

DER MATHEMATISCHE UND NATURWISSENSCHAFTLICHE UNTERRICHT



Band 23, 1970, Heft 5

FERD.  ÜMMLERS VERLAG · BONN / HIRSCHGRABEN-VERLAG · FRANKFURT/M.

Über das neue Studienfach Informatik

Von G. ALEFELD, J. HERZBERGER und O. MAYER,
Karlsruhe

In den letzten zwei Jahren wurde an mehreren deutschen Hochschulen und Universitäten das neue Studienfach Informatik eingeführt. Unter Informatik versteht man den Komplex der Wissenschaften von elektronischen Rechenanlagen und der Wissenschaften über die Grundlagen ihrer Anwendung. Das Studium der Informatik spricht insbesondere mathematisch interessierte und begabte junge Menschen an, die auch für die Anwendungen der Mathematik aufgeschlossen sind. Diese Arbeit soll den Mathematik- und Physiklehrern an den Gymnasien über Inhalt und Aufgaben der Informatik berichten, so daß sie an diesem neuen Fach interessierte Schüler gegebenenfalls beraten können.

Die Informatik verdankt ihre Entstehung der in den letzten Jahren explosionsartig zunehmenden Verwendung von elektronischen Datenverarbeitungsanlagen in allen Bereichen der Technik, Wissenschaft und Verwaltung. Diese Entwicklung machte es notwendig, die hierzu bisher von den verschiedensten Bereichen der Technologie und der theoretischen Wissenschaften betriebene Forschung zu koordinieren und unter übergeordneten Gesichtspunkten auf alle mit der Anwendung von Rechenanlagen zusammenhängenden Fragen zu verbreitern. Damit entstand nicht nur eine neue selbständige Fachwissenschaft, sondern eine generalisierende und viele Wissensgebiete integrierende Disziplin. Diese wird Informatik¹⁾ genannt. Die gesamte Informatik gliedert sich in die folgenden Teilgebiete:

1. Die theoretische Informatik: Sie gehört zu den klassischen Bereichen der Informatik. Ihre Hauptzweige sind die Theorie der Berechenbarkeit, die

¹⁾ Daneben wird als Synonym auch die aus dem angelsächsischen Sprachraum stammende Bezeichnung «Computer Sciences» verwendet. Der Ursprung des Wortes Informatik wird im allgemeinen auf das französische «Informatique» zurückgeführt, das nach der Definition der Alliance Française denselben Wissenschaftsbereich bezeichnet.

Automatentheorie und die Theorie der formalen Sprachen.

2. Die technische Informatik: Sie umfaßt nach heutiger Sicht Rechnerorganisation, Entwurf von Schaltwerken und Bausteinen, Systemprogrammierung, Programmiersprachen und ihre Übersetzer, Kommunikation Maschine-Mensch, Systeme zur Informationsverwaltung, Verfahren zur digitalen Verarbeitung kontinuierlicher Signale usw.
3. Die angewandte Informatik: Zu ihr gehören die Anwendungsgebiete wie kommerzielle Datenverarbeitung, Operations Research, Regelungstheorie, maschinelle Lösung mathematischer Probleme u. a.

Im folgenden wird auf die einzelnen Teilgebiete näher eingegangen.

1. Die theoretische Informatik

Die hierher gehörenden Teilbereiche sind zunächst einmal wichtige Teilgebiete der Mathematik und bilden darüber hinaus einen wesentlichen Bestandteil der Grundlagen der Informatik. Dieser Zusammenhang wird am deutlichsten in der Theorie der Berechenbarkeit. Der zentrale Begriff in der Theorie der Berechenbarkeit ist der Algorithmus; intuitiv versteht man darunter ein allgemeines Verfahren zur Lösung einer Klasse von Problemen, das durch eine eindeutige Vorschrift bis in alle Einzelheiten festgelegt ist. Die Theorie der Berechenbarkeit untersucht Präzisierungen dieses intuitiv gegebenen Begriffs; derartige Präzisierungen sind notwendig für den Nachweis der Unlösbarkeit gewisser Probleme, d. h. der Aussage, daß es keinen Algorithmus zu ihrer Lösung gibt (Beispiel: Das berühmte Entscheidungsproblem der Prädikaten-Logik, dessen Unlösbar-

keit von CHURCH 1936 bewiesen wurde). Die heute wichtigen Präzisierungen stammen von GÖDEL (1934), CHURCH (1936), TURING (1936/37) und MARKOV (1951). Der Nachweis ihrer Äquivalenz gehört zu den zentralen Resultaten der theoretischen Informatik.

