

LEXIKON DER KYBERNETIK

M-R

# ЭНЦИКЛОПЕДИЯ КИБЕРНЕТИКИ

---

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЭНЦИКЛОПЕДИИ КИБЕРНЕТИКИ

В. М. Глушков (ответственный редактор), Н. М. Амосов, И. А. Артеменко,  
А. А. Бакаев, В. В. Иванов, Л. А. Калужнин, В. А. Ковалевский,  
В. С. Королук, М. И. Кратко, В. М. Кунцевич,  
А. И. Кухтенко (зам. ответственного редактора), Б. Н. Малиновский,  
В. С. Михалевич, П. В. Походило (ответственный секретарь),  
Г. Е. Пухов, Б. Н. Пшеничный, Э. Л. Рабинович, Б. Б. Тимофеев,  
Е. Л. Ющенко.

## НАУЧНЫЙ СОВЕТ ГЛАВНОЙ РЕДАКЦИИ УКРАИНСКОЙ СОВЕТСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ

Н. П. Бажан (председатель Научного совета), Б. М. Бабий, И. К. Белодед,  
П. А. Власюк, В. М. Глушков, Г. В. Головки, В. Н. Гриднев, В. С. Гутыря,  
Г. М. Добров, А. З. Жмудский, Р. Е. Кавецкий, В. И. Касиян,  
И. И. Компаниец (зам. председателя Научного совета), В. М. Корецкий,  
И. Д. Назаренко, Л. Н. Новиченко, О. С. Парасюк, Б. Е. Патон,  
В. Ф. Пересыпкин, И. Г. Пидопличко, В. Б. Порфирьев, Л. Н. Ревуцкий,  
Н. Е. Сиваченко, А. Д. Скаба, К. Ф. Стародубов, С. И. Субботин,  
В. М. Терлецкий, П. Т. Тронько, А. Я. Усиков, П. М. Федченко,  
И. М. Федорченко, И. Н. Францевич, В. В. Цветков, Р. В. Чаговец,  
Н. З. Шамота, Г. А. Швед (ответственный секретарь Научного совета),  
Г. Г. Шевель, В. И. Шинкарук, С. М. Ямпольский.

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ  
УКРАИНСКОЙ СОВЕТСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ  
КИЕВ — 1974

# LEXIKON DER KYBERNETIK

## M-R

---

Im Auftrag des Zentralinstituts für Kybernetik und Informationsprozesse  
der Akademie der Wissenschaften der DDR

In deutscher Sprache  
herausgegeben von GÜNTER LAUX

Wissenschaftliches Redaktionskollektiv  
der deutschen Ausgabe:

Artur Blüschke, Klaus Fritsch, Michael Gössel  
Martin Grabow, Manfred Koegst, Konrad Küßner  
Hans-Georg Lauenroth, Günter Laux, Peter Ulbrich



AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

1981

**Übersetzer-, Bearbeiter- und Autorenkollektiv der deutschen Ausgabe:**

Dr. rer. nat. Peter Bachmann, Dr.-Ing. Heinz Bäurich, Dr. rer. nat. habil. Klaus Bellmann,  
Dipl.-Phys. Ulrich Bleyer, Dr. rer. nat. Artur Blüschke, Prof. Dr. sc. nat. Jürgen Bormann,  
Dr. rer. nat. Reinhard Böttner, Dr. rer. nat. Dieter Carl, Dipl.-Ing. Hans-Günter Despang,  
Dipl.-Ing. Rolf Dottermusch, Dr. rer. nat. Utz Draeger, Dipl.-Päd. Evelyn Ehlig,  
Dr.-Ing. Wolfgang Feitscher, Dr.-Ing. Burkhard Fimmel, Dr. rer. nat. Peter Florath,  
Dr. sc. techn. Klaus Fritsch, Dipl.-Ing. Thomas Gamaleja, Dr. sc. nat. Michael Gösse,  
Dr. rer. nat. Martin Grabow, Dr.-Ing. Dietrich Haase, Dr.-Ing. Georg Hallbauer,  
Dipl.-Phys. Winfried Heicking, Dr. rer. nat. Frank Heltzig, Dr.-Ing. Bernd Hofmann,  
Dipl.-Math. Barbara Höfer, Dipl.-Math. Christa Hottenrott,  
Dr. rer. nat. Peter Hummitzsch, Dipl.-Ing. Matthias Kieser, Dr. rer. nat. Wolfgang Kirmse,  
Dr. rer. nat. Manfred Koegst, Dipl.-Math. Rainer König, Dipl.-Ing. Werner Kolbe,  
Dr.-Ing. Konrad Küßner, Dr.-Ing. Peter Lässig,  
Prof. Dr. rer. oec. habil. Hans-Georg Lauenroth, Dipl.-Ing. Günter Laux,  
Dr.-Ing. Egbert Lehmann, Dipl.-Phys. Wolfram Maaß, Dr.-Ing. Eberhard Martin,  
Dr.-Ing. Konrad Martin, Dr. rer. nat. Heinz Modrow, Dipl.-Math. Petra Nauber,  
Dr. rer. nat. Alexander Neumann, Dr. rer. nat. Karl-Joachim Neye,  
Dr. rer. nat. Reinhard Pöschel, Dipl.-Phys. Wolfgang Pöbel, Dipl.-Math. Dieter Pötschke,  
Dr.-Ing. Lothar Quäck, Dr.-Ing. Klaus-Jürgen Rehberg, Dr. med. Jens-Georg Reich,  
Dr.-Ing. Hans Rudolph, Dr.-Ing. Rolf Schäbitz, Dr. rer. nat. Karin Schütz,  
Prof. Dr. rer. nat. habil. Gunter Schwarze, Dr. rer. nat. Heinrich Seidel,  
Dipl.-Phys. Joachim Selbig, Dipl.-Math. Fred Sobik, Dr.-Ing. Gerd Stanke,  
Dipl.-Math. Josef Staubach, Dr. sc. nat. Reinhard Straubel, Dr. rer. nat. Wolfgang Uebel,  
Dipl.-Phys. Peter Ulbrich, Dr. phil. Dieter Viehweger,  
Prof. Dr. rer. nat. habil. Horst Völz, Dr. sc. nat. Gerd Wechsung

Redaktionsschluß: September 1977

Erschienen im Akademie-Verlag, DDR - 1080 Berlin, Leipziger Straße 3-4

Lektor: Dipl.-Phys. Gisela Lagowitz

© der deutschen Ausgabe: Akademie-Verlag Berlin 1981

© der sowjetischen Ausgabe: Главная Редакция Украинской Советской  
Энциклопедии, Киев 1974

Lizenznummer: 202 • 100/406/81

Einband: Karl Salzbrunn

Gesamtherstellung: IV/2/14 VEB Druckerei »Gottfried Wilhelm Leibniz«,  
4450 Gräfenhainichen

Bestellnummer: 762 601 9 (6297/3) • LSV 1097

Printed in GDR

EVP 65,- M

## Hinweise für den Benutzer

Die Beiträge sind alphabetisch nach Schlagworten geordnet. Die Schlagworte stehen im Nominativ Singular, Ausnahmen im Plural gibt es nur dort, wo es die inhaltliche Darstellung des Begriffes verlangt. Im zugehörigen Text wird zugelassen, das Schlagwort kommentarlos nur noch mit seinem (bzw. seinen) Anfangsbuchstaben und Punkt zu verwenden, z. B. „Kybernetik“ mit „K.“ oder „Logiken, nichtklassische“ mit „n. L.“.

Im Text *kursiv* gedruckte Wörter weisen ausschließlich auf eigenständige Schlagworte an anderer Stelle des Lexikons hin.

Für einfach zusammengesetzte Schlagworte erfolgt die Ordnung nach dem Substantivum regens, z. B. „Automat, endlicher“ oder „Optimierung, diskrete“. Ausnahmen bilden Schlagworte, die als Terminus technicus zum Allgemeingut des jeweiligen Fachgebietes geworden sind, z. B. „Künstliche Intelligenz“, „Polnische Notation“ oder „Zulässiger Vektor“. Komposita werden als Substantiv nach ihrem Anfangsbuchstaben eingeordnet, z. B. „Aussagenkalkül“, „Ein-Punkt-Randwertaufgabe“ oder „Kellerautomat“.

Bei Schlagworten, die aus mehreren Wörtern bestehen, ist der für die Kennzeichnung des Inhalts wesentlichste Begriff vorangestellt, z. B. „Kleinsten Quadrate, Methode“, „Normalform logischer Ausdrücke“ oder „Digitalrechner, algorithmische Struktur“.

Bei Schlagworten, die Eigennamen enthalten, wird dieser vorangestellt, z. B. „BAYES-Formel“, „BOOLEsche Funktion, monotone“ oder „CAUCHYSche Probleme bei gewöhnlichen Differentialgleichungen, Lösungsverfahren“.

Zusätzlich sind zahlreiche Verweise aufgenommen worden, die jeweils auf das Schlagwort hinweisen, das Aufschluß über den betreffenden Begriff gibt.

Es wurde angestrebt, durchgängig für ein und denselben Begriff auch ein und dasselbe Formelzeichen zu verwenden. Unterschiede gibt es allerdings dort, wo die in den verschiedenen Fachgebieten benutzten Schreibweisen seit Jahren üblich sind und eine kompromißlose Vereinheitlichung zu Mißverständnissen führen würde, z. B.

---

|                        | in der Automatentheorie<br>und Steuerungstheorie | in der klassischen<br>Regelungstheorie |
|------------------------|--|--|
| Zustandsgröße          | $z$  | $x$                                    |
| Eingangsgröße          | $x$  | $u$                                    |
| Ausgangsgröße          | $y$  | $y$                                    |
| Steuersgröße           | $u$  | $u$                                    |
| – optimale Steuergröße | –  | $u^*$                                  |
| Störgröße              | $\xi$  | $z$                                    |

---

Für interessierte Leser sind in beschränktem Umfang einschlägige Firmen, Institutionen, Organisationen und Zeitschriften aufgenommen worden. Sie werden unter ihrem Originalnamen geführt und sind entsprechend alphabetisch eingeordnet. Sowjetische Institutionen, Organisationen und Zeitschriften werden in der deutschen Übersetzung angegeben. Die Originalbezeichnung in kyrillischer Schrift steht, nach dem russischen Alphabet eingeordnet, unter den in das Lexikon aufgenommenen Hinweisschlagworten „Firmen“, „Institutionen“, „Organisationen“ und „Zeitschriften“.

## M

**Mächtigkeit einer Menge** — s. *Kardinalzahlen*.

**Magazinspeicher** — (Magazin, Kellerspeicher, Stack, Stapelspeicher) Speichergerät, das aus mehreren übereinander angeordneten *Registern* besteht und in der Weise arbeitet, daß jeweils nur das oberste Register mit dem übrigen System Verbindung hat. Das Einschreiben von Worten in ein solches Register geht derart vonstatten, daß zuerst alle Registerinhalte um ein Register nach unten verschoben werden und dann das zu speichernde *Wort* in das oberste Register eingetragen wird. Beim Lesen eines Wortes wird nur das oberste Register gelesen, und anschließend bewegen sich alle übrigen Registerinhalte um ein Register nach oben. Die Informationen werden also gewissermaßen gestapelt, wie z. B. Kisten, und der Zugriff kann immer nur zu der jeweils obersten, und zwar in der umgekehrten Reihenfolge des Speicherns erfolgen.

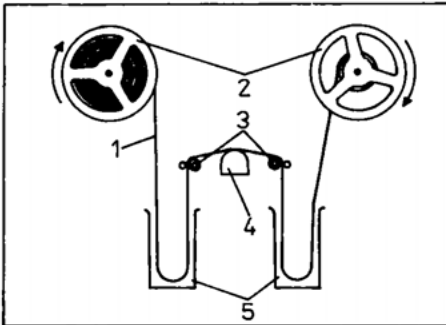
Die Realisierung eines M. ist sowohl gerätetechnisch als auch programmtechnisch möglich. Um das Umspeichern zu vermeiden, benutzt man meist gewöhnliche Speichereinheiten in Verbindung mit einem Umadressierungsverfahren. Dabei speichert man in einem speziellen Register die *Adresse* des zuletzt belegten Speicherplatzes und koppelt jeden Schreibvorgang mit einer Addition von +1 und jeden Lesevorgang mit einer Addition von -1 zu dieser Adresse.

M. werden sehr häufig für hierarchisch gestufte Verarbeitungen eingesetzt, z. B. für die Rücksprungorganisation aus *Unterprogrammen*, die Verarbeitung von Unterbrechungssignalen, die Berechnung von Klammerausdrücken usw. Gerätetechnische Realisierungen von M. findet man in einer Reihe von Prozeßrechnern, u. a. in den Rechnern DNEPR-2 und BESM-6.

