

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

**Band:** 56 (1958)

**Heft:** 4

**Artikel:** Elektronische Rechenanlagen und ihre Anwendungen im Vermessungswesen

**Autor:** Haller, Jakob

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-214370>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 18.03.2025

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

# Elektronische Rechanlagen und ihre Anwendungen im Vermessungswesen

Von Dr. Jakob Haller, Zürich

## 1. Einleitung

Die Idee des programmgesteuerten Rechnens ist schon seit längerer Zeit bekannt, aber erst die Möglichkeit der Elektronik erlaubten dessen Verwirklichung im größeren Maßstab. So entstanden vor ungefähr zehn Jahren die ersten Einzel- und Versuchsausführungen programmgesteuerter elektronischer Rechenmaschinen. Heute ist diese Stufe des Experimentierens bereits definitiv überwunden. Hunderte von Datenverarbeitungs- und Rechanlagen sind schon serienmäßig hergestellt worden und zum Teil seit Jahren in regelmäßigem Betrieb, wo sie dank ihrer Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit bei der Lösung technisch-wissenschaftlicher Rechenarbeiten, wie auch bei der Bearbeitung kommerzieller Planungs- und Abrechnungsaufgaben große Dienste leisten.

## 2. Elektronische Rechanlagen

Programmgesteuerte elektronische Rechenmaschinen haben die Fähigkeit, arithmetische Rechenoperationen (+, —, ×, :) und logische Entscheidungen nach einem vorgegebenen Rechenprogramm mit großer Geschwindigkeit abzuwickeln. Die interne Organisation einer solchen Maschine ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

Ein leistungsfähiges Speicheraggregat mit einer Kapazität von einigen tausend rund zehnstelligen Zahlen bildet die zentrale Einheit, welche Geschwindigkeit und Leistungsfähigkeit der Maschine bestimmt. Der

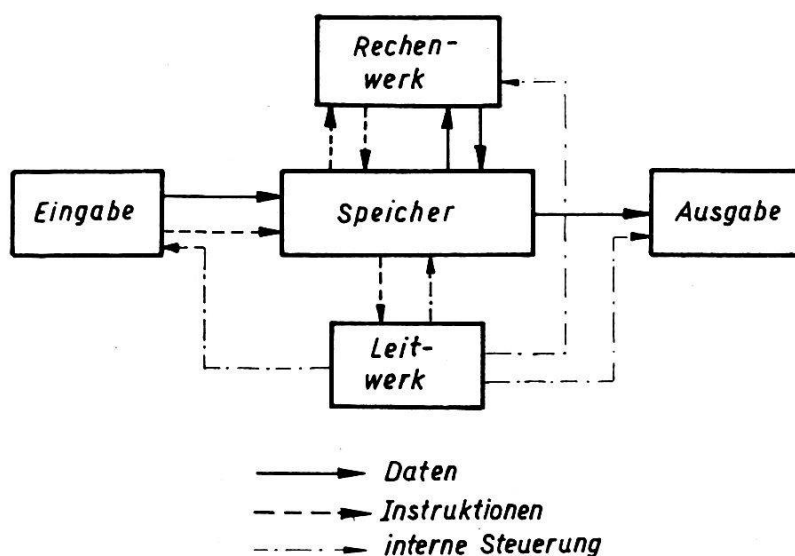


Abb. 1. Schematische Darstellung des Informationsflusses in einer programmgesteuerten elektronischen Rechenmaschine

