



---

**Title:** Rechenautomaten im Dienste der Technik.  
Erfahrungen mit dem Zuse-Rechenautomaten Z4.  
Diskussion

**Author(s):** Eduard Stiefel

**Date:** ?

**Published by:** Konrad Zuse Internet Archive

**Source:** Document - ZIA ID: 0010

---

The Konrad Zuse Internet Archive preserves and offers free access to the digitized original documents of Konrad Zuse's private papers and to other related sources.

The Konrad Zuse Internet Archive is a nonprofit service that helps scholars, researchers, students and other interested parties discover, use and build upon a wide range of content in a digital archive. For more information about the Konrad Zuse Internet Archive, please contact [zusearchive@zib.de](mailto:zusearchive@zib.de).

---

Your use of the Konrad Zuse Internet Archive indicates your acceptance of the Terms & Conditions of Use (<http://zuse.zib.de/tou>) including the following license agreement. If you do not accept the Terms & Conditions of Use you are not permitted to use the material.

This work by Konrad Zuse Internet Archive is licensed under a  
Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License  
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>).  
Based on a work at <http://zuse.zib.de>



**Attribution (BY)** - You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor (but not in any way that suggests that they endorse you or your use of the work). Attribute with "Konrad Zuse Internet Archive (<http://zuse.zib.de>)".

**Noncommercial (NC)** - You may not use this work for commercial purposes.

**Share Alike (SA)** - If you alter, transform, or build upon this work, you may distribute the resulting work only under the same or similar license to this one.

The usage of this document requires the consideration of possible third party copyrights, and might necessitate obtaining the consent of the copyright holder. The Konrad Zuse Internet Archive assumes no liability with respect to the rights of third parties. The Konrad Zuse Internet Archive is not responsible for the claims of any third party resulting from any infringement of copyright laws.

## Rechenautomaten im Dienste der Technik

Erfahrungen mit dem Zuse-Rechenautomaten Z<sub>4</sub>

Professor Dr. math. *Eduard 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 abstastet. 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 voraussetzen<sup>1</sup> und ebenso seine Einzelteile (Rechenwerk, Leitwerk, 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 beinhalten 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 Rechenstage 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

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

041/002 0062

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.

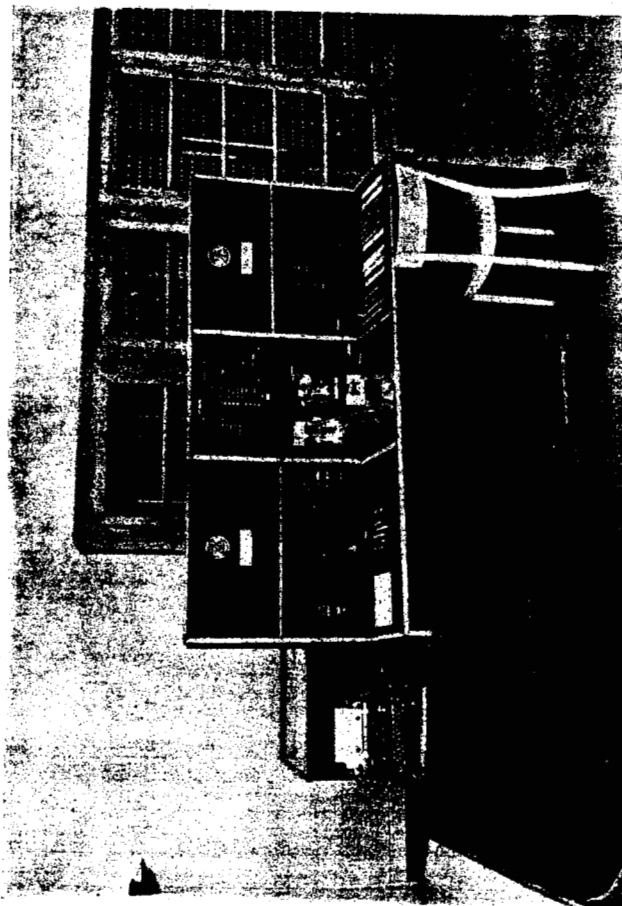


Abb. 1

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 Bandenspektren<sup>3</sup>. 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.