I. W. BELBIZKI

**Magnetband** — Band aus einem haltbaren, biegsamen Film oder Streifen, das mit einer ferromagnetischen Schicht, die für Aufzeichnung, Speicherung und Wiedergabe von Informationen vorgesehen ist, überzogen wurde. Der Film wird häufig auf Acetat- oder Polyesterbasis hergestellt. Mittels des Magnetbandes werden Peripherie-Speicher großer Kapazität — Magnetband-

speicher – aufgebaut. In der Arbeitsphase wird im Magnetbandspeicher (s. Abb.) das Band (1) von der einen auf die andere Spule (2) mittels der vom Motor angetriebenen Rollen (3) des Bandtransportmechanismus umgewickelt, wobei es am Magnetkopfblock (4) so vorbeigeführt wird, daß es die Gebiete der Arbeitsspalte der Köpfe berührt. Die Trägheit der Bandspulen wird durch spezielle Dämpfungseinrichtungen (5) kompensiert. Die Aufzeichnung und



Schema des Magnetbandlaufwerks  
1 – Magnetband, 2 – Spulen, 3 – Transportrollen, 4 – Magnetkopfblock, 5 – spezielle Dämpfungseinrichtungen

Wiedergabe wird mit dem Magnetkopfblock durchgeführt, dessen Köpfe in einer Linie, senkrecht zur Bewegungsrichtung des Bandes angeordnet sind. Jedem Magnetkopf entspricht auf dem Band seine Spur, d. h., die Aufzeichnung wird parallel vorgenommen. Die Arbeitsgeschwindigkeit des Bandes liegt in der Größenordnung von 1... 4 m/s. Auf einer Spule sind 750–1000 m Band aufgewickelt. Die Kapazität einer Spule kann damit 2... 6 · 10<sup>8</sup> Binärzeichen betragen. Der Hauptmangel des Magnetbandspeichers ist seine große Zugriffszeit (Auffinden der gesuchten Information), die einige Minuten betragen kann.

R. J. TSCHERNJAK

**Magnetdrahtspeicher** – s. *Magnetische Schicht*.

**Magnetische Schicht** – in Matrix- und Domänenverschiebespeichern verwendete metallische, ferromagnetische Schicht mit uniaxialer Anisotropie, welche auf einer unmagnetischen Unterlage (Substrat) im Vakuum aufgedampft oder elektrolytisch oder durch Katodenzerstäubung aufgebracht ist. Für die Informationsspeicherung ist wesentlich, daß die Magnetisierung kleiner Schichtbezirke in der gegebenen Vorzugsrichtung der Magnetisierung („leichte Achse“) durch äußere Steuerfelder parallel oder antiparallel eingestellt werden kann. Matrixspeicher sind sowohl mit ebenen (mit offenem magnetischen Kreis) als auch mit zylindrischen Schichten (als Magnetdrahtspeicher mit geschlossenem magnetischen Kreis) aufgebaut worden. Sie



haben aufgrund ihrer gegenüber Ferritkernspeichern kürzeren Zykluszeiten Eingang in die *Rechentchnik* gefunden, insbesondere als Bestandteil des *Hauptspeichers*. Ältere Ausführungen des Magnetdrahtspeichers sind unter der Bezeichnung *Twistor* bekannt geworden. Zum Unterschied zu den neueren Magnetdrahtspeichern, bei denen die leichte Magnetisierungsrichtung in Umfangsrichtung liegt, hat der Twistor eine um  $45^\circ$  gegen die Umfangsrichtung ausgelenkte leichte Achse. Für das Drahtspeicherprinzip sind Webtechnologien entwickelt worden, die es erlauben, Matrizenpeicher in Form von Speichergeweben herzustellen.

Die Dicke der m. S. für Matrizenpeicher liegt allgemein zwischen einigen Zehntel und einigen  $\mu\text{m}$ . Dünne m. S. haben Dicken unter  $0,1 \mu\text{m}$ . Sie zeichnen sich durch besonders kurze Schaltzeiten (zwischen einigen Zehntel und einigen ns) aus. In der Rechentechnik erhielten die dünnen m. S. mit einachsiger Anisotropie und einer Stärke von  $5 \cdot 10^4$  bis  $1,5 \cdot 10^3 \text{ nm}$  sehr breite Anwendung zur Erzeugung von *Speicherelementen*. Zur Informationsspeicherung wird die Eigenschaft der dünnen m. S. ausgenutzt, daß die Richtung des Magnetisierungsvektors in einer der beiden stabilen Lagen längs der Achse der leichten Magnetisierbarkeit in der Schichtebene bleibt; eine dieser Lagen wird dem Wert „1“, die andere dem Wert „0“ zugeordnet. Die Informationsaufzeichnung oder Änderung der Magnetisierungsrichtung wird entweder durch Anlegen eines Magnetfeldes längs der Achse der leichten Magnetisierbarkeit über den Prozeß Verschiebung der Bereichsgrenze oder mittels des Prozesses der kohärenten Rotation (Magnetfeld bildet mit der Achse der leichten Magnetisierbarkeit einen Winkel zwischen  $0$  und  $180^\circ$ ) realisiert. Die Wiedergabe der Information wird in der Mehrzahl der Fälle durch Anwendung eines zur Achse der leichten Magnetisierbarkeit senkrechten Feldes vorgenommen. Bei der Drehung des Magnetisierungsvektors der Schicht wird in der Wiedergabeleitung, die senkrecht zur Achse der leichten Magnetisierbarkeit angeordnet ist, in Abhängigkeit von der Anfangsrichtung der Magnetisierung und damit von der zuvor aufgezeichneten Information eine Spannung unterschiedlicher Polarität induziert.

Dünne m. S. werden sowohl durch Aufdampfen des Ferromagnetikums im Vakuum als auch durch elektrolytische Abscheidung hergestellt. Die Anisotropieachse der dünnen m. S. wird durch Anlegen eines magnetischen Feldes parallel zur Schichtoberfläche während des Herstellungsprozesses hervorgebracht. Es werden ebene und zylindrische Schichten auf isolierendem und leitendem Untergrund verwendet. Matrizen von Dünnschichtspeicherelementen werden in Form kontinuierlicher Schichten oder einzelner Schichttupfen, gewöhnlich von Kreis- oder Rechteckform, ausgeführt. Im ersten Fall werden Form und Ausmaße des Speicherelementes von der Konfiguration der Steuerschienen bestimmt.

Speicherelemente auf Dünnschichtbasis zeichnen sich aufgrund der Umagnetisierung über Rotationsprozesse durch große Schaltgeschwindigkeiten (Größenordnung: ns) aus. Dünne m. S. arbeiten in einem großen Temperaturbereich (100–200 °C). Diese guten Eigenschaften in Verbindung mit der Verwendung von technologischen Verfahren zur integralen Herstellung von Speicherelementen und Steuerungsleitungen machen die Anwendung dünner m. S. zum Aufbau schneller und sehr schneller Arbeitsspeicher aussichtsreich. Bekannte Speichereinrichtungen auf Dünnschichtbasis arbeiten mit einer Speicherkapazität bis zu einigen Millionen bit und Arbeitszyklen von 200–500 ns und weniger.

Auf der Grundlage dünner m. S. sind auch Speicher in Form von Schieberegistern entwickelt worden, deren Funktion auf der gesteuerten Verschiebung magnetischer Domänen in Schichtkanälen beruht (s. a. *Bubble-Speicher, magnetischer*).

R. J. TSCHERNJAK, F. N. SYKOW

Literatur: Китович, В. В.: Оперативные запоминающие устройства на ферритовых сердечниках и тонких магнитных пленках. Москва, Ленинград 1965; RHEIN, D.: Grundlagen der digitalen Speichertechnik. Leipzig 1974.

**Magnetischer Blasenspeicher** – s. *Bubble-Speicher, magnetischer*.

**Magnetkarte** – rechteckförmiger Abschnitt eines biegsamen Streifens, der mit einer ferromagnetischen Schicht überzogen und für die magnetische Aufzeichnung von Informationen bestimmt ist. Die M. als *Informationsträger* hat eine Reihe besonderer Vorzüge – sie ist gut zur Bildung eines *Informationsmassiv* und zur Speicherung und Übermittlung von Daten zu anderen *Digitalrechnern* geeignet. Eine M. kann vorübergehend ausgesondert oder auch im Betriebsprozeß durch eine andere ersetzt werden, und es kann eine weitere hinzugefügt werden. Auf der Basis von M. aufgebaute Speicher arbeiten sowohl mit aufeinanderfolgender als auch wahlfreier Kartenauswahl aus dem Arbeitskartensatz. Im ersten Fall wird für die Suche der benötigten Karte der Kartensatz solange ununterbrochen durchgemustert, bis die gesuchte Karte in den Magnetkopfblock eintritt. Im zweiten Fall wird die gesuchte Karte nach kurzer Zeit aus dem Kartensatz entnommen und an den Magnetkopfblock übergeben. Als Beispiel für einen Speicher mit aufeinanderfolgender Durchmusterung des Kartensatzes kann das System „Magnacart“ dienen. Es besteht aus vier Reihen geneigter Vakuumzylinder, mit deren Hilfe die Karten aus einem Pennal in ein anderes übergeben oder zur Aufzeichnung und Wiedergabe zum Magnetkopf befördert werden können. Der Arbeitskartensatz (3000 Stück) wird in einem Pennal aufbewahrt, 50 Pennals sind im Speicher enthalten. Das gesuchte Pennal wird automa-

tisch an die Vakuumzylinder herangeführt. Außer dem Informationsaustausch mit Digitalrechnern ist das System „Magnacart“ zum Sortieren und Umgruppieren von Karten geeignet. Die Kapazität des Systems beträgt  $2,5 \cdot 10^9$  Binärzeichen.

M. auf „Mylar“-Basis sind mit einer Mylar-Schutzschicht über der ferromagnetischen Schicht versehen. Die Kapazität der einzelnen Karte beträgt  $4,5 \cdot 10^3$  Binärzeichen. Ein Speicher mit wahlfreiem Kartenzugriff des Typs „CRAM“ enthält z. B. ein Magazin mit 8 codierten und 2 fixierten drehbaren Stangen, auf welchen 256 Mylar-M. (Arbeitssatz) angeordnet sind. Jede M. hat ihre individuelle Kombination aus 8 Codeöffnungen (Codelöchern). Jede beliebige der 256 M. kann durch entsprechende Kombination der möglichen Stangendrehungen und Übergabe an die Vakuumzylinder, die sie zu den Magnetköpfen weiterleitet, ausgewählt werden. Nach der Aufzeichnung bzw. Wiedergabe wird die Karte automatisch auf ihren Platz zurückgeführt. Die Kapazität der M. beträgt  $1,3 \cdot 10^5$  Binärzeichen, die Zugriffszeit etwa 0,25 s. Speicher mit großer und sehr großer Kapazität, die nach dem Mehradressen-Prinzip aufgebaut sind, enthalten mehrere (8 oder mehr) Arbeitskartensätze, wobei bei der Kartenauswahl zunächst der Kartensatz und dann aus diesem die entsprechende M. ausgewählt werden. Eine noch höhere Effektivität erzielen Vielmagazin-Speicher, wo jeder Kartensatz in einem separaten Magazin, das selbst mit einem Suchsystem ausgestattet ist, aufbewahrt wird. M. eignen sich sehr für die Konstruktion verschiedener effektiver Speichersysteme, z. B. mit wahlfreiem Kartenzugriff, mit zyklischem Platzwechsel oder schrittweiser Kartenbewegung.

R. J. TSCHERNJAK

### **Magnetkernspeicher** — s. *Hauptspeicher*.

**Magnetplatte** — Einrichtung, vorgesehen für die Registrierung, Aufbewahrung, Verwertung von Informationen, welche auf einem magnetischen Träger, der die Oberfläche der Platte bedeckt, aufgezeichnet werden können. Die Entwicklung der Digitalrechenanlagen machte die Schaffung von Speichereinrichtungen größerer Kapazität und mit vergleichsweise kleiner Zugriffszeit notwendig. Als solche Speichereinrichtungen dienen Magnetplattenstapel, deren Grundelemente sich drehende Platten ( $D = 300\text{--}1000$  mm) sind. Diese sind beidseitig mit einer magnetischen Schicht überzogen. Unter der M. sind Magnetköpfe angeordnet, mit denen die Aufzeichnung der Information in Form konzentrischer Kreise auf der Platte ausgeführt wird, und die analog auch für die Informationswiedergabe genutzt werden. Gewöhnlich besteht der M.-stapel aus mehreren (bis 50) festen M., die auf einer gemeinsamen Welle angeordnet sind und sich mit konstanter Geschwindigkeit

( $n = 900 \dots 3000$  Umdrehungen/min) drehen. Im Zwischenraum zwischen den M. sind auf speziellen verschiebbaren Hebeln (Kopfträgern) die Magnetköpfe angeordnet. Der Hebel, der längs des Radius der M. verschiebbar ist, führt die Spurauswahl aus. In einem anderen Typ des M.-stapels können diese Magnetkopfträger auch längs der Rotationsachse der M. verschoben werden, womit eine Plattenauswahl realisiert wird. Die Verschiebung der Kopfträger wird mittels pneumatischer, hydraulischer oder elektrischer Antriebe vorgenommen. Außer den M.-stapeln mit verschiebbaren Magnetköpfen sind Ausführungen und Konstruktionen mit festen, nichtverschiebbaren Magnetköpfen bekannt geworden.

In einem solchen Fall ist jeder Magnetspur ein eigener Magnetkopf zugeordnet. Die Spurauswahl erfolgt über einen elektronischen Kommutator, der nur die entsprechenden Magnetköpfe schaltet. Gegenwärtig werden in M.-stapeln in der Regel „schwimmende“ Magnetköpfe verwendet, die automatisch die Größe des Spaltes zwischen Magnetkopf und Arbeitsoberfläche der M. (etwa  $5-10 \mu\text{m}$ ) einhalten; die Längsspeicherdichte liegt dabei zwischen 80 und 130 bit/mm. Die Speicherkapazität derartiger Anordnungen liegt bei  $10^{10}$  bit. Breite Anwendung haben M.-stapel gefunden, bei denen die Plattenpakete ausgetauscht werden können (Wechselplattenspeicher). In Systemen, wo eine erhöhte Zuverlässigkeit und Lebensdauer gefordert werden, kommen biegsame elastische Platten zur Anwendung. Dabei werden diese M. (die z. B. aus magnetischen Schichten bestehen, wie sie auch beim *Magnetband* Anwendung finden) unter oder über ebenen rechteckigen polierten Platten, in die die Magnetköpfe eingelassen worden sind, bewegt. Unter der Wirkung der sich schnell drehenden M. bildet die zwischen der Plattenoberfläche und den Magnetköpfen befindliche Luft einen konstanten Luftspalt zwischen beiden.