Die Automatentheorie untersucht abstrakte mathematische Modelle für den Aufbau und das Verhalten informationsverarbeitender Maschinen (Automaten, sequentieller Maschinen). Am Anfang stehen die Arbeiten von TURING, der zur Präzisierung des Algorithmusbegriffs das Konzept der nach ihm benannten Turingmaschine entwickelte. Die ersten systematischen Untersuchungen über Automaten gehen zurück auf MOORE (1955). Die heutige Forschung ist gekennzeichnet durch die Entwicklung von Automaten mit immer komplexerer algebraischer Struktur und der Entwicklung ständig neuer Anwendungsmöglichkeiten, etwa in der Nachrichtentechnik (Entwurf von Schaltwerken), in der Programmierung von Rechenanlagen, in der Biologie und Soziologie (Verhaltensmodelle), in der Pädagogik (Erfassung von Lernprozessen) und in der Linguistik (Analyse und Synthese von Sprachen).

Mit der Automatentheorie eng zusammen hängt die Theorie der formalen Sprachen. Sie wird begründet durch die Arbeiten von CHOMSKY (ab 1955). Diese gehen aus von linguistischen Untersuchungen über die Struktur natürlicher Sprachen und entwickeln den Begriff der formalen Sprachen als abstraktes mathematisches Modell möglicher natürlicher Sprachen. Hauptgebiet der Forschung war und ist die Untersuchung verschiedener Grammatiken (Regelsysteme) zur Erzeugung formaler Sprachen und ihrer Zusammenhänge mit verschiedenen Automatentypen. Aktuelle Anwendungen liegen u.a. bei linguistischen Untersuchungen natürlicher Sprachen, auch im Hinblick auf automatische Sprachübersetzung sowie in der Entwicklung von Programmiersprachen für Rechenanlagen.

2. Die technische Informatik

Zur technischen Informatik rechnet man zunächst einmal die Technik der Rechenanlagen im engeren Sinne. Dies betrifft den Entwurf der Schaltwerke, Rechenwerke, Speicherelemente und der sonstigen Bausteine, welches man alles mit dem Sammelbegriff »hardware« umschreibt. Anfangs machte dieser Fragenkreis bei der Weiterentwicklung von funktionstüchtigen Rechenanlagen den Hauptanteil aus. Doch bei der zunehmenden Neuentwicklung und der rasch fortschreitenden Verfeinerung der hierbei angewandten Technologien wurden solche Untersuchungen inzwischen immer mehr zu speziellen Forschungsbereichen der einschlägigen Ingenieurwissenschaften wie etwa der Nachrichtentechnik. Infolgedessen entstanden auch dort im Bereich der Hochschule spezielle Ingenieurstudienrichtungen für Informatik. Innerhalb der Informatik selbst befaßt man sich heute jedoch nur noch mit den grundsätzlichen Fragen

der Konzeption und der funktionellen Wirkungsweise solcher wesentlichen Bauelemente. So beschäftigt sich die Maschinarithmetik u.a. mit dem Entwurf des Schaltkreises eines Rechenwerkes bei vorgelegter dualer Zahldarstellung, um einen optimalen zeitlichen und mathematisch befriedigenden (Rundungsfehler) Rechenablauf zu gewährleisten. Dagegen ist die technische Realisierung und die eigentliche Konstruktion heute Aufgabe der Ingenieure.