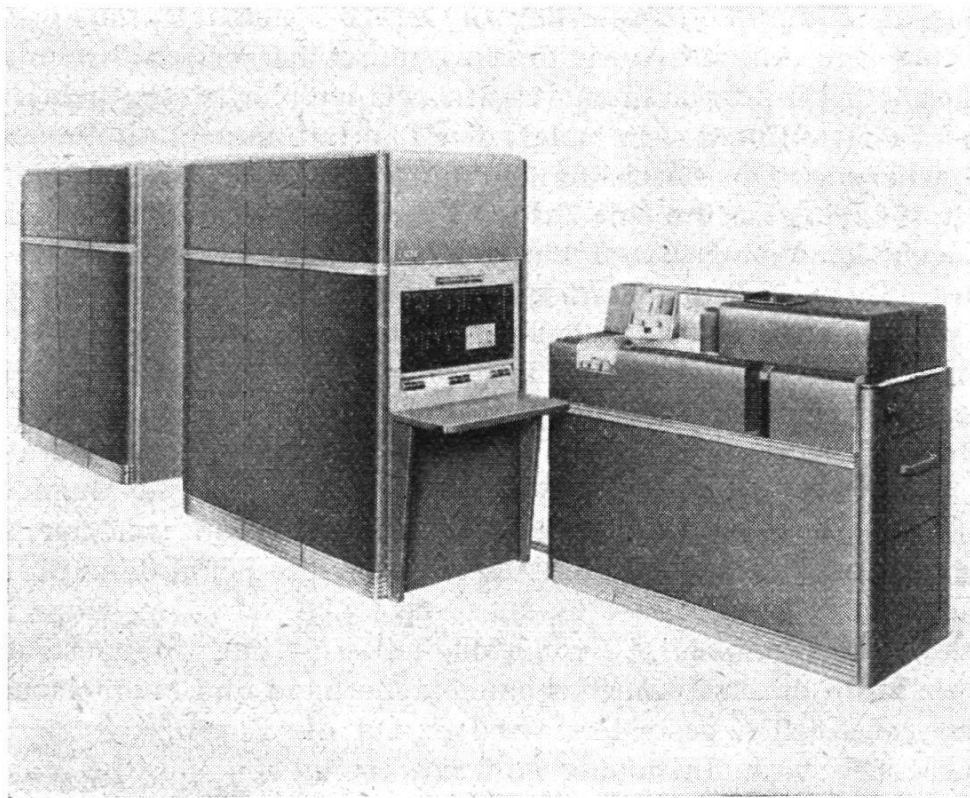


Abb. 2. Die IBM 650 als Beispiel einer mittelgroßen Rechenanlage. Mit über 800 im Betrieb stehenden Exemplaren ist dies der am weitesten verbreitete Typ

