diesen wenigen Andeutungen sollte auf die Fragen hingewiesen werden, welche immer wieder auftauchen, wenn der Einsatz eines Rechenautomaten erwogen wird. Man hat sich gewiss auch heute noch zu überlegen, ob der Modellversuch oder die Berechnung in einem vorliegenden Fall günstiger sei. Man wird ferner untersuchen müssen, ob die zur Verfügung stehende Rechanlage für den betreffenden Zweck geeignet sei, d. h. nicht zu langsam, aber auch nicht unnötig komfortabel ausgerüstet, ob sie auch mit den erforderlichen Ein- und Ausgabevorrichtungen versehen sei. Schliesslich lassen sich gewisse Probleme viel rationeller auf einem Analogiegerät als mit einer digitalen Maschine lösen, sei es nun eine Integrieranlage oder ein Gerät für Spezialzwecke.

Als Resultat dürfen wir festhalten, dass der Kontakt zwischen dem Ingenieur und dem Rechenzentrum so früh wie möglich hergestellt werden muss, damit alle kleineren und grösseren Missverständnisse, die sich bei einem nicht ganz routinemässigen Problem bestimmt einstellen werden, rechtzeitig behoben werden können. Die beiden Beteiligten sehen eben die Schwierigkeiten des selben Falles oft an einem ganz anderen Ort, und da sie nicht genau die selbe Sprache sprechen, ist es gelegentlich gar nicht so einfach, einander überhaupt nur klar zu machen, wo einerseits das eigentliche Problem liegt und welches andererseits die Möglichkeiten der Maschine sind.

In diesen Zusammenhang gehören auch die Fragen der Ausbildung. Es sei nur darauf hingewiesen, dass seit Jahren an der ETH eine zweistündige Vorlesung über angewandte Mathematik gehalten wird, welche im 1. Semester aller Ingenieurabteilungen zu den Pflichtfächern gehört. Dieser Platz im Studienplan und die kleine Stundenzahl verbieten ein Eingehen auf allzu viele Details; doch wird immerhin eine erste Bekanntschaft mit den wichtigsten Methoden der numerischen Mathematik vermittelt. Daneben wird alljährlich eine Vorlesung über programmgesteuertes Rechnen mit Praktikum an der ERMETH durchgeführt. Es kommt bereits vor, dass Absolventen dieses Kurses auf der Maschine für ihre Diplomarbeit rechnen. Auf diesem Wege können von den jungen Leuten wertvolle Erfahrungen in die Praxis hinausgetragen werden.

Es darf sicher behauptet werden, dass für den Einsatz der Rechenautomaten in der Konstruktionspraxis schon einiges getan wurde, dass aber noch viele Möglichkeiten offenstehen, die bei weitem noch nicht ausgeschöpft sind und für eine fruchtbare Zusammenarbeit von Bauingenieur und Mathematiker ein dankbares Betätigungsfeld darbieten.

#### Anhang

Einer Anregung folgend, welche während der Diskussion vorgebracht wurde, sei noch kurz auf einige Bibliotheksprogramme hingewiesen, die an den drei bis jetzt an schweize-

rischen Hochschulen bestehenden Recheninstituten zur Verfügung stehen (Institut für angewandte Mathematik der Universität Bern, Institut de mathématiques appliquées de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne, Institut für angewandte Mathematik der ETH Zürich). Eine Umfrage des Verfassers an den beiden Universitätsinstituten hat ergeben, dass alle drei Stellen unter anderem über folgende, den Bauingenieur eventuell interessierende Programme verfügen:

Auflösung von linearen Gleichungssystemen (Elimination und iterative Methoden; Lausanne: auch komplex),  
Inversion von Matrizen; Berechnung von Determinanten,  
Multiplikation von Matrizen,  
Ausgleichsrechnung (Bern und Zürich: auch Tschebyscheff-Ausgleichung),  
Lineare Programmierung (Simplex-Algorithmus),  
Eigenwerte und -vektoren von Matrizen,  
Auflösung algebraischer Gleichungen,  
Berechnung bestimmter Integrale,  
Systeme von Differentialgleichungen.

Daneben gibt es zahlreiche Programme für speziellere Probleme, welche zum Teil im Besitze der Auftraggeber sind.

Adresse des Verfassers: Dr. P. Läubli, Guggenbühlstr. 51, Winterthur.

## Vom Bau des Hafens Samsun

DK 627.2.002.2

Ueber den Bau des Schwarz-Meer-Hafens Samsun an der Küste nordöstlich von Ankara hat die Firma Philipp Holzmann, Frankfurt, gemeinsam mit Hochtief, Essen, und einer Firma in Istanbul einen interessanten und lehrreichen Buchbericht veröffentlicht. Die in den Jahren 1954 bis 1960 durchgeführten Bauarbeiten zur Erstellung eines betriebsfertigen Seehafens an einer bisher ungeschützten Küste umfassen einen 1580 m langen Nord-Wellenbrecher bis in 15 m Wassertiefe von 1,8 Mio t Steinschüttung mit Beton-Krone, einen 3200 m langen Ost-Wellenbrecher von 3,2 Mio t Steinschüttung mit Beton-Krone, 950 m lange Kaimauern für bis 10,5 m Wassertiefe aus Betonblöcken von gegen 50 t (zusammen 60 000 m<sup>3</sup>) auf Unterlage aus Steinschüttung, deren Gesamtsumme damit 5 Mio t erreichte, während das gesamte Betonvolumen gegen 140 000 m<sup>3</sup> betrug. Dazu kam die Baggerung des Hafen-Beckens von 5,4 Mio m<sup>3</sup> und die Auflandung des Hafen-Areals von 3,2 Mio m<sup>3</sup>, der Bau von vier Kaischuppen von 12 000 m<sup>2</sup> in Eisenbeton sowie die umfangreichen Strassen- und Bahnanlagen. Der türkischen Regierung wurde die Verwirklichung dieses bedeutenden Vorhabens modernster Hafenbaukunst durch eine Anleihe der Weltbank ermöglicht.