Der Informatiker hat in erster Linie das prinzipielle Zusammenspiel der einzelnen größeren Funktionseinheiten einer Rechenanlage im Auge. Schematisch gesehen läßt sich ein Rechner im wesentlichen aufgliedern in Steuerwerk, Rechenwerk, Arbeitsspeicher, Ein- und Ausgabe. Erst ein ausgeklügeltes Zusammenwirken solcher Funktionseinheiten versetzt den Rechner in die Lage, nacheinander oder teilweise sogar parallel sinnvolle Operationen auszuführen. Als solche kann man z.B. den Transport einer Zahl vom Speicher in ein bestimmtes Register, die Addition zweier ganzer Zahlen im Adreßrechenwerk usw. ansehen. Für die Ausführung derartiger elementarer Operationen hat jede Maschine einen eingebauten Satz von Maschinenbefehlen. Die Programmierung in diesem Maschinencode gestattet zwar dem geübten Spezialisten die Erstellung von sehr effektiv ablaufenden Programmen für jede einzelne Maschine, sie ist aber für den breiten Benutzerkreis zu kompliziert und langwierig. Aus diesem Grunde wurden schon relativ frühzeitig benutzerfreundliche Programmiersprachen entwickelt. Solche Sprachen gestatten es dem Benutzer, sein Programm in einer dem jeweiligen Problemkreis angepaßten Ausdrucksweise zu formulieren. Derartige problemorientierte Programmiersprachen sind etwa im technisch-naturwissenschaftlichen Bereich (vor allem für numerische Zwecke) die bekannten Sprachen ALGOL 60 und FORTRAN IV und für kommerzielle Bedürfnisse COBOL. Gleichzeitig existieren für noch eingeschränktere Anwendungsbereiche Programmiersprachen wie LISP, SYMBAL, SCALLOP, MATLAN usw. In der Informatik versucht man nun einerseits die Vorteile und Möglichkeiten aller derartiger problemorientierten Sprachen in sogenannten Universalsprachen zu vereinen. Zu diesen rechnet man heute etwa ALGOL 68 und PL/I. Ein anderes Ziel der Forschung in der Informatik ist heute die Entwicklung von möglichst praxisnahen Anwendersprachen und deren saubere Beschreibung mit den Mitteln, wie sie die eingangs erwähnte Theorie der formalen Sprachen bietet.

Ein in einer problemorientierten Sprache vom Benutzer geschriebenes Quellenprogramm wird nach seiner Eingabe in den Rechner maschinell durch einen Compiler in ein Objektprogramm, d.h. eine Folge von Maschinenbefehlen umgesetzt. Das auf diese Weise durch den Compiler hergestellte Objektprogramm ist gewöhnlich länger und umständlicher als ein entsprechendes Programm, das von Hand unter Ausnutzung der speziellen Maschineneigenschaften im Maschinencode er-

stellt wurde. Damit gelangt man zu den Problemen eines weiteren wichtigen Zweiges der Informatik, der neue und bessere Möglichkeiten der Compilerentwicklung sucht. Dabei verfolgt man im einzelnen etwa folgende Zielsetzungen: Erzeugung effektiverer Objektprogramme, gute Syntaxanalyse und Fehlerdiagnose, Eingriffsmöglichkeiten für Korrekturzwecke, rationellere Speicherausnutzung u. a. Die dabei entwickelten grundlegenden Methoden, wie Listenverarbeitung, Suchverfahren, Codierung usw. erfordern eine Reihe mathematischer Überlegungen. Zur Formulierung solcher Compiler selbst schuf man spezielle Sprachen wie z. B. LOLA, SCALLOP u. a.

Die heute installierten Großrechenanlagen haben außer der zentralen Rechereinheit ein umfangreiches System an peripheren Geräten. Dazu zählt man etwa externe Speichermedien, verschiedene Eingabe- und Ausgabestationen und kleinere Rechereinheiten zur Koordinierung und Vorverarbeitung des Datenstromes bei einem vorhandenen Netz solcher peripheren Einheiten. Die Leistungsfähigkeit einer solchen Anlage ist abhängig von der Geschwindigkeit der einzelnen Anlagenteile, der Konfiguration und vom verwendeten Betriebssystem. Das Betriebssystem soll die Verteilung der zur Verfügung stehenden Betriebsmittel (Zentraleinheit, Speicher, Peripherie) so durchführen, daß möglichst viele Aufgaben in einem Zeitabschnitt bearbeitet werden können. Hierbei kann eine ineinander verzahnte Durchführung von verschiedenen Rechenprozessen von Nutzen sein. In diesem Sinne kann man das Betriebssystem definieren als die Gesamtheit derjenigen Funktionen einer Rechenanlage, welche in den Benutzerprogrammen nicht aufgebaut werden können. Derlei Aufgaben versucht man nun der Rechenanlage weitgehend selbst zu übertragen. In der Lösung solcher Fragen, nämlich der Entwicklung von immer komplexeren, wirkungsvolleren und komfortableren Betriebssystemen liegt schließlich ein weiterer wesentlicher Arbeitsbereich der technischen Informatik.