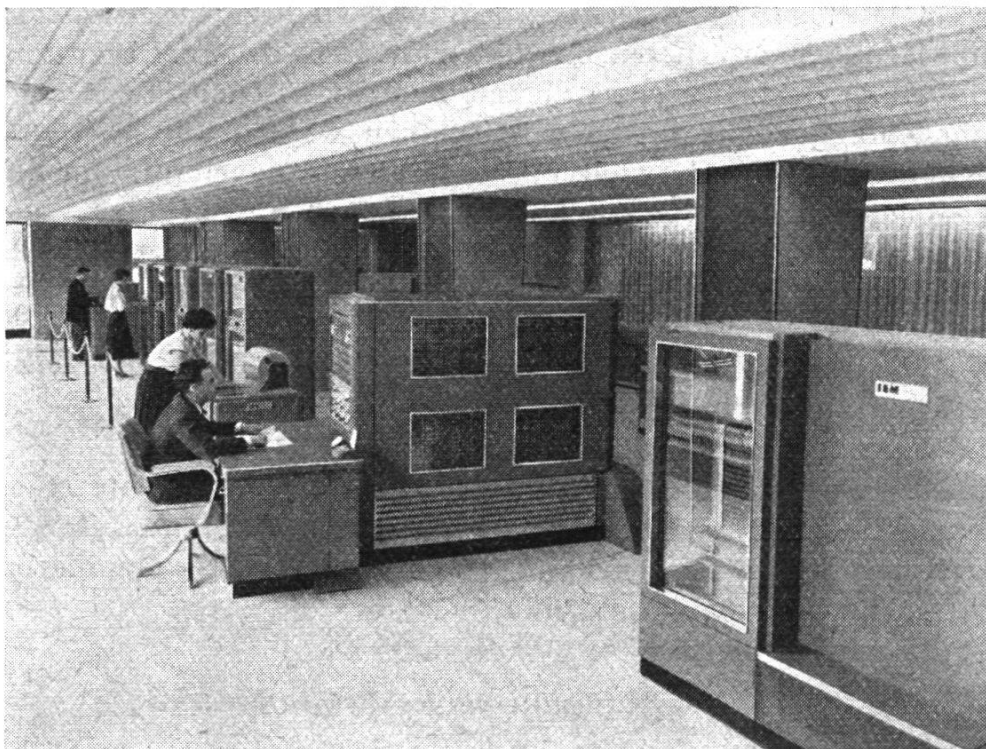


Abb. 3. Die IBM 704 Datenverarbeitungsanlage

Speicher dient zur Aufnahme der zu verarbeitenden Daten, der Zwischen- und Endresultate, sowie des in numerischer Verschlüsselung vorliegenden Rechenprogrammes. Heute werden im wesentlichen zwei Speicherkonstruktionen verwendet; die Magnettrommel und die Magnetkernspeicherung. Die Geschwindigkeit der Maschine ist abhängig von der Zeit, die nötig ist, um eine Zahl aus dem Speicher in das Rechenwerk zu bringen. Diese Zugriffszeit hängt stark vom verwendeten Speicherungsverfahren ab und dient geradezu zur Klassifikation einer Rechenmaschine. In mittelgroßen Anlagen (Abb. 2) werden im allgemeinen Magnettrommeln als Speicher benützt. Ihre Zugriffszeit ist durch die Umdrehungszahl gegeben und liegt in der Größenordnung von Millisekunden; folglich sind in solchen Maschinen gegen tausend Rechenoperationen pro Sekunde möglich. Große Maschinen (Abb. 3) sind mit Magnetkernspeichern ausgerüstet und haben Zugriffszeiten von wenigen Mikrosekunden, wodurch die Zahl der Operationen pro Sekunde in die Zehntausende gesteigert wird.

Die Speicherkapazität von Magnetkern- und Magnettrommel Speichern kann durch Ergänzung mit Magnetband und Magnetscheibeneinheiten wesentlich gesteigert werden. Da die Zugriffszeit zu diesen Erweiterungen verhältnismäßig groß ist, erfolgt die Verarbeitung über die Kern- beziehungsweise Trommelspeicher, wohin die Daten blockweise übertragen werden.

Das Rechenwerk enthält die elektronischen Schaltungen, welche zur Ausführung der arithmetischen Grundoperationen und der logischen Entscheidungen nötig sind. Die Technik des gespeicherten Programmes erlaubt nicht nur Daten zu verarbeiten, sondern auch Instruktionen zu modifizieren. Die dadurch erreichte Flexibilität stellt einen entscheidenden Vorteil gegenüber einfacheren Maschinen mit geschaltetem Programm dar.

Die große Rechengeschwindigkeit bedingt leistungsfähige Ein- und Ausgabeneinheiten. In mittleren Maschinen werden mit Vorteil Lochkartengeräte verwendet, während in großen Anlagen die Lochkarten durch Magnetbänder ergänzt werden. Einfachere Ein- und Ausgabeverfahren, wie zum Beispiel mit Papierstreifen oder gar manuelle Bedienung, sind verhältnismäßig langsam und gestatten in vielen Fällen nicht, die elektronische Geschwindigkeit der Rechenmaschine auszunützen.

Im Leitwerk werden die Instruktionen des Programmes, welche in numerischer Form vorliegen, analysiert und in Steuerimpulse für die verschiedenen Einheiten der Anlage umgewandelt.

Die Erfahrung zeigt, daß für den erfolgreichen Einsatz einer Rechenanlage die Betriebssicherheit, die zum Beispiel durch interne Selbstüberwachung erzielt werden kann, und die leichte Programmierbarkeit von entscheidender Bedeutung sind.

### *3. Die Bearbeitung eines Rechenproblems*

Die maschinelle Durchführung einer Rechenaufgabe zerfällt in mehrere Schritte, welche in Abbildung 4 schematisch dargestellt sind

und im folgenden einzeln diskutiert sowie am Beispiel der Transformation von Autographenkoordinaten in Landeskoordinaten illustriert werden.