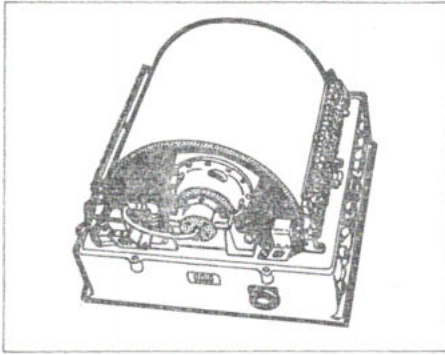
R. J. TSCHERNJAK

**Magnettrommelspeicher** – ein um seine Achse drehbar angeordneter Zylinder, dessen Oberfläche mit einer hartmagnetischen, als Speichermedium dienenden Schicht überzogen ist. Durch unterschiedliche Magnetisierung diskreter Gebiete dieser Schicht ist die Speicherung binärer Signale möglich. Zu diesem Zweck sind in unmittelbarer Nähe der Zylinderoberfläche magnetische Aufzeichnungs- und Wiedergabeköpfe angeordnet (s. Abb.).

Die Aufzeichnung (Ummagnetisierung) wird mit Hilfe des magnetischen Streufeldes des Kopfes realisiert. Die Wiedergabe erfolgt durch die Erzeugung einer EMK im Kopf, die beim Passieren einer Stelle der Zylinderoberfläche erzeugt wird, an der sich die Magnetisierung ändert, d. h., die Veränderung des Induktionsflusses wird angezeigt. Das erzeugte (Wiedergabe-)Signal hängt dabei von der Schnelligkeit der Änderung des Induktionsflusses ab,

die der Geschwindigkeit der Zylinderoberfläche proportional ist. Eine Wiedergabe ist auch bei unbewegter Oberfläche (z. B. bei schrittweiser Rotation des Zylinders) durch die Verwendung des Prinzips eines magnetischen Verstärkers oder des HALL- bzw. des KERR-Effektes möglich.

Gewöhnlich sind die Köpfe unbeweglich in Richtung der Rotationsachse des Zylinders angeordnet, und jeder Kopf arbeitet auf der separaten ringförmigen Spur der Zylinderoberfläche, die sich unter ihm vorbeibewegt. Es ist auch möglich, mit einem Kopf eine Gruppe von Spuren des M. zu bedienen, indem durch elektromechanische, hydromechanische oder pneumomechanische Vorrichtungen eine Verschiebung



Magnettrommelspeicher

des Kopfes parallel zur Rotationsachse vorgenommen wird. Solch eine Konstruktion verringert den Preis eines M., vergrößert jedoch die *Zugriffszeit* zur Information. Die Bedienung einer Spur mit mehreren auf dem Umfang verteilten Köpfen ist möglich. Die Zugriffszeit wird dadurch auf einige Millisekunden verringert. Ein M. hat im allgemeinen bis zu einigen hundert Spuren.

Die Spurbreite ist kleiner als die Ausdehnung der Köpfe parallel zur Rotationsachse und wird durch die geometrischen und magnetischen Kennwerte der hartmagnetischen Schicht und der Köpfe bestimmt. Diese Breite bestimmt die Aufzeichnungsdichte in Richtung der Zylinderachse (bis zu 10 Spuren pro mm). Zur Vergrößerung dieser Aufzeichnungsdichte sind die Köpfe mit einer entsprechenden Versetzung in mehreren Streifen angeordnet, die parallel zur Rotationsachse liegen. Als ein Parameter für die Ausnutzung der Speicherfläche erweist sich auch die sog. Längsaufzeichnungsdichte der Information in Richtung des Umfanges. Sie erreicht 70 bit/mm und hängt nicht nur von den Maßen und magnetischen Parametern der Köpfe bzw. der hartmagnetischen Schicht ab, sondern auch von der Art und Weise der Stromimpulserzeugung in den Wicklungen der Köpfe und der Wahl der Arbeitsfrequenz (1–2 MHz). Bei Verringerung des Abstandes zwischen Kopf und M. vergrößert sich die Längsaufzeichnungsdichte. Bei in Richtung der Rotationsachse unbeweglichen Köpfen ist dieser Abstand gewöhnlich nicht kleiner als 20  $\mu\text{m}$  (bei großen mechanischen Anforderun-

gen an den M.). Es werden auch Köpfe verwendet, die auf einer aerostatischen oder aerodynamischen Luftschicht mit einer Dicke von ca.  $3\ \mu\text{m}$  „schwimmen“. Umgekehrt sind auch Konstruktionen in Gebrauch, bei denen der Zylinder in einer entsprechenden Führung auf einer Luftschicht „schwimmt“, wobei die Köpfe mit der Führung fest verbunden sind.

Der M. wird in *Digitalrechnern* als Bestandteil des *externen Speichers* auch als Zwischenspeicher verwendet, aber auch als billiger zyklischer Zentral-*speicher*.

Der serienmäßig produzierte sowjetische M. НБ-11 hat eine Speicherkapazität von 6,6 Megabit bei einer mittleren Zugriffszeit von 30 ms. Beim größten M. – UNIVAC Fastrand – liegen die Werte zwischen 450–900 Megabit und 92 ms.

A. A. BARABANOW

Literatur: Каган, Б. М., В. И. Адасько и Р. Р. Пурэ: Запоминающие устройства большой емкости. Москва 1968; Макурочкин, В. Г.: Магнитная запись в вычислительной технике. Москва 1968.

**Majoritätselement** – Schaltelement, das die Majoritätsoperation realisiert (s. *Mehrheitslogik*) und damit ein Spezialfall des Schwellenwertelementes ist. Auf der Grundlage des Majoritätselementes läßt sich eine funktional vollständige Klasse von *Verknüpfungsgliedern eines Digitalrechners* (s. *Funktionenklasse, abgeschlossene*) bilden. Die ersten Majoritätselemente wurden unter Verwendung des *Parametrons* und des aus zwei Tunneldioden bestehenden Goro-Paares realisiert. In der Praxis haben sich die Majoritätselemente mit drei Eingängen durchgesetzt, die genau dann den Wert 1 ausgeben, wenn an mindestens zwei Eingängen der Wert 1 anliegt. Etwas seltener, aber auch üblich sind die Majoritätselemente mit fünf Eingängen, die ebenfalls den Wert 1 ausgeben, wenn mindestens zwei der fünf Eingänge mit dem Wert 1 belegt sind. Angewendet wird das Majoritätselement z. B. im Hinblick auf die Erhöhung der Zuverlässigkeit in Schaltungen für das Zusammenfassen paralleler Informationswege, aber auch als Funktionalelement in *Digitalrechnern* und Steuereinrichtungen.

B. L. OWSIJEWITSCH

**Makrobefehl** – (Makroanweisung, Makro) Instruktion in einem *Programm* in einer maschinenorientierten *Programmiersprache*, die vor der Übersetzung des Programms durch die in der entsprechenden Makrodefinition festgelegte Folge von Einzelbefehlen nach erfolgter Aktualisierung der Parameter ersetzt wird. Die Makrodefinitionen spielen die Rolle offener *Unterprogramme* und werden meistens einer Quelltextbibliothek entnommen, können aber

auch vom Programmierer für häufig wiederkehrende Anweisungsfolgen im Problemprogramm vereinbart werden. Eine Reihe wichtiger Makrodefinitionen (Systemmakrodefinitionen) wird vom *Betriebssystem* mitgeliefert. Diese ermöglichen über M. z. B. die Inanspruchnahme verschiedener Dienste des Steuerprogramms (Zeitgeberdienste, Veranlassung von Ein- und Ausgabeoperationen u. a.).

A. I. NIKITIN

**Makromodell, ökonomisches** — mathematische Darstellung der wesentlichsten Zusammenhänge eines im Ganzen zu beschreibenden ökonomischen Prozesses, die es gestattet, dessen Entwicklung auf der Basis der Vorstellungen der Planung oder Prognostizierung zu verfolgen. Ö. M. sind ein Mittel zur Vereinigung von Teilmodellen, um damit Widersprüche zwischen den einzelnen Komponenten der Wirtschaft zu verhindern und die Gewinnung einer objektiven Bewertung der Entwicklung verschiedener ökonomischer Teilsysteme zu fördern. Anfänglich verstand man unter ö. M. Modelle, die mit synthetischen Kennziffern (gesellschaftliches Produkt, Nationaleinkommen, Investitionen und dergleichen) operieren. Den ersten Versuch einer makroökonomischen Analyse bildete das „Ökonomische Tableau“ des frz. Ökonomen F. QUESNAY (1758), in dem — wenn auch noch nicht ausgereift — die Idee der einfachen Reproduktion formuliert ist und die Begriffe des gesellschaftlichen Gesamtproduktes, der Grund- und Umlauffonds, des „ökonomischen Überschusses“ (Mehrwert im Sinne der Physiokraten) usw. eingeführt sind. Die Entwicklung der Reproduktionstheorie ist mit den Arbeiten von KARL MARX verbunden, deren aus zwei Abteilungen bestehende numerische Modelle für die Reproduktionstheorie (Makromodellierung) und für die Planungspraxis grundlegend sind. Die Modelle von K. MARX und W. I. LENIN, die für die Zwecke einer politökonomischen Gesamtanalyse bestimmt sind, abstrahieren von vielen Eigenschaften eines realen ökonomischen Prozesses. In den Arbeiten sowjetischer Ökonomen und der Ökonomen sozialistischer Länder werden sie in folgende Richtungen weiterentwickelt: 1. Untersuchung des Reproduktionsprozesses bei veränderlichen Parametern und unter Berücksichtigung einer möglichst großen Zahl von Faktoren; 2. Koordinierung der verschiedenen Etappen des Iterationsprozesses der Planung; 3. Optimierung der Steuerung der Volkswirtschaft.

Es existiert eine zweifache Aufteilung in ökonomische Makro- und *Mikromodelle*. Einmal werden die Modelle von der Position des zu betrachtenden Objektes aus klassifiziert: ö. M. beschreiben die Volkswirtschaft im ganzen, während Mikromodelle die unteren ökonomischen Einheiten charakterisieren. Eine solche Klassifizierung ist das Ergebnis der Widerspiegelung der Struktur des ökonomischen Systems. Zum anderen ist die Aufteilung der Modelle mit

einer Anzahl von Positionen verbunden, die im Modell zur Charakterisierung des schon fixierten Untersuchungsobjektes dargestellt sind, d. h. mit der Nomenklatur der Modellpositionen. Beide Klassifikationsrichtungen werden unter dem Aspekt der Aggregierbarkeit der Beschreibung ökonomischer Prozesse betrachtet. Manchmal werden aus der Klasse der ö. M. die Modelle mit einer Vektorfunktion des Systemzustandes ausgeschlossen, z. B. Modelle, die die Volkswirtschaft durch den Vektor des Produktionsausstoßes der Aggregate (als Aggregate kann man Zweige, Sektoren oder Abteilungen betrachten) charakterisieren. Dann gehören schon Modelle, die aus zwei Sektoren bestehen, nicht zur Klasse der ö. M. Im anderen Fall werden die ö. M. mit *Wachstumsmodellen* des Wachstums oder der Entwicklung der Wirtschaft identifiziert; da aber zu den Wachstumsmodellen auch Mehrzweigmodelle gehören, werden letztere ebenfalls als ö. M. betrachtet. Dennoch ist anscheinend das bestimmende Merkmal im Begriff der ö. M. das Makroniveau, weil eine Makrobetrachtungsweise von der Position der Aggregation aus besser durch Angabe des Aggregierungsgrades auszudrücken ist. Bei dieser Auffassung ist es sinnvoll, die Termini „makroaggregiertes“ und „makrodesaggregiertes“ Modell (z. B. Bilanz der Beziehungen zwischen den Erzeugnissen der Volkswirtschaft) zu verwenden. Die ö. M. müssen, wie die Modelle des gesamtwirtschaftlichen Systems, einen zweifachen Makroaspekt enthalten; d. h. sowohl bezüglich des Untersuchungsobjektes als auch bezüglich des Aggregierungsgrades der Variablen.

In Abhängigkeit von der vorhandenen Information und der bei der Modellierung angenommenen Hypothese bezüglich des Systemverhaltens werden die ö. M. eingeteilt: nach dem Verwendungszweck in optimierende und nicht optimierende (unter letzteren z. B. *Bilanzmodelle*, *Gleichgewichtsmodelle*, *Korrelationsmodelle* mit mehreren Faktoren); nach der Art der funktionalen Beziehungen in lineare und nichtlineare; unter Berücksichtigung des Zeitfaktors in statische und dynamische (darunter mit endlichem und unendlichem Planungsintervall stetigen und diskreten Charakters); nach dem Widerspiegelungsgrad der Unbestimmtheit des Zufallscharakters in deterministische und Wahrscheinlichkeitsmodelle sowie nach dem zu verwendenden Aggregierungsgrad der das Objekt charakterisierenden Kennziffern. Insbesondere letztere werden in folgende Arten eingeteilt: höchstaggregierte oder Einproduktmodelle (insbesondere Wachstumsmodelle in Form von Makroproduktionsfunktionen); stark aggregierte Modelle, mit einer Sektorenanzahl bis Hundert; schwach aggregierte Modelle (bis zu einigen hundert Sektoren); makrodesaggregierte Modelle (d. h. praktisch detaillierte Modelle).