3. Die angewandte Informatik

Das Betätigungsfeld des Informatikers ist überaus groß. Es kann hier nicht vollständig aufgezählt und beschrieben werden. Die wenigen im folgenden aufgeführten Beispiele charakterisieren die Bedeutung der Informatik heute. Sie sollen insbesondere zeigen, daß es kaum mehr einen Bereich gibt, in welchem man sich nicht der Hilfe der elektronischen Rechenanlagen bedient.

Den Ausgangspunkt der elektronischen Digitalrechner bildete der technisch wissenschaftliche Bereich. Dabei kam immer mehr der Wunsch und die Notwendigkeit auf, sich von gleichförmigen und stupiden Routinerechnungen zu befreien. Insbesondere waren diese Gesichtspunkte der Ausgangspunkt für die von KONRAD ZUSE in Deutschland erbrachten Pionierleistungen. Auch heute noch ist der technische wissenschaftliche Einsatz

der elektronischen Digitalrechner ein breites Betätigungsfeld in der Informatik.

Neue Impulse erhält in jüngster Zeit das numerische Rechnen durch Verwendung der Intervallrechnung und deren Approximation auf Rechenanlagen durch eine Maschinenintervallrechnung. Dabei handelt es sich um folgendes Problem: Da auf jeder Rechenanlage nur Zahlen endlicher Länge dargestellt werden können, müssen im allgemeinen schon die Anfangsdaten eines numerischen Problems angenähert werden. Weitere Fehler entstehen durch die während der Rechnung notwendigen Rundungen auf die vorgegebene Stellenzahl. Wegen der großen Anzahl von Rechenoperationen, die in kürzester Zeit durchgeführt werden, kann sich der Einfluß der Rundungsfehler so häufen, daß das berechnete Ergebnis vom theoretischen Ergebnis völlig abwandert. In der Intervallrechnung werden zwischen den Elementen der Menge der abgeschlossenen Intervalle $I(\mathbb{R})$ Verknüpfungen wie folgt erklärt: Für zwei Intervalle $A := [a_1, a_2]$ und $B := [b_1, b_2]$ definiert man

$$A * B := \{a * b \mid a \in A, b \in B\}.$$

Dabei bezeichnet der Stern eines der Verknüpfungszeichen $+$, $-$, \cdot oder $∴$. Das Ergebnis dieser Verknüpfung läßt sich allein durch die Schranken von A und B darstellen und somit einfach durch ein einschließendes Intervall auf einer Rechenanlage approximieren. Anfangsdaten, welche sich nicht ohne Rundung darstellen lassen, werden durch Intervalle eingeschlossen. Die Durchführung des Algorithmus nach den oben angegebenen Regeln liefert Intervalle, in welchen das theoretische Ergebnis liegt.

Obwohl man schon frühzeitig verschiedene Lochkartengeräte für die Standardaufgaben des kaufmännischen Rechnungswesens eingesetzt hat, blieb der technisch naturwissenschaftliche Bereich doch für lange Zeit der Hauptanwendungsbereich der elektronischen Rechenanlagen. Heute sind die Buchhaltung und Betriebsabrechnung so standardisiert, daß bei der Verwendung elektronischer Datenverarbeitungsanlagen Schreibpersonal und Arbeitszeit gespart werden. Buchungsschlüsse liegen infolge der hohen Rechengeschwindigkeit in kürzester Zeit vor. Die Durchführung der Lohn- und Gehaltsabrechnungen in größeren Betrieben ist heute ohne Verwendung von Datenverarbeitungsanlagen undenkbar. Die betriebswirtschaftlichen Anwendungen gehen heute jedoch bereits weit über diese organisatorischen Standardprobleme hinaus. Die Aufgaben der Produktions-, Finanz- und Absatzplanung werden immer komplizierter und werden mit Methoden angegangen, welche den Einsatz von elektronischen Rechenanlagen erfordern. Zu diesen Methoden zählen insbesondere Unternehmensforschung und die Netzplantechnik. Das Ziel im betriebswirtschaftlichen Bereich ist die Errichtung echter Management-Informationssysteme.

Viele technische Prozesse werden heute durch sogenannte Prozeßrechner gesteuert, überwacht und optimiert. Beispiele dafür sind die Steuerung der Energie-

versorgung einer Großstadt, die Steuerung von Hochöfen und Walzstraßen, die Optimierung von Streckenplänen im Schienenverkehr und die optimale Ampelsteuerung des Verkehrsablaufes in einer Großstadt.