1. Die mathematische Fassung eines Problems führt je nach der Aufgabenstellung zum Beispiel auf Differentialgleichungen bei Schwingungsaufgaben, auf lineare Gleichungssysteme bei statischen Berechnungen oder auch nur auf einfache numerische Zusammenhänge bei der Herstellung von Tabellen oder bei der Auswertung von Vermessungen.

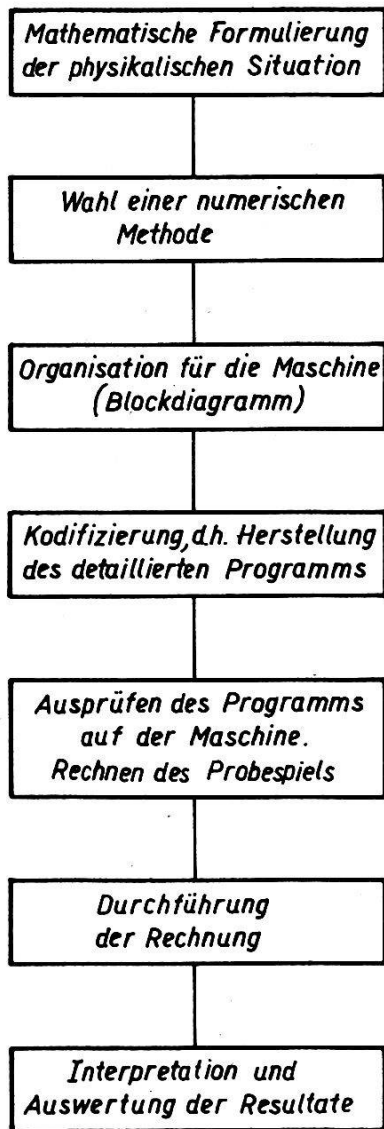


Abb. 4. Die Lösung einer technischen Aufgabe mit einer elektronischen Rechenmaschine

Für die Transformation der Autographenkoordinaten betrachten wir ein Modell (Abb. 5) mit  $n$  Fixpunkten  $F_i$ , von denen sowohl die Maschinenkoordinaten  $u_i v_i$  wie auch die Landeskoordinaten  $x_i y_i$  bekannt sind. Aus diesen Fixpunkten soll zum Beispiel nach der Methode der kleinsten Quadrate eine Transformationsformel hergeleitet werden, die es erlaubt, aus den Koordinaten  $u_k v_k$  einer größeren Anzahl

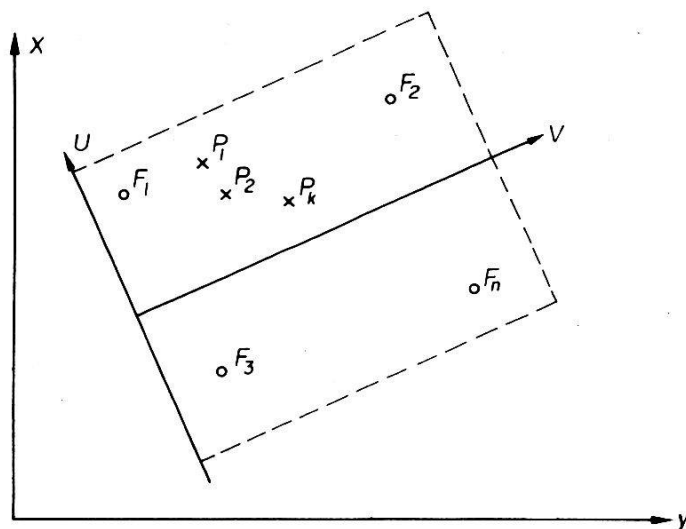


Abb. 5. Die Transformation von Autographen-Koordinaten

von Neupunkten  $n_k$  die Landeskoordinaten  $x_k y_k$  zu bestimmen. Setzt man für die Transformationsformeln

$$\begin{aligned} x_i &= A + Bu_i + Cv_i \quad \text{und} \\ y_i &= D + Eu_i + Fv_i, \end{aligned} \tag{1}$$

so lassen sich die Koeffizienten  $A, B, C, D, E, F$  bestimmen aus den linearen Gleichungssystemen