Vom zeitlichen Gesichtspunkt aus gesehen, können ö. M. theoretisch einen beliebigen Zeitabschnitt  $0 \leq T \leq \infty$ , praktisch  $t_{\min} \leq T \leq t_{\max}$  umfassen, wobei  $t_{\max}$  durch die Zuverlässigkeit der Information und  $t_{\min}$  durch die Zweck-



mäßigkeit und Notwendigkeit zur Erneuerung einiger Elemente des Modells bestimmt werden. Ö. M. beruhen in gleichem Maße auf der qualitativen und quantitativen Analyse, wobei nur Modelle, die die Produktionsfaktoren und die sozial-ökonomische Natur des zu modellierenden Prozesses widerspiegeln, Übereinstimmung beanspruchen können.

Der Hauptsteuerparameter in höchst und stark aggregierten ö. M. ist die Beziehung zwischen dem Bedarf und der Akkumulation (Zahlenmodelle von S. G. STRUMILIN, Modelle von W. S. NEMTSCHINOW, O. LANGE u. a.). Zum Beispiel schafft nach dem Modell von STRUMILIN die arbeitsfähige Bevölkerung eines Landes im Basisjahr  $Y_0$  Einheiten des Nationaleinkommens, das nur auf Kosten der Ausstattung der Arbeitskräfte mit Grundfonds wächst, d. h.  $\Delta Y_t = EF_t$ , wobei  $E$  den Nutzen der Investitionen, analog zur Fondseffektivität, darstellt,  $F_t$  die Grund- und Umlauffonds zu Beginn der Periode  $t$ . Der Zuwachs der Fonds  $\Delta F_t$  erfolgt durch den auf deren Erweiterung gerichteten Teil  $x$  des Nationaleinkommens, d. h.  $\Delta F_t = x\Delta Y_t$ . Für den Verbrauch wird  $C_t = C_0 + \Delta Y_t - \Delta F_t$  aufgewendet. Es muß der Anteil  $x$  des Nationaleinkommens bestimmt werden, bei dem im Verlauf von 40 Jahren (Zeitraum der Arbeitsfähigkeit einer Generation) der Gesamtkonsumtionsfonds maximiert wird:

$$\sum_{t=1}^{40} C_t = 40C_0 + F_1 \frac{1-x}{x} [(1+Ex)^{40} - 1].$$

In einer Reihe von Fällen wird dem Modell von STRUMILIN die Bedingung des monotonen Wachstums des Verbrauchs hinzugefügt, und in das Kriterium wird die Gewichtsfunktion  $g(t) = e^{-kt}$  eingeführt, d. h., es wird die Konsumtionsfunktion  $\sum_{t=1}^n C_t e^{-kt}$  betrachtet. Im Verlauf ihrer Analyse stellt man die Abhängigkeit des globalen Maximums von der Wahl der Gewichtsfunktion fest und bestimmt die Grenzen des Bereiches, zu dem die Akkumulationsrate  $x$  gehören muß. Die Ergebnisse der Berechnungen bezüglich der Verbindung von Akkumulation und Verbrauch werden beim Aufbau von Modellen der Wechselbeziehung zwischen dem Wachstum der Arbeitsproduktivität und des Lohnes herangezogen. Zu den Fragen, die auf der Basis stark aggregierter ö. M. betrachtet werden, gehört die Relation zwischen den Wachstumsgeschwindigkeiten der Abteilungen I und II. Unter den weniger aggregierten ö. M. ist das Modell von L. W. KANTOROWITSCH hervorzuheben, das auf einer Aufgabe der *linearen Optimierung* beruht. Die Bestandteile des Modells werden in 4 Gruppen eingeteilt: 1. Primärressourcen (Bevölkerung, natürliche Vorräte an Bodenschätzen und dergleichen); 2. Produktionsfaktoren (Arbeitsressourcen, Produktionskapazitäten, erschlossene natürliche Ressourcen); 3. Zwischenprodukte (Rohstoffe, Material und andere);

4. Endprodukte (Gegenstände des Bevölkerungsbedarfes und nichtproduktive Dienstleistungen). Produktionsverfahren, die sich auf eine Periode (Produktion, Transport) und auf viele Perioden (Bildung und Nutzung der Fonds, Nutzung der natürlichen Ressourcen) beziehen, werden in Form von Matrizen  $\{A_{it}^s\}$  angegeben, wobei  $i$  die Art des Produktes, der Ressourcen und ähnliches angibt,  $t$  das Jahr,  $s$  das technologische Verfahren;  $A_{it}^s < 0$  entspricht Aufwendungen,  $A_{it}^s > 0$  dem Ausstoß von Produkten. Der Plan wird durch Angabe der Intensitäten  $r_s$  der technologischen Verfahren bestimmt, womit die Bilanzen für die verschiedenen Bestandteile  $x_{it} = \sum_s r_s A_{it}^s$  fixiert werden. Durch diese Bilanzen werden die Begrenzungen aufgezeichnet, die den zulässigen Plan bestimmen; Begrenzungen der Primärressourcen für alle Perioden  $x_{i,t} \cong -L_{i,t}$ ; Angabe der Produktionskapazitäten, der nutzbaren Bodenschätze und dergleichen zur Anfangsperiode  $x_{i,1} \cong -L_{i,1}$ ; Bilanzen der Zwischenprodukte  $x_{i,t} \cong 0$ ; Begrenzungen der Endprodukte, z. B. die Forderung ihres Ausstoßes in einem bestimmten Sortiment:  $x_{i,t} = C_{i,t} D_t$ . Hier bedeutet  $L_{i,t}$  die Existenz verschiedener Arten von Ressourcen,  $C_{i,t}$  ist die Charakteristik der  $i$ -ten Komponente des Sortimentes  $D_t$ . Als Optimierungskriterium wird das Maximum des Wachstumstempos  $\alpha$  der endlichen Produkte  $D_t = (1 + \alpha) D_{t-1}$  angenommen. Es sind auch andere Effektivitätskriterien möglich.

Große Aufmerksamkeit wird der Makromodellierung in den kapitalistischen Ländern gewidmet, wo ö. M., die durch synthetisierte Kennziffern bestimmt werden, zu Beginn der 30er Jahre entwickelt wurden. Die ö. M. spiegeln die Wechselbeziehung zwischen der *Ökonometrie* und der bürgerlichen politischen Ökonomie wider. Obgleich sie auch nicht die Kardinalprobleme der politischen Ökonomie und der Entwicklung der kapitalistischen Ökonomie klären, sind die durch die *Ökonometrie* gesammelten Erfahrungen von großem Interesse sowohl im Sinne der Modellierung der produktionstechnischen Seite der Reproduktion als auch der Analyse ihrer Fehler und der perspektivischen Entwicklungsrichtungen. Einen wesentlichen Schritt in der Untersuchung der Optimierungsprobleme der Ökonomik stellte die durch den amer. Mathematiker J. VON NEUMANN (1903–1957) vorgelegte Konzeption der Erweiterung des Gleichgewichtes für ein abgeschlossenes Modell unter der Voraussetzung eines konstanten Entwicklungstempos dar. In jüngster Zeit wird sowohl der Verallgemeinerung des v. NEUMANNschen Modells als auch bestimmten seiner Teilprobleme, z. B. dem einfachen Modell von LEONTIEF (s. *Zweigverflechtungsbilanz*), wodurch die Theorie des „erweiterten Gleichgewichtes“ einfacher wird, große Aufmerksamkeit gewidmet. Für die Untersuchung der erweiterten Reproduktion im allgemeinen Fall, d. h. nicht nur im Sinne v. NEUMANNs, werden verschiedene Modifikationen des Modells von LEONTIEF verwendet. Die wesentliche funktionale Beziehung im Modell

von KOOPMAN ist  $x_t + \dot{z}_t = f(z_t) - \lambda z_t$ , wobei  $z_t$  in der Berechnung das Kapital pro Arbeiter zum Zeitpunkt  $t$  angibt,  $f(z)$  ist der Produktionsausstoß in Abhängigkeit vom Kapital,  $x_t$  ist der Verbrauch pro Arbeiter,  $\lambda z_t$  ist die Zunahme der Investitionen proportional zum Wachstum der Arbeitskraft, das seinerseits proportional zum Bevölkerungswachstum  $L_t = L_0 e^{\lambda t}$  ( $\lambda > 0$ ) ist,  $L_t$  ist die Bevölkerung zum Zeitpunkt  $t$  ( $L_0 = \text{const}$ ),  $\dot{z}_t$  ist die Nettozunahme des Kapitals pro Arbeiter. Als Kriterium wird angenommen:  $\max \int_0^{\infty} e^{-\rho^* t} u(x_t) dt$  – der Gesamtnutzen pro Person der Bevölkerung,  $\max \int_0^{\infty} e^{-\rho t} u(x_t) dt$  – der Gesamtnutzen für alle Menschen ( $\rho^* = \rho - \lambda$ ) oder kompliziertere Varianten des Aufbaus der Zielfunktion, z. B. durch Rekursionsbeziehungen, die die Werte der Zielfunktion zweier zeitlich unbegrenzter Intervalle, von denen eines Teil des anderen ist, miteinander verbinden.

W. W. DEMJANENKO, W. A. KONOPLIZKI

Literatur: Струмилин, С. Г.: К проблеме оптимальных пропорций. Плановое хозяйство (1962) 6; Немчинов, В. С.: Экономико-математические методы и модели. Москва 1965; Канторович, Л. В.: Математические проблемы расчета и анализа оптимальных динамических моделей. Новосибирск 1965; Аллен, Р.: Математическая экономия. Пер. с англ. Москва 1963.

**Макроспрахе** – s. *Betriebssystem*.

**Manipulator** – Mechanismus, mit dem Tätigkeiten ausgeführt werden können, die den Operationen der menschlichen Hand äquivalent sind. Der M. wird zur Ausführung von Arbeiten eingesetzt, die es erforderlich machen, Gegenstände zu greifen, sie in einer für den Menschen unzugänglichen Umgebung (hohe Temperatur, Radioaktivität usw.) an jede beliebige Stelle des Arbeitsraumes zu transportieren, oder zur Ausführung kraftaufwendiger Operationen (z. B. die Handhabung eines großen Schmiedestückes unter dem Hammer). An der Entwicklung von Manipulatorsteuerungssystemen mit Digitalrechnereinsatz wird gearbeitet (s. a. *Industrieroboter* und *Roboter*).

I. T. PARCHOMENKO

**MARK-1** – erster automatischer elektromechanischer Ziffernrechner der Welt. Er wurde im Jahre 1944 von der *International Business Machines Corporation* (IBM) in Zusammenarbeit mit der Harvard-Universität (USA) entwickelt. MARK-1 war ein synchrones, parallelarbeitendes Rechengesetz; das mit Zahlen operierte, die 23 Dezimalstellen und eine Vorzeichenstelle haben konnten. Es bestand darüber hinaus die Möglichkeit, mit 46stelligen (Maschinen-)Worten zu arbeiten. Der Rechner konnte 5 Grundoperationen ausführen (Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division und das Auf-

suchen von Tabellenwerten) und verfügte über 60 Konstantenregister, über 72 Speicherregister, über einen zentralen Block für die Ausführung der Multiplikation und Division, über Einheiten zur Berechnung der elementaren transzendenten Funktionen  $\log_{10}x$ ,  $10^x$  und  $\sin x$  sowie über drei Lochstreifenleser für die Eingabe der Programme. Die Dateneingabe erfolgte über Lochkarten und Positionsschalter (wie sie auch für elektrische Schreibmaschinen benutzt werden). Jedes der 60 Konstantenregister bestand aus 24 Dezimalpositionsschaltern; jedes der 72 Speicherregister bestand aus 24 Ziffernrädern, mit deren Hilfe Zahlen gespeichert werden konnten. Rechenoperationen, wie z. B. die Addition, wurden über die Zahlendarstellung in einem entsprechenden Code ausgeführt. Der Block für die Ausführung der Multiplikation und Division realisierte die Multiplikation in folgender Weise: Zuerst wurden die ersten 9 Vielfache des Multiplikanten gebildet und gespeichert. Dann wurden aus ihnen die den Ziffern des Multiplikators entsprechenden Vielfache ausgewählt. Diese Zahlen wurden unter Berücksichtigung ihrer Stellenwertigkeit in der bei der Handrechnung üblichen Weise addiert. Im nächsten Schritt erfolgte die Fixierung der Kommastelle und die Ausgabe des Ergebnisses, d. h. des Produktes. Die Division führte der Block in analoger Weise aus. Die Werte der Logarithmusfunktion sowie deren Umkehrfunktion und die Werte der Sinusfunktion wurden mittels Reihenentwicklung dieser Funktionen unter Verwendung spezieller Register berechnet.

Jeder der drei Mechanismen für das Einlesen von Lochstreifen war ausgerüstet mit einem Ringlochstreifen, auf dem in gleichen Abständen die Codes der Funktionen und der Interpolationskoeffizienten eingestanzt waren. Am Anfang jeder Funktionswertberechnung wurde der Streifen automatisch an die Stelle des nächsten Wertes der Argumente transportiert, dann las die Maschine die Bezeichnung der Funktion und führte die Interpolation aus. Die Steuereinrichtung bestand aus einem Zahnrad, welches den „steuernden“ Lochstreifen bewegte. Auf diesem Lochstreifen befanden sich (querverlaufende) Lochungen. Jede dieser Lochungen bestand aus 24 gleichweit entfernten Löchern, die zu drei Gruppen A, B und C von jeweils acht Löchern zusammengestellt waren. Jede Lochung beinhaltete den Befehl „Nimm eine Zahl aus dem Speicher A, schicke sie nach B und führe die Operation C aus“.

Die Steuereinrichtung, die Interpolatoren und die Ziffernräder arbeiteten synchron, d. h., die sie realisierenden mechanischen Systeme von Zahnradern wurden von einem Elektromotor angetrieben. Die Zykluszeit betrug 300 ms und die mittlere Zeit für die Ausführung einer Multiplikation etwa 3 s.