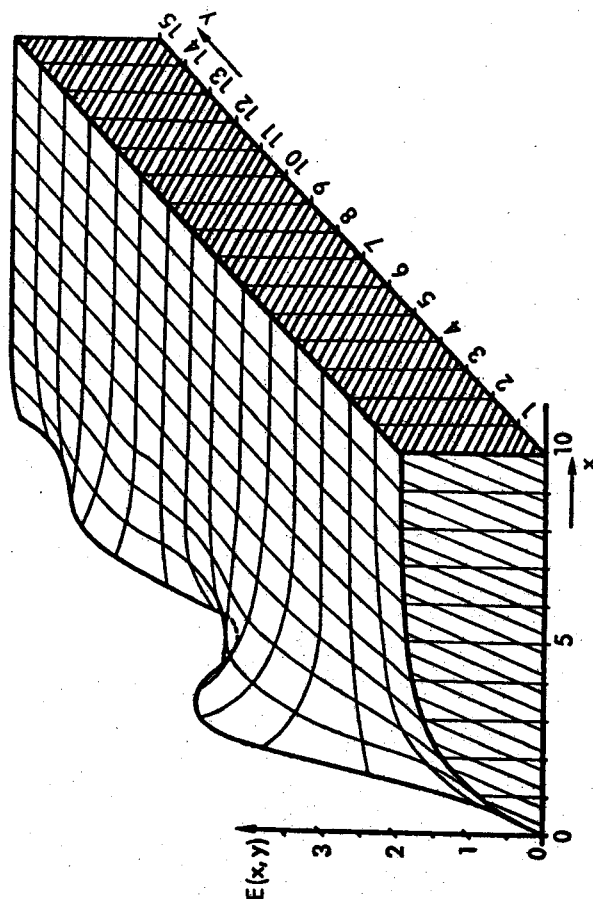


Abb. 3

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.)

<sup>3</sup> 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).

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

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 Integrationschritte) 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 neigen<sup>6</sup>, falls wirklich viele Integrationschritte 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 Geschoss-Flugbahnen; die  $Z_4$  hat monatelang mit demselben Programm an solchen gerechnet.