$$\begin{aligned}
 A \cdot n + B \cdot \sum u_i + C \cdot \sum v_i &= \sum x_i \\
 A \cdot \sum u_i + B \sum u_i^2 + C \cdot \sum u_i v_i &= \sum u_i x_i \\
 A \cdot \sum v_i + B \sum u_i v_i + C \sum v_i^2 &= \sum v_i x_i
 \end{aligned} \tag{2}$$

und

$$\begin{aligned}
 D \cdot n + E \cdot \sum u_i + F \cdot \sum v_i &= \sum y_i \\
 D \cdot \sum u_i + E \cdot \sum u_i^2 + F \cdot \sum u_i v_i &= \sum u_i y_i \\
 D \cdot \sum v_i + E \sum u_i v_i + F \cdot \sum v_i^2 &= \sum v_i y_i
 \end{aligned} \tag{3}$$

wobei die Summation über alle Fixpunkte zu erstrecken ist.

2. Da die mathematische Formulierung des Problems in vielen Fällen nicht angibt, wie die gesuchten Größen mittels elementarer, arithmetischer Operationen und logischer Entscheidungen erhalten werden können, ist es nötig, ein Rechenrezept, das heißt eine numerische Methode, zu finden. Bei Differentialgleichungen handelt es sich um die Angabe eines

Integrationsverfahrens, zum Beispiel nach Runge-Kutta oder Adams; bei Gleichungssystemen bedeutet es die Anwendung eines Algorithmus. In vielen Fällen genügen zum Beispiel Approximationsformeln für sin, cos, log und andere transzendente Funktionen.

Im Falle der Transformation der Autographenkoordinaten würde sich das Aufsuchen der numerischen Methode auf die Angaben einer Auflösungsformel für die beiden linearen Gleichungssysteme beschränken. In der Praxis kann sogar noch auf diesen Schritt verzichtet werden, da für solche sich oft wiederholende Aufgaben vorbereitete Unterprogramme vorhanden sind, welche in das Rechenprogramm eingebaut werden können.

3. Die Organisation des Problems für die Maschine resultiert in einem Blockdiagramm, welches über die Reihenfolge der einzelnen Operationen genauen Aufschluß gibt. Von wesentlicher Bedeutung für die spätere Benützung des Rechenprogramms ist die Gestaltung der Dateneingabe und -ausgabe, da dadurch der Umfang der jeweils notwendigen manuellen Vorbereitungsarbeit weitgehend bestimmt wird.

Das Blockschema für die Transformation der Autographenkoordinaten ist in Abbildung 6 dargestellt. Der Ablauf basiert auf der Annahme, daß für jeden Fixpunkt und Neupunkt eine Lochkarte hergestellt wird, in welcher Modellnummer, Punktnummer, die

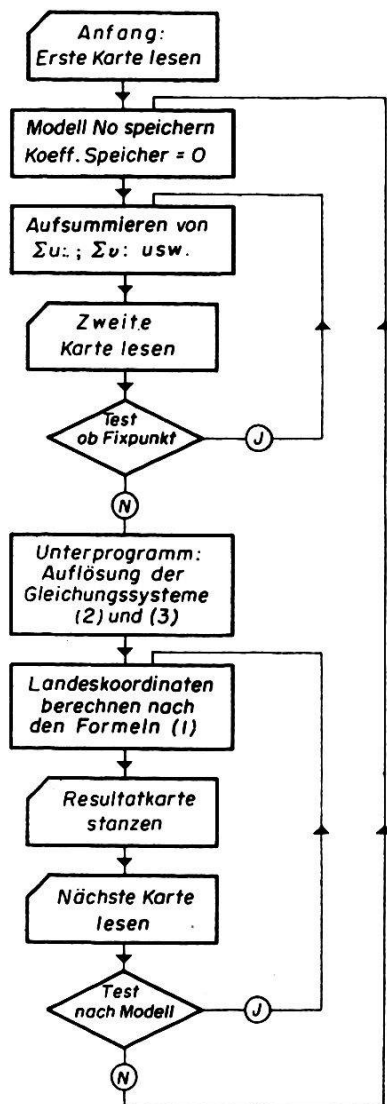


Abb. 6. Blockschema für die Transformation von Autographen-Koordinaten

Autographenkoordinaten und im Falle der Fixpunkte auch die Landeskoordinaten eingelocht sind. Ferner seien diese Karten nach Modellnummern sortiert, wobei innerhalb eines Modells die Fixpunktkarten den Neupunktkarten vorangehen.