MARK-1 wurde der Harvard-Universität zur Nutzung übergeben und arbeitete dort mehr als 15 Jahre.

P. W. POCHODSILO

Literatur: AIKEN, H. H., a. G. M. HOPPER: The automatic sequence controlled calculator. Electrical Engineering, New York 65 (1946) aug.—nov.

**Marke** — 1. In einigen *Programmiersprachen* dient eine Marke zur Kennzeichnung von Anweisungen. In Sprungbefehlen dient sie zur Angabe von *Adressen*. 2. In *Digitalrechnern* mit variabler Wortlänge erfolgt die Begrenzung der Daten im Speicher oder in Operandenregistern durch zusätzliche Informationen, die mit den letzten Zeichen der Information disjunktiv verbunden oder als Sonderzeichen auf einem weiteren Speicherplatz angefügt werden. Diese hierarchisch gestaffelten Marken dienen dann zur Adressierung.

**Markierung** — besonderes Zeichen, das auf dem *Informationsträger* (Magnetband, -trommel, Lochband, Lochkarte usw.) zusammen mit den zu speichernden Daten untergebracht wird. Die M. erfüllt einige Funktionen, die u. a. mit der Organisation der Datenverarbeitung (Suche des Anfangs und Endes eines Speicherbereichs, -blocks oder -feldes), der Kennzeichnung der Art der aufgezeichneten Information (z. B. Adressen-M.) und der Informationsanordnung auf dem Träger zusammenhängen. Eine M. kann beispielsweise auch zwei Datenblockgruppen voneinander trennen. M. werden auf besonderen magnetischen Spuren aufgezeichnet und in Form zeitlicher (mit veränderter Reihenfolge) bzw. physikalischer Merkmale (z. B. als Löcher, farbige Punkte) aufgebracht.

J. L. IWASKIW

**MARKOW-Kette** — (M.) *MARKOW-Prozeß* in diskreter Zeit mit einer endlichen oder abzählbaren Zustandsmenge. Seien  $\{x_1, x_2, \dots, x_n, \dots\}$  die Zustände der M.; man nimmt gewöhnlich an, daß der Zeitparameter die nichtnegativen ganzen Zahlen durchläuft. Die M. ist durch einen Satz von Übergangswahrscheinlichkeiten  $p_{ij}(n)$  definiert, d. h. Wahrscheinlichkeiten, die den Übergang aus dem  $i$ -ten in den  $j$ -ten Zustand während des  $n$ -ten Taktes steuern. Eine M. heißt homogen, falls die Abhängigkeit von  $n$  unterdrückt werden kann. Mit Hilfe von M. kann das Zeitverhalten beliebiger Systeme beschrieben werden, sofern diese eine endliche oder abzählbare Zustandsmenge besitzen und die Zustandsänderungen durch unabhängige Zufallsimpulse ausgelöst werden. Sei  $X_n$  der Systemzustand im  $n$ -ten Takt und  $g(n, x, y)$  derjenige Zustand, in den das System aus dem Zustand  $x$  übergeht, wenn im  $n$ -ten Takt der Impuls  $y$  anliegt. Ist  $Y_1, Y_2, \dots$  eine unabhängige Impulsfolge, so ist die Folge  $x_n = g(n, X_n, Y_n)$  eine M. mit den Übergangswahrscheinlichkeiten  $p_{ij}(n) = p\{g(n, x_i, Y_n) = x_j\}$ .  $g(n, x_i, Y_n)$  ist eine *Zufallsgröße* mit

dem Wertevorrat  $x_1, x_2, \dots$ , und auf der linken Seite steht die Wahrscheinlichkeit dafür, daß diese Zufallsgröße gleich  $x_j$  ist.

Wenn die Wahrscheinlichkeit  $p_i(0)$  dafür, daß sich das System zum Anfangszeitpunkt  $t=0$  im Zustand  $x_i$  befindet, bekannt ist, kann die Wahrscheinlichkeit eines beliebigen Abschnitts der Systemtrajektorie berechnet werden, denn die Trajektorie ist im Intervall  $[0, n]$  durch die Folge  $x(0), x(1), \dots, x(n)$  bestimmt:  $p\{x(0)=x_{i_0}, x(1)=x_{i_1}, \dots, x(n)=x_{i_n}\} = p_{i_0}(0) p_{i_0 i_1}(1) \times \dots \times p_{i_{n-1} i_n}(n)$ . Aus den Übergangswahrscheinlichkeiten für einen Schritt  $p_{ij}(n-1, n) = p_{ij}(n)$  lassen sich die Übergangswahrscheinlichkeiten für mehrere Schritte  $p_{ij}(m, n)$  berechnen. Das sind die Wahrscheinlichkeiten dafür, daß das System im  $n$ -ten Takt in den Zustand  $x_j$  gelangt, wenn es sich zum Takt  $m$  ( $m < n$ ) im Zustand  $x_i$  befunden hat. Es gilt die Beziehung

$$p_{ij}(m, n+1) = \sum_k p_{ik}(m, n) p_{kj}(n, n+1). \quad (1)$$

(Die Summation erstreckt sich über alle möglichen Zustände.) Der Bequemlichkeit halber werden die Übergangswahrscheinlichkeiten in Matrizenform dargestellt.

$$\Pi(m, n) = (p_{ij}(m, n)), \quad \Pi(n) = (p_{ij}(n)).$$

( $i$  ist der Zeilen- und  $j$  der Spaltenindex.) Matrizen dieser Art heißen stochastische Matrizen. Sie bestehen ausschließlich aus nichtnegativen Gliedern, die Zeilensumme ist gleich Eins. Das Produkt zweier stochastischer Matrizen ist wiederum eine stochastische Matrix. Gl. (1) lautet in Matrixschreibweise

$$\Pi(m, n) = \Pi(m+1) \Pi(m+2) \dots \Pi(m+n).$$

Eine sehr wichtige Aufgabe insbesondere der Theorie homogener M. besteht darin, das Verhalten von  $p_{ij}(m, n)$  für  $n \rightarrow \infty$  zu untersuchen. In diesem Falle hängt  $\Pi(n) = \Pi$  nicht von  $n$  ab. Daher gilt  $\Pi(m, n) = \Pi^{n-m}$ . Die Aufgabe ist damit zurückgeführt auf das Studium des Verhaltens der  $n$ -ten Potenzen stochastischer Matrizen für  $n \rightarrow \infty$ . Für die Praxis am interessantesten ist der Fall, daß das Ergodentheorem erfüllt ist (s. *Ergodentheorie*). Dann strebt  $p_{ij}(m, n)$  für  $n \rightarrow \infty$  gegen einen Grenzwert  $p_j$ , der nicht vom Ausgangszustand  $x_i$  abhängt. Für die Gültigkeit der Ergodenhypothese bei M. mit endlicher Zustandsmenge ist notwendig und hinreichend, daß für ein gewisses  $n$  mindestens eine Spalte der Matrix  $\Pi^n$  aus positiven Elementen besteht. Gilt dies insbesondere für  $\Pi$ , so ist das Ergodentheorem erfüllt. Die Wahrscheinlichkeiten  $p_j = \lim_{m < \infty, n \rightarrow \infty} p_{ij}(m, n)$  heißen ergodische Wahrscheinlichkeiten. Sie sind stationär: aus  $p\{x(0)=x_j\} = p_j$  folgt  $p\{x(n)=x_j\} = p_j$  für alle  $n > 0$ . Stationäre Wahrscheinlichkeiten genügen der Beziehung

$\sum_i p_i p_{ij} = p_j$ , wobei die  $p_{ij}$  die Übergangswahrscheinlichkeiten für einen Takt der homogenen Kette sind. In Fällen, in denen das Ergodentheorem erfüllt ist, bestimmt diese Gleichung zusammen mit der Bedingung  $\sum_j p_j = 1$  eindeutig die ergodischen Wahrscheinlichkeiten (s. a. *Zufallsprozesse, Theorie*).

A. W. SKOROCOD

Literatur: KEMENY, J. G., a. J. L. SNELL: Finite Markov chains. Dartmouth 1968; ROSENBLATT, M.: Markov processes. Structure and asymptotic behaviour. Berlin, Heidelberg, New York 1971; FELLER, W.: Introduction to probability theory and its applications. New York 1957; CHUNG, K.-L.: Markov chains with stationary transition probabilities. Berlin 1960; Колмогоров, А. Н.: Цепи Маркова со счетным числом возможных состояний. Бюллетень Московского университета 1 (1937) 3.

**MARKOW-PROZEß** — (M.) *Zufallsprozeß* mit der Eigenschaft, daß sein Verhalten für  $t' > t$  nur vom bekannten Zustand zum Zeitpunkt  $t$  und nicht von der übrigen Vorgeschichte abhängt. Der Begriff des M. wurde von dem sowjetischen Mathematiker A. N. KOLMOGOROW (geb. 1903) mit dem Ziel geschaffen, den Begriff des dynamischen Systems zu verallgemeinern. Ein dynamisches System liegt dann vor, wenn in einem Phasenraum  $X$  eine Funktion  $p(t, x, s)$  für  $t < s$  gegeben ist, die die Lage des Systems (definiert als Punkt des Phasenraums) im Zeitpunkt  $s$  angibt, falls sich das System zur Zeit  $t$  im Punkt  $x$  befunden hat. Es gilt die Rekursionsgleichung

$$p(t, x, u) = p(s, p(t, x, s), u),$$

wobei  $t < s < u$  vorausgesetzt wird. Das bedeutet folgendes: Ein System durchläuft beim Übergang vom Phasenpunkt  $x$  zur Zeit  $t$  zum Phasenpunkt  $p(t, x, u)$  in einem gewissen Zeitpunkt zur Zeit  $s$  den Zustand  $p(t, x, s)$ . Ein M. ist in einem Phasenraum  $X$  durch Angabe einer Funktion  $p(t, x, s, E)$  definiert, die die *Wahrscheinlichkeit* dafür ist, daß ein System aus einem Zustand  $x$ , den es zum Zeitpunkt  $t$  eingenommen hat, zu einem Zeitpunkt  $s > t$  in einen Zustand aus der Menge  $E$  übergeht. Dabei wird gefordert, daß 1.  $p(t, x, s, E)$  für alle  $t < s$ ,  $t \in T$  ( $T$  — Definitionsbereich des Prozesses) definiert ist,  $x$  Element von  $X$  ist und  $E$  einer  $\sigma$ -Algebra  $\chi$  von Untermengen aus  $X$  angehört; 2.  $p(t, x, s, E)$  als Wahrscheinlichkeit ein Maß auf  $E$  ist; 3. für  $t < s < u$  die Beziehung

$$p(t, x, u, E) = \int p(s, y, u, E) p(t, x, s, dy) \quad (1)$$

erfüllt ist. Gl. (1) hat nur dann einen Sinn, wenn  $p(t, x, s, E)$  für alle  $t < s$  und  $E \in \chi$  meßbar bezüglich  $x$  ist. Diese Gleichung wird meist als CHAPMAN-KOLMOGOROW-Gleichung bezeichnet und ist das Analogon zu der oben

betrachteten Rekursionsgleichung. Beim Übergang von  $x$  nach  $E$  durchläuft das System mit der Wahrscheinlichkeit  $p(t, x, s, dy)$  eine Umgebung von  $y$  und geht dann von dort aus mit der Wahrscheinlichkeit  $p(s, y, u, E)$  nach  $E$  über. Über  $y$ , das beliebig ist, wird integriert, um alle möglichen Übergangstrajektorien zu berücksichtigen. Der Definitionsbereich eines M. kann u. a. eine beliebige Folge von Zeitpunkten sein. Beispielsweise ist  $T$  die Folge der natürlichen Zahlen, und der M. ist zeitdiskret. Der M. kann auch auf endlichen oder unendlichen Zeitintervallen definiert sein. Die M. lassen sich auch nach der Art des Phasenraumes einteilen. Am häufigsten sind die folgenden Fälle anzutreffen: a)  $X$  ist eine endliche Menge, und der zugehörige M. heißt Prozeß mit endlicher Zustandsmenge, b)  $X$  ist abzählbar und der M. somit ein Prozeß mit abzählbarer Zustandsmenge, c)  $X$  ist ein endlichdimensionaler unendlicher Raum, und der zugehörige M. heißt Prozeß mit stetiger Zustandsmenge. Zeitdiskrete M. mit endlicher oder abzählbarer Zustandsmenge heißen MARKOW-Ketten.

Die  $p(t, x, s, E)$  heißen Übergangswahrscheinlichkeiten oder Übergangsfunktionen des M. Die Ermittlung möglicher Übergangswahrscheinlichkeiten ist eines der Grundprobleme der Theorie der M. Sie wird i. allg. darauf eingeschränkt, daß linearisierte Varianten von Gl. (1) betrachtet werden. Die dabei entstehenden Beziehungen heißen KOLMOGOROW-Gleichungen. Ihre Gestalt ist für die unterschiedlichen Klassen von M. je verschieden. Der einfachste Fall ist der, daß die Zeit stetig und  $X$  endlich oder abzählbar ist. Die Übergangswahrscheinlichkeiten sind dann in der Form  $p_{ij}(t, s)$  angebar. Das sind bedingte Wahrscheinlichkeiten für den Übergang vom  $i$ -ten in den  $j$ -ten Zustand bei Fortschreiten der Zeit von  $t$  nach  $s$ . Dabei ergibt sich ein System partieller Differentialgleichungen

$$\frac{\partial}{\partial s} p_{ij}(t, s) = \sum_k p_{ik}(t, s) a_{kj}(s),$$

$$-\frac{\partial}{\partial t} p_{ij}(t, s) = \sum_k a_{ik}(t) p_{kj}(t, s),$$

die hier gleichzeitig die KOLMOGOROW-Gleichungen darstellen. Für homogene M. ergeben sich beträchtliche Vereinfachungen. Ein M. heißt homogen, falls

$$p(t, x, s, E) = p(t+h, x, s+h, E)$$

gilt. Ein M. heißt rein unstetig, wenn die beiden Grenzwerte

$$\lim_{h \rightarrow 0, h_1 \rightarrow 0} \frac{1}{h+h_1} p(t-h_1, x, t+h, E) = \lambda(t, x, E)$$

für alle  $E$  mit  $x \notin E$  und

$$\lim_{h \rightarrow 0, h_1 \rightarrow 0} \frac{1}{h+h_1} [p(t-h_1, x, t+h, \{x\}) - 1] = -\lambda(t, x)$$



mit  $\{x\}$  als einer Eiemenge existieren. Mit Hilfe rein unstetiger Prozesse kann man die Mehrzahl der Systeme beschreiben, deren Zustand sich in zufälligen Zeitpunkten durch zufällige Störungen ändert. Störungen in solchem Sinne sind ein Anruf in einer Zentrale, der Ausfall einer Einheit in einer automatisch arbeitenden Einrichtung usw.