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

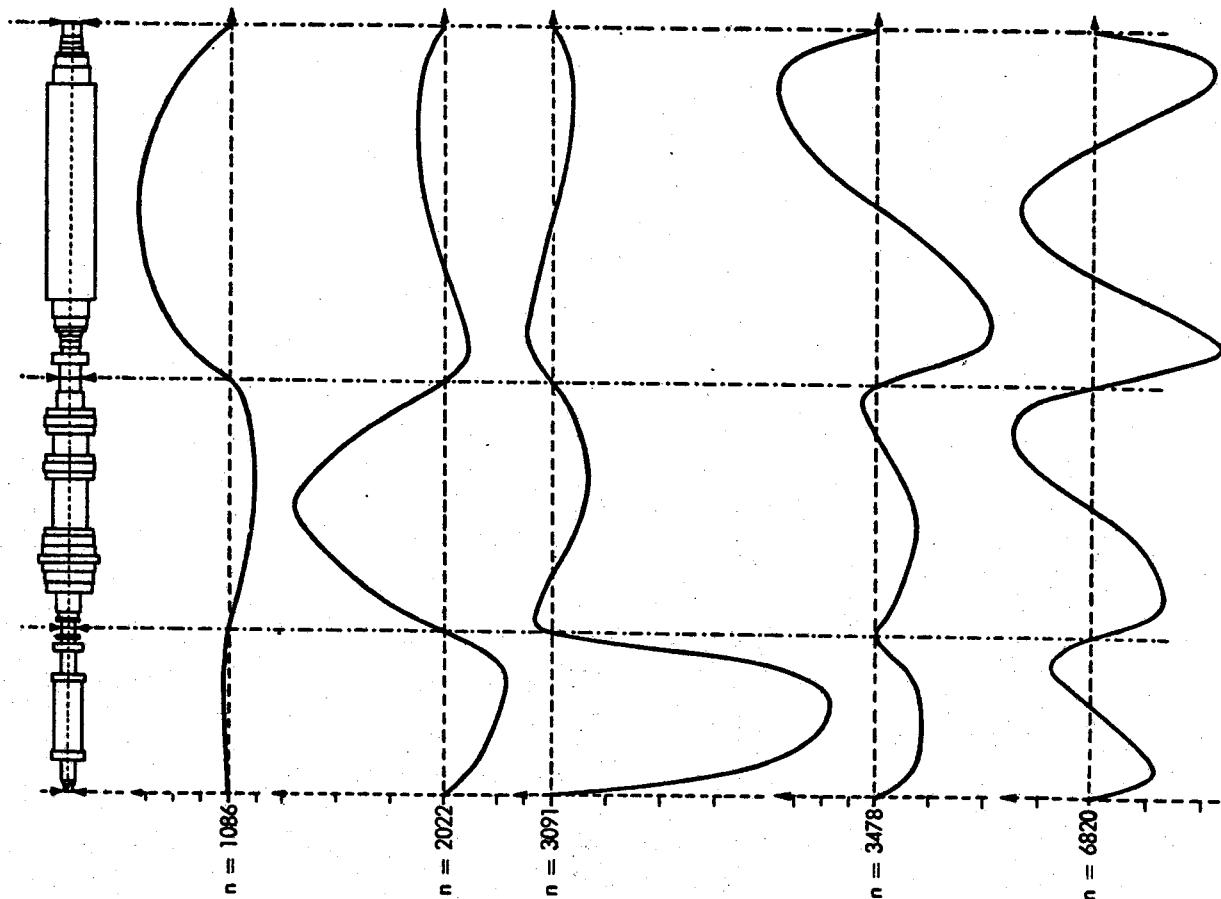


Abb. 5

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

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

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 *Boussinesq'sche* 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 Differenzgleichungen hat einige theoretische Untersuchungen veranlaßt.<sup>10</sup>

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<sub>4</sub> betrafen folgende Aufgaben: Störungsrechnungen in der Astronomie, Berechnung eines elektrischen Stoß-Generators, Strahlendurchgang durch optische Systeme, Ausgleichung von photogrammetrischen Streifenaufnahmen, harmonische Analysen, Berechnungen zur pneumatischen Förderung von Getreide. Orientierende Berechnungen für die Kon-

<sup>10</sup> 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 Analogue-Rechengern<sup>11</sup> 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 zugänglicher.
3. Automaten können teilweise kostspielige Versuchsanordnungen ersetzen.
4. Die feinere Berechnung des Kräftefelds 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.

<sup>11</sup> A. P. Speiser: Rechengänge mit linearen Potentiometern (Zeitschrift für angewandte Math. und Physik III, 1952).

M. A. Abdel-Messib: 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).



*Professor Dr. phil. Guido Hoheisel*

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 beherrscht 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 Zählwerkes 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 Schwebungssumme durchmessen und auf einem Oszillographenschirm unmittelbar die Schwingungsfrequenzen und vielleicht sogar die Intensitäten ablesen. Dafür genügen 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

Algorithmus leicht und rasch durch. Diese Möglichkeit ist längst nicht bekannt genug und wird von der Praxis nicht entfernt ausgenutzt, 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 Auflöser 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 Spezialmaschinenengattung 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 jahrzehntlang 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.



das ich gut kenne, weil meine Mitarbeiter daran gearbeitet haben, da es in einem unserer Probleme vorkam. Wir wollten meteorologische Voraussetzungen 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 Polarpjektion.) 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 Ausgleichungs- und Schließungs-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 Ausgleichungsrechnung 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 behebbare. Die elektrischen Radiosondennmeldungen 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 geführt werden.

*Professor Dr. rer. techn. Alwin 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 Zahlenheorie 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 ruht 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 ein-drucksvoll 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. Dreier im Sommersemester 1954 eine Vorlesung über Lochkarten-

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

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 Walthert* 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.

*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 Maschinennutzen 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 angreifen 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-