4. Für die Kodifizierung, das heißt die Herstellung des detaillierten Programmes, bestehen mehrere Möglichkeiten. Für ein häufig anzuwendendes Programm wird es sich lohnen, einen größeren Programmieraufwand in Kauf zu nehmen, um die Rechenzeit möglichst klein zu halten. Für eine einmalige kurze Rechnung wird man dagegen ein abgekürztes Programmierverfahren wählen, wodurch die Programmierzeit auf Kosten der Rechenzeit vermindert werden kann.

Am nächstliegenden ist die Programmierung in der sogenannten Maschinensprache durch detailliertes Ausschreiben sämtlicher Instruktionen, wie sie von der Maschine unmittelbar verarbeitet werden können. In dem heute am häufigsten verwendeten Einadreßsystem wird die Addition  $A + B = C$  in 3 Teiloperationen zerlegt und sieht unter Annahme der Zellenzuteile  $A$  in 0101,  $B$  in 0102 und  $C$  in 0103 zum Beispiel wie folgt aus:

60	0101	Setze den Inhalt von 0101 ins Rechenwerk
15	0102	Addiere den Inhalt von 0102 ins Rechenwerk
20	0103	Speichere den Inhalt des Rechenwerks in 0103.

Die ersten zwei Ziffern bilden den Code, welcher die Operation angibt, die nächsten vier Ziffern bezeichnen die Speichernummer oder Datenadresse.

Es ist leicht einzusehen, daß ein großer Teil dieser Kodifizierungsarbeit rein mechanisch ist. Deshalb sind Methoden entwickelt worden, die es gestatten, in der Form mnemotechnisch günstiger Symbole nur das absolute Minimum zu schreiben. In einem der eigentlichen Rechnungsvorgangenden Durchlauf werden dann diese Symbole von der Maschine selbst in ihre Sprache übersetzt, wobei die einzelnen Größen in die für einen raschen Rechenablauf optimalen Speicherzellen gebracht werden. Diese Methode bezeichnet man als symbolische Programmierung.

Bei der Bearbeitung technischer Aufgaben benötigt man wiederholt vorkommende Funktionen, wie Quadratwurzeln, Sinus-, Cosinusfunktionen usw. Deshalb ist die Methode der im voraus hergestellten Unterprogramme entwickelt worden, welche bei Bedarf in das Rechenprogramm eingefügt werden können. Noch einen Schritt weiter gehen die sogenannten interpretativen oder Übersetzungssysteme, welche aus einer größeren Anzahl solcher Unterprogramme bestehen. Die Programmierarbeit reduziert sich dadurch auf das Aneinanderreihen der entsprechenden Unterprogramme. Solche interpretativen Systeme sind zum Beispiel vorhanden für das Rechnen mit komplexen Zahlen, für das Rechnen mit Matrizen, für das Rechnen mit erhöhter Genauigkeit, für das Rechnen im gleitenden Komma usw.

Die größte Erleichterung bietet die automatische Programmierung, wie sie zum Beispiel im FORTRAN-System (*FOR*mular *TRAN*slating,

für die IBM 704 verwirklicht worden ist. In diesem System wird das Problem in einer leicht modifizierten mathematischen Formelsprache, der FORTRAN-Sprache, geschrieben und mit dem FORTRAN-Übersetzungsprogramm von der Maschine selbst in ihre eigene Sprache übersetzt. Die Programmierung des Ausdruckes

$$(x^2 - y^2) e^{(x-y)}$$

beschränkt sich dann auf die Umformung in

$$\{(x * x) + (y * y)\} * \{e ** (x - y)\}$$

Der Erfolg dieser Methode führte zur Einführung der FORTRAN-Sprache für alle IBM-Daten-Verarbeitungsmaschinen von der 650 bis zum Stretch, der schnellsten zur Zeit im Bau befindlichen Maschine, welche pro Sekunde 800 000 Multiplikationen oder 1 600 000 Additionen ausführen wird.