Zur Ausrüstung der Baustelle gehörten eine Hilfsmole mit 60-t-Derrick, eine Betonfabrik für 50 m<sup>3</sup>/h und ein Herstellungs- und Lagerplatz für 50-t-Betonblöcke mit fahrbarem Hammer-Kran von 35 m Ausladung bei 50 t Tragkraft. Die Blöcke kamen nach 28 Tagen zum Einbau. Der Schwerpunkt der Bauleistung lag in der Gewinnung, dem Transport und Einbau der Steine für die Wellenbrecher. Der am stärksten exponierte Nord-Wellenbrecher besass eine Krone von 12,5 m Breite, davon 7,5 m als Beton-Körper und eine seeseitige Böschung von 1:3, auf welcher der Kern aus Steinen von 0 ÷ 0,4 t durch drei Schichten 0,4 ÷ 2 t, 2 ÷ 8 t und 8 ÷ 40 t verkleidet war. Die Anfuhr dieser Steine erforderte Gleisanlagen von 22 km Normalspur. Zur Reparatur der Schuten und Schlepper wurde an der Hilfsmole eine Querhelling errichtet. Der Nord-Wellenbrecher wurde von Land aus mittels eines Derrick-Kranes von 15 t Tragkraft bei 25 m Aktionsradius vorgebaut. In Wassertiefen von 2 m und mehr wurden die Steine in Klappschuten von 500 t geschüttet. Die grösseren Steine für die Ab-

deckung der Böschungen wurden mit Hilfe von 300-t-Kipp-schuten eingebaut. Steine von 15 ÷ 40 t wurden mit 60-t-Schwimmkränen eingebaut. Die Kronenmauer wurde in versetzten Abschnitten von 7,5 m Länge betoniert in Stahl-Schalungen, die als 10 t schwere Einheiten versetzt und von 6-m<sup>3</sup>-Kübeln mittels Schwimm-Kran gefüllt wurden.

In den beiden Andesit-Steinbrüchen wurde das Grossbohrloch-Sprengverfahren angewandt, mit Keystone- und Ruston-Schlagbohrgeräten für 150 mm Ø und Wandhöhen von 15 ÷ 40 m. Bei Bohrlochabstand von 3 ÷ 4 m und einer Vorgabe von 10 ÷ 12 m bei 33 % Nitroglycerin in Bohrloch-Mitte und 82 % Nitroglycerin in Bohrlochfuss konnte die benötigte Gliederung des Sprenggutes erreicht werden. In einem Steinbruch sortierten vier 2,5-m<sup>3</sup>-Löffelbagger die Steine beim Laden in die Stahlkästen; dahinter hoben zwei elektrische 15-t-Derricks von 25 m Ausladung die Kästen auf die Eisenbahnwaggons; ein 40-t-Raupenkran verlud die über 15 t schweren Steine. In den zwei Brüchen wurden 4500 t/24 h gefördert.

Der Kai —10,5 wurde als massive Betonblockmauer mit geneigten Lagerfugen der 50-t-Blöcke gebaut. Zur Gründung musste die Wassertiefe von —3 m auf 14,5 m ausgebaggert werden; auf eine 3 m starke Steinschüttung wurde ein 20 cm starkes Schotterbett mittels eiserner Rahmen durch Taucher sauber planiert zur Auflagerung der mittels 60-t-Schwimm-Kran versetzten Blöcke. Vor dem Versenken der Block-schichten mit geneigten Lagerfugen wurde aus Blöcken mit waagerechten Lagerfugen ein Prisma aufgebaut, welches als Widerlager für die geneigt gelagerten Blöcke dient. Zwei Taucher leiteten den Block unter Wasser an seinen endgültigen Platz, wobei sie sich mit Bodenpersonal und Kranführer durch eine Telefonanlage verständigten.

Für die Baggerarbeiten wurden eingesetzt: 1500- und 1750-l-Eimerkettenbagger, ein Spüler mit 1000 PS Pumpenleistung und 60 cm Spülrohrleitung, zwei 250-PS-Seeschlepper, zwei selbstfahrende Klappschuten 500 m<sup>3</sup>, 350 PS, vier Klappschuten zu 300 m<sup>3</sup> und zwei zu 150 m<sup>3</sup>. Zur Durchführung dieser Arbeiten waren während sechs Jahren im Mittel 700 Mann tätig; der Wert der eingesetzten Maschinen betrug 6 Mio USA-Dollars.

Erwin Schnitter