Die *Diffusionsprozesse* sind eine besonders wichtige Klasse von *M.* mit stetiger Zustandsmenge. Sie beinhalten im wesentlichen die statistische Beschreibung von Diffusionserscheinungen. Außerdem werden noch *M.* gemischten Typs untersucht, bei denen die stetige Diffusionsbewegung mit Sprüngen beaufschlagt wird. Die KOLMOGOROW-Gleichungen nehmen dann die Gestalt von Integro-Differentialgleichungen an.

Oft ist es von Bedeutung, nicht nur die Übergangswahrscheinlichkeiten von *M.* zu kennen, sondern auch die Verteilung verschiedener Funktionale dieser Prozesse. Ein *M.* wird dabei als gewöhnlicher Zufallsprozeß (genauer: als Gesamtheit von *M.* mit gleicher Übergangswahrscheinlichkeit) aufgefaßt. Die Theorie der *M.* untersucht weiterhin das Verhalten von  $p(t, x, s, E)$  für  $s \rightarrow \infty$ , insbesondere bei homogenen Prozessen. Unter diesen wiederum interessieren besonders die zeitdiskreten Prozesse, was mit einer Möglichkeit zur Formulierung des Ergodenprinzips in Verbindung zu bringen ist (s. *Ergodentheorie*).

A. W. SKOROCOD

Literatur: CHUNG, K.-L.: Markov chains with stationary transition probabilities. Berlin 1960; ITO, K., u. H. P. MCKEAN: Diffusion processes and their sample paths. Berlin 1965; PAPOULIS, A.: Probability, random variables and stochastic processes. New York 1965; ГИХМАН, И. И., u. А. В. СКОРОХОД: Stochastische Differentialgleichungen. Berlin 1971; Сарымсаков, Т. А.: Основы теории процессов Маркова. Москва 1954; Дынкин, Е. Б.: Марковские процессы. Москва 1963; Гихман, И. И., и А. В. Скороход: Теория случайных процессов, т. 1 и 2. Москва 1971 и 1973.

**Maschine** — 1. Gesamtheit der Mechanismen und Geräte zur Umwandlung von Energie, zur Verrichtung von Arbeit oder für die Aufnahme, Übertragung, Speicherung, Verarbeitung oder Verwendung von Informationen. Die Vielfalt der Maschinen teilt man in drei Grundklassen ein: Motoren zur Umwandlung irgendeiner Energieart in kinetische Energie; Arbeitsmaschinen (Werkzeugmaschinen), mit deren Hilfe eine Veränderung der Form, der Eigenschaften, des Zustandes und der Lage der Arbeitsobjekte durchgeführt wird; Maschinen, die an Stelle des Menschen einige Funktionen der geistigen Arbeit erfüllen (Registriermaschinen, Rechenmaschinen).

Die Entwicklung führt zu komplexeren Maschinen (Automaten, Taktstraßen usw.), die aus hochentwickelten Werkzeugmaschinen bestehen, die

mit (mechanischen, elektromechanischen und elektronischen) Steuermechanismen und -geräten gekoppelt sind. Die Entwicklung tendiert hierbei zu hochgradiger Automatisierung der Produktion. Dabei spielen hydraulische, pneumatische, elektromechanische und vor allem elektronische Baugruppen für die Steuerung und Regelung eine wesentliche Rolle. Mit der Entwicklung der Automatisierung und besonders in Verbindung mit der Entstehung der Kybernetik wurde der Terminus Maschine auf einen sehr breiten Begriffskreis ausgedehnt (s. *Bionik, Digitalrechner*).

2. Synonym des Begriffs *Automat*; abstrakter mathematischer Begriff. In der *Kybernetik* verwendet man den Begriff „Maschine“ meist für die Kennzeichnung *unendlicher Automaten* (z. B. *TURING-Maschine*), auch für *endliche Automaten* wird häufig der Terminus „Automat“ verwendet.

D. K. LISSENBART

**Maschine, virtuelle** – s. *Betriebssystem; IBM-System/370*.

**Maschinelle Intelligenz** – Gesamtheit solcher Charakteristika einer Rechanlage wie der Umfang des gespeicherten Wissens sowie die Fähigkeit, dieses durch Belehrung zu ergänzen, der Grad des „Verstehens“ höherer *Programmiersprachen*, der Grad der strukturellen Verwirklichung von Methoden der Informationsverarbeitung und der Organisation des Rechenprozesses insgesamt. Diese Charakteristika simulieren solche Merkmale der menschlichen Intelligenz wie die Erudition (Gelehrsamkeit) und die Aufgeschlossenheit, Erfahrung zu erwerben, die Aufnahmefähigkeit, die Auffassungsgabe und die Organisiertheit der Tätigkeit. Daher stammt auch der Terminus „Maschinelle Intelligenz“, deren Hauptmerkmale in geeigneter Weise durch die maschinelle Erudition und Aufgeschlossenheit, durch das Verstehen von Quellsprachen, durch relative Reaktionsschnelligkeit und durch das Organisationsniveau gekennzeichnet werden können. Die m. I. als eine Summe vorgegebener Eigenschaften charakterisiert die durch die algorithmische Struktur festgelegten Möglichkeiten der Maschine, die hauptsächlich im Bereich der Interaktion der Maschine mit dem Nutzer (unmittelbar oder über die Vermittlung anderer Objekte der Umwelt) zum Ausdruck kommen. Somit spiegelt der Begriff der m. I. die Forderung wider, Strukturen von Rechanlagen zu entwickeln, die als Folge dessen entstehen, daß unterschiedliche Fachleute die EDVA nutzen. Dieser Begriff unterscheidet sich prinzipiell von der *künstlichen Intelligenz*, die ein Modell bestimmter Intelligenzeigenschaften darstellt, unabhängig von den Charakteristika der Modellierungsmittel. Gleichzeitig wirkt sich das Niveau der m. I. wesentlich auf die Möglichkeiten und die Effektivität der Anwendung dieser Mittel zur Darstellung künstlicher Intelligenz aus.

Die m. I. wird in der internen, aber auch in der quasi-internen Software der Maschine realisiert (s. *Software, innere*). Dementsprechend sind alle Algorithmen und die anderen Komponenten der m. I. immer (d. h. ohne vorherige „manuelle“ Vorbereitung für das Arbeiten mit ihnen) der Nutzung zugänglich, unabhängig von der Methode ihrer Realisierung in Form dieser oder jener maschinellen Ausrüstung. Eine wichtige Besonderheit des Begriffes m. I. besteht in der Möglichkeit, quantitative Bewertungen ihres Niveaus in Form einer Kennziffer über die Eignung der Maschine zur Lösung unterschiedlicher Aufgaben und zur effektiven *Interaktion des Menschen mit der Rechenanlage* zu erarbeiten. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, verschiedene Maschinen bezüglich dieser Kennziffer zu vergleichen. Der Vorrat der zu speichernden, die maschinelle Erudition bestimmenden Informationen enthält Standard- und Dienstalgorithmen (zur Ausführung von Berechnungs- und Steuerungsprozeduren bestimmt), Konstanten, auszufüllende Formulare (Tabellenstrukturen) sowie Daten, die während der Belehrung und der Nutzung der Maschine gewonnen werden und zur Lösung der nachfolgenden Aufgaben benutzt werden. Charakteristisch für die Nutzung dieser gesamten Information (des „Wissens“ der Maschine) bei der Programmierung, Ausstattung und Lösung auf einem recht hohen Niveau der m. I. ist die Einfachheit und der operative Charakter.

Das „Verstehen“ einer Aufgabe durch die Maschine bewirkt mit Hilfe der Interpretation ihre unmittelbare Ausführung, d. h., eine völlig verständliche Aufgabe ist das, was in der Programmstufe der internen Maschinensprache als Arbeitsprogramm aufgezeichnet ist. Somit ist der Grad des „Verstehens“ algorithmischer Programmiersprachen durch die Maschine als die Beziehung zwischen diesen Sprachen und der Programmstufe der internen Sprache definiert. Der Einbau von Elementen und Konstruktionen der algorithmischen Sprachen in der internen Sprache erhöht den Grad des „Verstehens“ der Maschine, wodurch das Übersetzungssystem vereinfacht wird, sich die Effektivität bei der Realisierung der Programme, die in einer algorithmischen Sprache entworfen werden, erhöht, die Vorbereitung und Testung der Aufgaben erleichtert wird usw. Das System der strukturellen Interpretation der internen Sprache wird dabei jedoch komplizierter. Die Tendenz, den Grad des „Verstehens“ algorithmischer Sprachen zu erhöhen, zeigt sich sehr deutlich, insbesondere beim Einsatz der Maschinen im *Dialogbetrieb*.

Das letzte Merkmal der m. I. ist dementsprechend durch die schnellere Ausführung der Operationen, durch die Verknüpfbarkeit der Prozesse und die Organisation des Rechenprozesses mit den Mitteln der Maschine selbst (z. B. durch Realisierung von Komponenten des *Betriebssystems* im Aufbau der Maschine) bestimmt. Hier wird ein sehr breiter Kreis von Prinzipien erfaßt, die mit den strukturell-konstruktiven Eigenheiten der Maschine

und mit den technisch-organisatorischen Besonderheiten ihrer mathematischen Nutzung verbunden sind. Die Tendenz zur Erhöhung der m. I. bewirkt eine Zunahme der Anforderungen an die Maschinen. Die Realisierung dieser Tendenz wird durch die Entwicklung der konstruktiven und technologischen Basis der Maschinen gefördert.

S. L. RABINOWITSCH

Literatur: FOGEL, L., A. OWENS a. M. WALSH: Artificial Intelligence through simulated evolution. New York 1966; Глушков, В. М., и др.: Вычислительные машины с развитыми системами интерпретации. Киев 1970.

**Maschinelle Projektierung integrierter Schaltungen** – Automatisierung von Etappen der Entwicklung und Produktion von integrierten Schaltungen und ihren Elementen mit Hilfe *elektronischer Rechenmaschinen*. Bei den Rechenanlagen der dritten Generation bilden die *integrierten Schaltungen* (IC) die Grundlage für die Elementebasis. Die m. P. i. S. stellt eine Etappe der *Automatisierung der Projektierung von Digitalrechnern* dar. Das automatisierte System der m. P. i. S. ist ein Komplex von untereinander verflochtenen *Algorithmen* und *Programmen* für folgende Teilsysteme: 1. strukturelle und logische Modellierung von Funktionsschemata; 2. Analyse und Modellierung von Grundsaltungen; 3. Projektierung der Topologie (Layout); 4. statistische Projektierung und Optimierung; 5. Software für die Funktion von Spezialgeräten zur Herstellung von Schablonen; 6. Software für die technischen Mittel der maschinellen Projektierung.

Die Struktur des automatisierten Systems der m. P. i. S. ist nicht von der konkreten Elementebasis und der Technologie abhängig. Eine Änderung der Elementebasis und der Technologie wird durch die Zuverlässigkeit der *mathematischen Modelle*, durch die Wahl der Methoden zur Aufstellung der Gleichungen und zur Projektierung der *Topologie* sowie durch die Reihenfolge des Funktionsablaufs der Teilsysteme festgelegt. Die Vorteile der m. P. i. S., die in einer Zeit- und Kosteneinsparung sowie in einer Qualitätserhöhung der IC zum Ausdruck kommen, zeigen sich in vollem Umfange erst bei der durchgängigen Automatisierung aller Etappen der Projektierung und der komplexen Lösung der Aufgaben. Die Anwendung der maschinellen Projektierung wird durch folgende Faktoren bestimmt: 1. Während der vollständigen Untersuchung der Varianten liegen die Schaltungen bis zu ihrer Realisierung noch als „Masken“ oder „Schablonen“ vor, da ohne die Veränderung letzterer eine Variation der Komponenten der Schaltung zur Optimierung der Güte nicht möglich ist; 2. die Wechselbeziehung zwischen den Etappen der Projektierung von IC, insbesondere für *hochintegrierte Schaltungen* (LSI), in denen die Ergebnisse einer Etappe – beispielsweise die Ergebnisse der elektrischen Berechnung der Schaltungen – Eingangsdaten

für andere Etappen darstellen, z. B. für die Projektierung der Topologie, und die Ergebnisse der Topologielösung ihrerseits unmittelbar die Parameter der Schaltung bestimmen und folglich die Ergebnisse der elektrischen Berechnung beeinflussen; 3. die Analyse der Leistungsfähigkeit der Schaltungen in allen Entwicklungsetappen und die Prüfung, ob die funktionellen Strukturschemata mit den logischen und mathematischen Gleichungen, die elektrischen Grundschaltungen mit den funktionellen Strukturschemata, die topologischen Schemata mit den elektrischen Grundschaltungen, die Fotoablonen mit den topologischen Schemata und die hergestellten Schaltungen mit den logischen und mathematischen Ausgangsgleichungen übereinstimmen; 4. die wechselseitige Beachtung der Anforderungen an Technologie, Konstruktion und Schema sowie der Beschränkungen, die durch den unvermeidlichen statistischen Charakter des technologischen Prozesses der Produktion und durch die Möglichkeiten der einsetzbaren technischen und technologischen Mittel und der Ausrüstung bedingt sind.