Da die Transformation der Autographenkoordinaten eine verhältnismäßig oft auftretende Aufgabe darstellt, wird es sich lohnen, ein Programm in Maschinensprache herzustellen. Abb. 7 zeigt einen Ausschnitt aus diesem Rechenprogramm. Links sind die von Hand in symbolischer Form niedergeschriebenen Instruktionen angegeben, rechts die von der Maschine hergestellte Übersetzung in ihre eigene Sprache.

5. Einen wichtigen Schritt bildet die Ausprüfung des Rechenprogramms auf der Maschine an Hand eines manuell gerechneten Probebeispiels. Dieses soll alle vorkommenden Rechenfälle enthalten. Wenn eventuell vorhandene Fehler nicht aus der Art der Resultate bestimmt werden können, so ist es nötig, das ganze Programm schrittweise zu kontrollieren. Dies kann zum Beispiel durch manuelle Auslösung der einzelnen Operationen auf der Maschine geschehen. Zur Begrenzung des Aufwandes benützt man aber sogenannte Tracing-Programme, welche die Maschine veranlassen, innert weniger Minuten ein Protokoll zu schreiben, welches den Rechenablauf instruktionsweise festhält. Ohne weitere Belegung der Maschine kann dann das Programm am Schreibtisch in aller Ruhe kontrolliert werden.

6. Sobald das Rechenprogramm in Ordnung ist, kann die eigentliche Rechenarbeit auf der Maschine durchgeführt werden. Dieser Schritt beschränkt sich auf die Eingabe des Programms und der Daten in die Maschine, worauf der ganze Vorgang automatisch abläuft.

7. Von großer Bedeutung für den zuverlässigen Betrieb einer Rechenanlage ist die geordnete Aufbewahrung der Programme und der Probespiele sowie ein sorgfältiges Nachführen eventueller Erweiterungen und Änderungen.

#### *4. Anwendungen*

Auf elektronischen Rechenmaschinen können Probleme aus allen Gebieten der Wissenschaft und Technik gelöst werden. Neben der Transformation der Autographenkoordinaten seien als typische Möglichkeiten im Vermessungswesen genannt:



## SYMBOLISCHES PROGRAMM

## PROGRAMM IN MASCHINENSPRACHE

Speicher- stelle	Operations- code	Daten- adresse	Nächste Instruktion	Speicher- stelle	Operations- code	Daten- adresse	Nächste Instruktion
DREI	NAD	U		0038:	60	0253	0007
	ADD	SUM U		0007:	10	0201	0005
	SPN	SUM U		0005:	21	0201	0004
				0004:			
	NAD	V					0051
	MLT	V					0009
	ADD	SUM U2		0051:	60	0254	0043
	SPN	SUM U2		0009:	19	0254	0011
	LNK	L		0043:	10	0207	0010
	NAD	KTYP		0011:	21	0207	0022
	VZN	DREI	SECHS	0010:	70	0251	0013
SECHS	UPR	SIEBN	LINGL	0022:	60	0258	0017
SIEBN				0013:	46	0038	0300
				0017:	69	0027	
				0027:			

Abb. 7. Ein Ausschnitt aus dem Rechenprogramm für die Transformation der Autographen-Koordinaten

Die Ausgleichsrechnung mit der Auflösung von umfangreichen linearen Gleichungssystemen,  
der Streifenvergleich von Aerotriangulationen,  
Flächenberechnungen,  
Gradientenberechnungen,  
Volumenberechnungen im Straßen- und Stollenbau,  
Berechnungen von Vektor-Messungen,  
Auswertungen von Vorwärts- und Rückwärts-Einschnitten usw.