Bei der ursprünglich üblichen Arbeitsweise einer elektronischen Rechenanlage testete jeder Benutzer sein Programm selbst am Bedienungspult der Anlage. Neben einigen Vorteilen (enger Kontakt mit der Maschine, schnelle Beendigung der Testperiode) überwiegt jedoch bei größeren und teureren Anlagen der Nachteil einer schlechten zeitlichen Nutzung des Systems während der Testzeiten. Der Wunsch, gewisse Algorithmen direkt an einer Anlage ausprobieren zu können, führte zu einer neuen Arbeitsweise der Rechenanlagen, dem sogenannten time-sharing (Teilnehmerbetrieb). Dabei werden von mehreren an die Rechenanlage angeschlossenen Benutzerstationen unabhängige Aufgaben entwickelt. Jeder Benutzer hat ein in seinem Arbeitsraum stehendes Ein- und Ausgabegerät, über welches die Kommunikation mit der Rechenanlage erfolgt. Ein typisches Beispiel für Teilnehmerbetrieb ist die gemeinsame Benutzung einer Rechenanlage durch die Institute einer Hochschule. Jedes Institut ist direkt mit dem Rechner des Hochschulrechenzentrums verbunden. Ein weiteres sehr instruktives Beispiel ist die automatische Platzreservierung bei Fluggesellschaften. Für den wirtschaftlichen Erfolg eines solchen Unternehmens ist die optimale Anpassung der angebotenen Transportkapazität an die Nachfrage eine wesentliche Voraussetzung. An ein Platzreservierungssystem muß man daher die Forderung stellen, daß von den Verkaufsstellen aus zu jeder Zeit die Abfrage auf Sitzplatzreservierungen möglich und daß die Antwortzeit des zentralen Buchungssystems so kurz wie möglich ist. Die Erfüllung dieser Forderungen ist nur mit Hilfe elektronischer Rechenanlagen möglich. Alle größeren Luftverkehrsgesellschaften verfügen deshalb heute über elektronische Platzbuchungssysteme. Auch Bahnverwaltungen und Reiseunternehmungen setzen Platzbuchungssysteme ein.

Der erfolgreiche Einsatz elektronischer Rechen-

anlagen bei der Dokumentation und in Bibliotheken beruht auf ihren Eigenschaften, die sie als informationslogische Automaten haben: Sie können Abzählvorgänge durchführen, Vergleichsoperationen vornehmen und Informationen nach den Regeln der formalen Logik verknüpfen. Schließlich sei erwähnt, daß man neuerdings versucht, auch den Entwurf von Stundenplänen (Schulstundenplänen, Dienstplänen) mit Hilfe elektronischer Rechenanlagen zu automatisieren. Die dabei zu berücksichtigenden Nebenbedingungen sind gewöhnlich jedoch so komplex und vielgestaltig, daß manuelle Stundenplanhersteller auf Grund ihrer Übung und Erfahrung den Rechenanlagen gewöhnlich noch überlegen sind.

Die aufgezählten Anwendungsbereiche sollen genügen für den Nachweis, daß zur Bearbeitung dieser Probleme fundierte Kenntnisse über Aufbau, Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten von elektronischen Rechenanlagen Voraussetzung sind.

Anfang dieses Jahres waren in der Bundesrepublik 6500 Anlagen installiert. Nach Vorausschätzungen werden es 1971 8000, 1975 17000 und 1978 rund 25000 sein. Bei der Auswahl und Ausbildung geeigneter Informatiker liegt das Hauptproblem der künftigen Computeranwendung. Dabei geht es weniger um die Techniker und Operatoren, die die Maschinen bedienen, es geht mehr und mehr um mit analytischem Denkvermögen ausgestattete Spezialisten, die »Systemprogramme« ausarbeiten, nach denen die Maschinen arbeiten. Im Augenblick besteht ein Fehlbestand von 25%. Diese Zahl wird sich jedoch noch erheblich steigern. Auf lange Sicht ist diese Differenz nur zu decken, wenn die hierzulande noch fast ausschließlich bei den Herstellern liegende Ausbildung auf eine breitere Grundlage gestellt wird. Übereinstimmend hält die Wissenschaft und Industrie relativ unkomplizierte Vorleistungen schon in den allgemeinbildenden Schulen für möglich und erforderlich. Im Rahmen eines ordnungsgemäßen Studiums ist neuerdings die Ausbildung in Informatik an einigen deutschen Hochschulen möglich. Auch einige höhere technische Lehranstalten bieten Informatikstudienzweige an.