Die vorhandene Theorie und *Software* der m. P. i. S. bezieht sich in erster Linie auf die Betrachtung einzelner Etappen der Projektierung, insbesondere auf die Analyse und Modellierung der Schaltungskomponenten. In letzter Zeit ist durch den *Systemzugang* eine Reihe von Arbeiten zur Automatisierung der Projektierung durchgeführt worden. Für IC, die z. B. MOS-Transistoren enthalten, besteht die Software des 1. Teilsystems aus Programmen, die für einen MOS-IC das automatische Aufstellen eines logischen Modells in Form eines Systems von *Booleschen Funktionen* sowie dessen Analyse, Diagnose und die notwendige Korrektur gewährleisten. Als Eingangsdaten für das Programm der logischen Modellierung dienen ein Gleichungssystem für die Direktverbindungen des IC und ein System von Testparametern. Die Ausgangsinformation des 1. Teilsystems stellt eine Tabelle von Gleichungen für die Direktverbindungen dar, wobei die Gleichungen unter Beachtung der Beschränkungen bezüglich der ausgewählten Elementebasis sowie der Forderungen des „Auftraggebers“ auf der EDVA umgewandelt worden sind. Diese Information dient (zusammen mit einer Liste der technologischen und topologischen Restriktionen) als Eingangsinformation für das 3. Teilsystem. Die Programme dieses Teilsystems realisieren auf der EDVA die Vorbereitung des Schaltungsschemas des IC, in dem mit Hilfe von willkürlich gewählten Koordinaten die Plätze für die Anordnung der Schaltungsstege (Aluminium- und Diffusionsstege) der MOS-Transistoren, der Kontaktstellen usw. fixiert werden. Spezielle Unterprogramme gewährleisten die Umrechnung der topologischen Parameter des Schaltungsschemas in die elektrischen Parameter der Transistoren, der Betriebs- und Knotenkapazitäten und führen die elektrische Berechnung, die Analyse und Korrektur der Parameter der „kritischen“ Stufen aus (indem Programme des 2. und

4. Teilsystems genutzt werden). Das automatische Erstellen von Datensätzen für den Übergang von den willkürlich gewählten Koordinaten der geometrischen Gebilde zu den tatsächlichen Koordinaten und die Zusammenstellung der Topologiezeichnung (zur Kontrolle mit Durchzeichnung auf dem Plotter mittels der Programme des 4. Teilsystems) wird unter Berücksichtigung der Anschlußstellen der logischen Stufen und der Einfassungselemente der IC durchgeführt. Die Programme des 4. Teilsystems werden in einer Bibliothek fertiger Topologielösungen, die im *Langzeitspeicher* der EDVA aufgezeichnet wurde, gespeichert. Mit Hilfe der Programme des 5. Teilsystems erfolgt eine automatische Aufbereitung der Eingangsdaten (auf *Lochstreifen*, *Lochkarten*) für die Programmsteuerung der Schablonenherstellung auf Spezialanlagen (Koordinatograph, Fotolithographiegerät). Unter Verwendung der Liste der technologischen und topologischen Restriktionen (Bibliothek des 4. Teilsystems) werden mittels der Programme des 3. Teilsystems die Elemente der Schaltung auf dem Träger angeordnet und die Trassierung der Zwischenverbindungen sowie die Korrektur der Anordnung der IC-Elemente und der Zwischenverbindungen auf dem Träger durchgeführt.

Als Ausgangsinformation des automatisierten Systems der Projektierung dienen die Topologiezeichnungen des IC und der Lochstreifen (Lochkarte) für die Herstellung der Fotoschablonen. Die einzelnen Programme des 3., 5. und 6. Teilsystems können zu einem Teilsystem der technischen Projektierung, der Umwandlung der Eingangsinformation und der Gestaltung der Ausgangsinformation mit der Ausgabe von Belegen und Lochstreifen (Lochkarten, Magnetbänder) zusammengefaßt werden.

Der Einsatz eines automatisierten Systems der m. P. i. S. führt auf dem Gebiet der Projektierung diskreter Schaltungen aufgrund der hier bestehenden Unifizierung und Standardisierung der Elementebasis zu einem maximalen technisch-ökonomischen Nutzeffekt. Die Entwicklung und Einführung von Methoden der m. P. i. S. ist gegenwärtig auf die Reduzierung (und später auf die völlige Beseitigung) der manuellen Arbeit und auf die Steigerung der Arbeitsproduktivität im Bereich des Gerätebaus gerichtet.

W. G. TABARNY

Literatur: STERN, L.: Grundlagen integrierter Schaltungen. München 1971; Entwurf mikroelektronischer Schaltungen. Berlin 1976; Сигорский, В. П., и А. И. Петренко: Алгоритмы анализа электронных схем. Киев 1970; Ильин, Б. Н.: Машинное проектирование электронных схем. Москва 1972; Моралев, С. А., и др.: Система машинного проектирования БИС на МОП-транзисторах. Электронная промышленность (1972) 2.

**Maschinelle Übersetzung** – automatische Übersetzung, im engeren Sinne: Übersetzung von Texten aus einer natürlichen Sprache in eine andere mit

Hilfe elektronischer *Universalrechner* und *Spezialrechner*; im weiteren Sinne: wissenschaftliche Forschungen, die mit der Entwicklung eines Systems der m. Ü. im oben genannten engeren Sinne zusammenhängen. Die Frage des möglichen Einsatzes von EDVA zur Übersetzung einer natürlichen Sprache in eine andere wurde erstmals 1947 in den USA aufgeworfen. Zur Zeit laufen in der UdSSR, den USA, in Frankreich, Großbritannien, der DDR, der ČSSR, in Bulgarien, Ungarn, Kanada, Japan, der BRD und in Italien Forschungen auf diesem Gebiet.

Bei den Systemen der m. Ü. (im engeren Sinne) unterscheidet man in der Regel folgende Komponenten: ein implementiertes Wörterbuch (s. *Wörterbuch, automatisches*), einen *Algorithmus* sowie ein *Programm*, das diesen Algorithmus realisiert.

Die linguistischen Informationen über die beiden an der Übersetzung beteiligten Sprachen wurden ursprünglich nicht als selbständig ausgewiesen, d. h., sie stellten keine von den Übersetzungsregeln isolierte Beschreibung der Sprachen dar. Die Angaben über die Sprachen waren über die verschiedenen Regeln des Algorithmus verteilt. In einer Regel wurden dabei Informationen mit sehr unterschiedlichem Charakter ausgenutzt. Es erwies sich im Laufe der Zeit als vorteilhaft, Informationen über die Sprache und die Art der Aufzeichnung dieser Informationen, d. h. den benutzten Formalismus und den Algorithmus selbst zu unterscheiden, d. h., Arbeitsregeln abzuheben, die auf den Formalismus bezogen formuliert wurden und nicht von dem konkreten linguistischen Informationsvorrat abhängen. Ungeachtet dessen, daß eine solche Einteilung allgemein üblich geworden ist, benutzt man jedoch auch gegenwärtig noch häufig den Terminus „Algorithmus zur m. Ü.“ und versteht darunter sowohl den Algorithmus selbst als auch die erforderlichen Informationen über die Sprache. Auch bei dieser allgemeinen Fassung des Begriffes „Algorithmus“ stellt der Algorithmus den Hauptteil des Systems der m. Ü. dar, da Wörterbuch und Programm dadurch festgelegt werden. Wenn man von verschiedenen Zugängen zum Aufbau von Systemen der m. Ü. spricht, versteht man in erster Linie Vorgehensweisen zur Aufstellung von Algorithmen der m. Ü. In den Arbeiten zur Entwicklung von Übersetzungsalgorithmen können (etwas vereinfacht und unter Vorbehalt) drei Etappen unterschieden werden. Es wird dementsprechend von Systemen der m. Ü. der 1., 2. und 3. Generation gesprochen.

In den Systemen der 1. Generation hatten die Algorithmen bilingualen Charakter, d. h., sie waren nur für zwei an der Übersetzung beteiligte Sprachen bestimmt. Dabei war die Analyse des zu übersetzenden Textes auf die Eigenschaften der Zielsprache orientiert, d. h., bei der Bearbeitung des Textes der Quellsprache ergab sich das Problem, nicht nur die Angaben über den zu übersetzenden, sondern gleichzeitig auch über den übersetzten

Text zu klären, mit anderen Worten, Analyse und Synthese sind relativ eng miteinander verflochten. In der Regel waren derartige Algorithmen univariant, sie hatten für jeden Satz die Erzeugung einer einzigen Übersetzungsvariante zum Endziel. Außerdem wurde in all jenen Fällen, in denen es nötig wurde, aus einem bestimmten Bereich von Möglichkeiten die Auswahl zu treffen, eine Auswahlvorschrift vorgegeben. Bei manchen Algorithmen war dabei die Rückkehr zu einer Stelle, an der die Entscheidung schon gefallen war, unmöglich. Bei anderen Algorithmen waren Verfahren zur Markierung solcher zweifelhaften Stellen vorgesehen, um dorthin zurückkehren zu können, wenn es an Hand bestimmter Merkmale gelang, die Unzulänglichkeit des Ergebnisses festzustellen. In den Systemen der 1. Generation wurde die Beschreibung der Spracheigenschaften nicht als selbständiger Teil herausgestellt.

In den Systemen der 2. Generation vollzog sich eine Abtrennung der Analyse von der Synthese in folgendem Sinne. Die Analyse wurde von der Sprache, in die übersetzt wird, unabhängig. Ihr Ziel wurde die Strukturaufklärung des zu übersetzenden Textes und der Ergebnisaufzeichnung, der Darstellung dieses Textes in einer bestimmten Form (s. *Syntaktische Analyse, automatische*). Die Synthese wurde von der zu übersetzenden Sprache unabhängig. Ihr Ziel wurde es, aus einer vorgegebenen Darstellung den Text der Zielsprache zu entwickeln. Die Systeme der 2. Generation sind bereits nicht mehr darauf orientiert, eine einzige Variante zu erzeugen und in jedem Zweifelsfall eine Entscheidung zu treffen. An die Stelle dieser Vorgehensweise trat die multivariante Analyse, d. h. die Durchmusterung der Möglichkeiten und eventuelle Verzweigung des Prozesses. Analyse und Synthese wurden in diesen Systemen entsprechend der Gliederung der Sprache in Stufen eingeteilt. Außerdem entstand in den Systemen der 2. Generation die oben erwähnte Gliederung des Algorithmus in den eigentlichen Algorithmus und in Angaben über die Sprache, die unter Verwendung eines bestimmten Formalismus aufgezeichnet wurden. Die Systeme der 2. Generation stellten größtenteils Systeme dar, bei denen das Hauptaugenmerk auf die Phase der syntaktischen Analyse gerichtet wurde, die die Analyse des Quelltextes abschließt. Die Synthese spielt darin in gewissem Sinne eine Nebenrolle.

Zu den Systemen der 3. Generation können diejenigen Systeme gerechnet werden, bei denen erstens Phasen der semantischen Analyse und Synthese auftreten und sich zweitens das Verhältnis zwischen Analyse und Synthese ändert. Die Analyse ist nicht mehr Zentrum des Systems, der Kompliziertheitsgrad und die „Beanspruchung“ von Analyse und Synthese passen sich an, und die Synthese wird ebenfalls multivariant. Letzteres bedeutet, daß die Synthese auf den Aufbau mehrerer Textvarianten vorgegebener Struktur abzielt (s. *Bedeutung ↔ Text-Modell*). Im übrigen enthalten die Systeme der



3. Generation mehrere Merkmale der Systeme der 2. Generation: die Unabhängigkeit von Analyse und Synthese, ihre Gliederung in Stufen, die Orientierung auf das Durchmustern (Filtern) bei der Analyse, die Herauslösung des eigentlichen Algorithmus und das Vorhandensein aufgestellter Formalismen für die Aufzeichnung der Informationen über die Sprache (insbesondere die Ausnutzung von *formalen Grammatiken*).

Die Übersetzung eines Textes durch die Maschine wird in eine Anzahl von Phasen eingeteilt. In den verschiedenen Systemen der m. Ü. unterscheiden sie sich etwas, man kann sich jedoch ein bestimmtes allgemeines Schema vorstellen, das für die 2. und 3. Generation (Systeme der 1. Generation werden gegenwärtig nicht gebaut) charakteristisch ist. Das allgemeine Schema und die auftretenden Abweichungen kann man folgendermaßen beschreiben. In einigen Fällen geht dem Beginn der Textverarbeitung durch die Maschine eine Vorbereitungsphase voraus. Sie kann entweder ein recht kompliziertes Vorredigieren des Textes oder nur eine gewisse unkomplizierte Markierung (z. B. die Einführung spezieller Zeichen für Formeln usw.) beinhalten. Der Text gelangt in codierter Form in die Maschine. Bei vollständiger Automatisierung der Übersetzung wird die Eingabe mit Hilfe von *Leseautomaten* realisiert. Zur Zeit wird die Eingabe durch Umcodierung des Textes auf Lochkarten oder mittels Aufzeichnung auf Magnetband usw. realisiert.