Anwendungsbeispiele aus andern Gebieten der Technik sind:

Integration von Differentialgleichungssystemen,  
Auflösung von algebraischen Gleichungen,  
Inversion von Matrizen,  
Bestimmung der Eigenwerte von Matrizen,  
Fourier-Analyse,  
Numerische Integration,  
Inversion der Laplace-Transformation,  
Tabellierung von Funktionen,  
Berechnung von elektrischen Netzwerken,  
Automatische Konstruktion von elektrischen Maschinen,  
Projektierung von Freileitungen,  
Bestimmung der Abstrahlung von Antennen,  
Ermittlung der Wellenausbreitung,  
Dimensionierung von elektrischen Filtern,  
Untersuchung von Stabilitätsfragen,  
Berechnung von Atomreaktoren,  
Untersuchung von Wärmeleitungsproblemen,  
Simulierung von Betriebsbedingungen zur Ermittlung der Stabilität,  
Bestimmung von kritischen Drehzahlen,  
Untersuchung von Strömungsproblemen,  
Berechnung von Nockenformen,  
Berechnung von Zahnradprofilen,  
Berechnung von Wärmeaustauschern,  
Auswertung von Versuchsreihen,  
Bestimmung von Flatterschwingungen,  
Auswertung von Flugversuchen,  
Berechnung von Flugbahnen,  
Analyse der Kristallstruktur,  
Bestimmung optischer Strahlengänge,  
Berechnung von Betonkonstruktionen, zum Beispiel Staumauern,  
Dimensionierung von Wasserschlossern,  
Untersuchung von Entwässerungsproblemen.

Ferner aus dem Gebiete der kommerziellen Planung und Abrechnung,  
zum Beispiel:

Auswertung von Statistiken,

Bestimmung der Auswirkung von Änderungen in Material- und Lohnkosten,  
Berechnung der Auswirkung von Änderungen in Steuertarifen,  
Lineare Programmierung, zum Beispiel für Misch- oder Transportprobleme,  
Tarifrechnungen in der Versicherungsmathematik usw.,  
Projektierung von Autobahnen,  
Bestimmung von Zufallszahlen,  
Bestimmung des optimalen Einsatzes des Rollmaterials in Eisenbahnbetrieben,  
Auswertung von Marktanalysen,  
Automatische Terminierung,  
Vorausbestimmungen der Maschinenbelastung.

Viele dieser Arbeiten werden erleichtert durch das Vorhandensein von Bibliotheksprogrammen, die zum Beispiel von den Herstellerfirmen der Maschinen oder von wissenschaftlichen Organisationen gesammelt und Interessenten zur Verfügung gestellt werden. Neben den immer wiederkehrenden mathematischen Standardproblemen umfassen solche Sammlungen auch Programme für sehr spezielle technische Anwendungen.

Für die Verbreitung des elektronischen Rechnens spielen die Rechenzentren eine entscheidende Rolle. Solche Organisationen bestehen bereits in vielen Ländern, sei es als Hochschulinstitute oder als Unternehmen der Privatwirtschaft. Außer leistungsfähigen Maschinen und reichhaltigen Programmbibliotheken verfügen sie über Mitarbeiter, die im elektronischen Rechnen speziell ausgebildet sind. Sie geben Interessenten die Möglichkeit, Rechenarbeiten programmieren zu lassen oder selbst hergestellte Programme durchzurechnen, ohne die mit der Anschaffung solcher Maschinen verbundenen notwendigen Investitionen machen zu müssen.

## **Sur l'application en géodésie des théorèmes de Gauss-Bonnet et de Tchebychef-Darboux relatifs aux projections conformes**

*Par A. Ansermet*

Le premier de ces théorèmes fut déjà évoqué succinctement dans ces colonnes et il a paru opportun de rechercher l'intérêt qu'il peut présenter dans son application; quant au second de ces théorèmes, il n'est pas sans corrélation avec le premier et un cas concret révélera le rôle qu'il peut jouer en pratique. Pour ne pas donner trop d'ampleur à ce texte seules seront considérées les projections à variables dissociées et celles à axe neutre (pour la Suisse l'axe  $x = 0$ ). Ces dernières sont les plus répandues, mais il faut reconnaître, qu'au point de vue purement mathématique, elles constituent une solution un peu simpliste du problème posé; d'autres éléments jouent en effet un rôle dans le choix d'un système de coordonnées