Die erste Phase der Textverarbeitung durch die Maschine ist gewöhnlich die Wörtersuche im automatischen Wörterbuch, das sich im Speicher der Maschine befindet. Darauf folgt die Bearbeitung von Wortfügungen, die nicht wörtlich übersetzt werden. Wird ein Stammwörterbuch benutzt, beginnt nach diesen beiden Phasen die morphologische Analyse. Dann folgt die syntaktische und abschließend die semantische Analyse (oder Interpretation). Durch die Analyse wird für den zu übersetzenden Text, der in einem Sprachumsetzer aufgezeichnet wird, eine bestimmte Darstellung gewonnen. Die Synthese des Übersetzungstextes besteht aus Phasen, die den aufgezählten Analysephasen entsprechen; sie folgen jedoch in umgekehrter Reihenfolge aufeinander. So beginnt die Synthese mit der semantischen Synthese, dann folgt die syntaktische und danach die morphologische Synthese, die die maschinelle Textverarbeitung abschließt. Danach druckt die Maschine die erhaltene Übersetzung aus (nach Beendigung der Textverarbeitung durch die Maschine kann noch die Phase des Nachredigierens durch den Menschen erfolgen).

Es sind folgende Abweichungen von dem oben angeführten, allgemeinen Schema möglich. Sind im Wörterbuch nicht die Stämme der Wörter, sondern die Wortformen insgesamt enthalten, so entfällt die Phase der morphologischen Analyse. In einigen Übersetzungssystemen, bei denen ein Stammwörterbuch benutzt wird, wird die Phase der morphologischen Analyse zuerst

realisiert. Sie bewirkt eine oder mehrere Zerlegungen der Wortformen und filtert die adäquate Zerlegung aufgrund der Wörterbuchinformationen aus. Danach werden die aktuellen, syntaktischen Kategorienwerte übergeben. In den Systemen der 1. und 2. Generation treten die Phasen der semantischen Analyse und Synthese nicht auf. In vollem Umfang kommen sie bisher in keinem System vor, obwohl sie anerkanntermaßen notwendig sind. In einigen Systemen gibt es einzelne Teile, die Versuche einer semantischen Textverarbeitung darstellen (ein derartiges System ist z. B. das System für die russisch-französische m. Ü., das an der Universität Grenoble in Frankreich entwickelt wurde).

Daneben gibt es Arbeiten, in denen vorgeschlagen wird, die semantische Analyse ohne vorherige syntaktische Analyse zu beginnen. In den Algorithmen existiert zwischen Analyse und Synthese auch eine Zwischenphase, die als Anpassungstransformation bezeichnet werden kann. Ihr Zweck besteht darin, das Analyseergebnis, d. h. die Darstellung des zu übersetzenden Textes, der bei der Analyse erhalten wurde, in eine Darstellung umzuwandeln, in der die Besonderheiten der Zielsprache berücksichtigt werden (das System für die englisch-russische Übersetzung, das an der Leningrader Universität entwickelt wurde, ist z. B. ein solches). In den meisten existierenden Systemen stellt ein Satz des Textes das Arbeitsobjekt dar, wobei sogar für einen Satz jede der oben genannten Phasen einige Male wiederholt werden kann (so oft, wie Varianten eines Satzes in diese Phase gelangen).

Die Arbeiten auf dem Gebiet der m. Ü. kann man im weiteren Sinne in Arbeiten einteilen, die unmittelbar auf die Entwicklung von Übersetzungssystemen (Entwicklung von Wörterbüchern, Grammatiken, Algorithmen) und deren Realisierung auf EDVA gerichtet sind, und in Arbeiten, die eine tiefgehende theoretische Bearbeitung verschiedener mathematischer oder linguistischer Probleme zum Ziel haben, deren Lösung zur Schaffung effektiver Übersetzungssysteme notwendig ist.

Die unmittelbare Entwicklung von Systemen der m. Ü. verlangt von den Linguisten die Lösung folgender Probleme: 1. Ermittlung eines Vorrates an linguistischen Informationen, der im System genutzt werden soll (z. B. die Festlegung von Kriterien, nach denen die Klassifikation der Worte erfolgen soll, und die Erzeugung von Wortklassen entsprechend diesen Kriterien), 2. Entwicklung eines Wörterbuches, d. h. Auswahl des Wortschatzes und Angabe von Merkmalssätzen für die Lexeme, und 3. Schaffung detaillierter Grammatiken für alle Stufen der Sprachverarbeitung, insbesondere die Formulierung der linguistischen Anforderungen (Filter, Vorzugsregeln) an jede Stufe der Textdarstellung. Das Problem der Aussonderung verschiedener Stufen der Textdarstellung während der Umwandlung müssen Mathematiker und Linguisten gemeinsam lösen. Die Mathematiker lösen folgende Probleme:

1. Sie entwickeln Formalismen zur Beschreibung jeder Stufe der Textdarstellung, oder anders ausgedrückt, zur Beschreibung der Eingangs- und Ausgangsdaten jeder Phase. 2. Sie untersuchen den Aufbau der eigentlichen Algorithmen der Übersetzungssysteme und erarbeiten effektive Algorithmen für alle Phasen des Übersetzungsprozesses, d. h. für den Übergang von Stufe zu Stufe. 3. Sie erarbeiten spezielle Sprachen zur Beschreibung dieser Algorithmen. Die Hauptprobleme bei der Realisierung von Systemen der m. Ü. mittels EDVA sind folgende. Probleme der Informationscodierung: Hierzu zählt man erstens die Codierung der Information in den Wörterbüchern. Da große implementierte Wörterbücher Tausende von Worten mit detaillierter Information enthalten, werden diese Wörterbücher gewöhnlich in den langsam arbeitenden externen Speichern aufbewahrt (z. B. auf Magnetbändern oder -trommeln). Man muß sich daher solche Codierungsmethoden überlegen, die für die Arbeit des Übersetzungssystems geeignet sind und gleichzeitig einen geringen Aufwand an Maschinenzeit für den Zugriff zu den peripheren Speichern erfordern. Zweitens ist es in verschiedenen Arbeitsphasen der Systeme der m. Ü. günstig, unterschiedliche Formen der Aufzeichnung und Codierung des zu verarbeitenden Materials zur Verfügung zu haben. Hierbei ist es von Bedeutung, solche Codierungsverfahren zu finden, daß in jeder Phase gleichzeitig ein bequemes Arbeiten möglich ist und damit der Übergang von einem Codierungsverfahren zu einem anderen außerdem keine große Maschinenarbeit erfordert. Probleme der Programmierung: Die Realisierung von Systemen der m. Ü. erfordert die Erarbeitung spezieller Programmierungsmethoden. Dies hängt erstens damit zusammen, daß die Übersetzungsalgorithmen eine sehr spezifische und äußerst komplizierte logische Struktur besitzen. Darin unterscheiden sie sich wesentlich von den Berechnungsalgorithmen, auf die sowohl die konventionelle Programmierung (einschließlich der Entwicklung der Programmiersprachen ALGOL, FORTRAN u. a.) als auch die Konstruktion von EDVA selbst orientiert ist. Ferner besteht eine allgemeine Eigenschaft aller Systeme der m. Ü., die bisher auf EDVA realisiert wurden, darin, daß sie alle offen sind, d. h. die Systeme der m. Ü. — selbst die auf der Maschine realisierten — verbessert, berichtigt und erweitert werden. Darüber hinaus wird ein bedeutender Teil der Entwicklung des Algorithmus selbst während der Experimente realisiert, die auf der Maschine durchgeführt werden. Dies erklärt sich daraus, daß die Übersetzungssysteme stets komplex sind, die Anzahl der darin zu berücksichtigenden Faktoren sehr groß ist, und es schwierig ist, „auf dem Papier“ einen völlig fertigen Algorithmus zu entwickeln, bei dem alles übereinstimmt und geprüft ist. Der Algorithmus kann nur im Maschinenexperiment mit großen Textproben hart geprüft werden. Dabei stellt sich in der Regel heraus, daß der Algorithmus verändert oder ergänzt werden muß. Die Programme,

die den Algorithmus der m. Ü. realisieren, müssen daher rasch und leicht abzuändern sein. Die erwähnten zwei Besonderheiten machen es erforderlich, für die Systeme der m. Ü. Spezialsprachen für unterschiedliche Zwecke zu entwickeln, z. B. zur Beschreibung von Algorithmen, zur Beschreibung von Programmen u. a.

Die Untersuchungen, die auf die Konstruktion von Übersetzungssystemen und auf die Bearbeitung unterschiedlicher linguistischer Probleme in Verbindung mit dem Aufbau derartiger Systeme gerichtet sind, riefen in der Linguistik völlig neue Vorgehensweisen ins Leben (s. *Linguistik, angewandte*). Der Aufbau von Systemen der m. Ü. bot die Möglichkeit, die linguistischen Theorien praktisch zu überprüfen, da hierzu eine Sprachbeschreibung erforderlich war, die es gestattete, das Beherrschen der Sprache wenigstens bei der Übersetzung von einer Sprache in eine andere algorithmisch zu simulieren. Diese algorithmische Simulation wird im Maschinenexperiment geprüft. Das auf der Basis der m. Ü. in Angriff genommene Überprüfen und Ordnen des Systems linguistischer Begriffe und Theorien führte, verbunden mit der Forderung nach logisch-mathematischer Determiniertheit, zur Entwicklung einer neuen Wissenschaftsrichtung, dem Aufbau von Sprachmodellen (s. *Sprachmodelle, analytische*; *Sprachmodelle, mathematische*). Der Zusammenhang der Forschungen auf dem Gebiet der m. Ü. mit der allgemeinen kybernetischen und speziell mit der mathematisch-kybernetischen Problematik ist durch folgende Faktoren bestimmt. Die *Kybernetik* erforscht Steuerungsprozesse und den Aufbau von Steuerungssystemen mit Hilfe von Methoden der exakten Wissenschaften. Dabei untersucht die Kybernetik sowohl Steuerungssysteme, die sich in der Natur entwickelt haben (z. B. das Nervensystem), als auch Steuerungssysteme, die seit dem Bestehen der Menschheit geschaffen wurden (z. B. die Ökonomie), sowie künstlich geschaffene Modellsteuerungssysteme. Die Problematik der Kybernetik erwächst in bedeutendem Maße aus der gemeinsamen Aufgabe, das Verhältnis der Möglichkeiten des menschlichen Denkens und der Maschine in Informationsverarbeitungsprozessen aufzuklären. Jeder Steuerungsprozeß stellt einen Informationsverarbeitungsprozeß dar, der in irgendeiner (natürlichen oder künstlichen) Sprache aufgezeichnet worden ist. Die Lösung der oben erwähnten Aufgabe setzt voraus, den Maschinen die Nutzung der menschlichen Sprache, d. h. die Verarbeitung natürlichsprachlicher Texte, zu ermöglichen. Das Problem der automatischen Übersetzung von Texten aus einer natürlichen Sprache in eine andere stellt einen Spezialfall einer solchen Textverarbeitung dar, wobei es sich in gewisser Weise um den einfachsten Fall handelt. Ferner arbeiten viele reale Steuerungssysteme, die von der Kybernetik untersucht werden, mit Informationen, die in natürlichen Sprachen aufgezeichnet wurden. Bei der Verarbeitung dieser Informationen entstehen die gleichen Probleme der

Analyse und Synthese von Texten wie bei der Übersetzung. Derartige Analogien und die Ähnlichkeit von Informationsproblemen unterschiedlichen Charakters führen dazu, daß Fortschritte in jedem beliebigen Bereich der maschinellen Textverarbeitung das Formulieren von Aufgaben der m. Ü. und das Ermitteln von Vorgehensweisen zu ihrer Lösung erleichtern. Mit den Fortschritten auf dem Gebiet der m. Ü. wird auch die Lösung des oben erwähnten allgemeinen Problems der Kybernetik gefördert. Darin liegt der Wert der m. Ü. als Wissenschaftsrichtung, abgesehen davon, daß die Automatisierung der Übersetzung von praktischem Nutzen sein wird, da sie der Menschheit helfen wird, den extrem anwachsenden Informationsfluß in der Wissenschaft und in den verschiedenen Bereichen der wirtschaftlichen und kulturellen Arbeit der Menschen zu bewältigen.

Der Zusammenhang der mathematischen Problematik der m. Ü. mit den anderen Bereichen der Kybernetik ergibt sich daraus, daß bei der m. Ü. — wenn auch oft nicht in der präzisen Formulierung — die gleichen Probleme entstehen, wie sie bei jedem Versuch, ein kompliziertes natürliches Informationsverarbeitungssystem algorithmisch zu simulieren, in dieser oder jener Form entstehen und in präziser Formulierung von der diskreten Analysis an Modellobjekten erforscht werden (z. B. an Funktionen der *Algebra der Logik*). Hierzu gehören solche Probleme wie die Feststellung der Unlösbarkeit einiger Aufgaben ohne Durchmusterung; das Problem der Lokalisierung der Durchmusterungen, die Aufklärung der Relationen zwischen den Durchmusterungsphasen und den univarianten Phasen des Informationsverarbeitungsprozesses; die Aufdeckung des Verhältnisses von Arbeitsaufwand und Effektivität bei den universellen Algorithmen und bei den eingeschränkten Algorithmen unterschiedlicher Leistungsstufe, die einen bestimmten Teil der informationellen Kopplungen zwischen den Objekten des zu erforschenden und des zu modellierenden Steuerungssystems ausnutzen; die Festlegung von A-priori-Kriterien, um zu klären, welche Leistungsstufe ein im konkreten Einzelfall angewandter Algorithmus aufweisen muß; die Aufklärung der Struktur der Gesamtmenge der Aufgaben, um die arbeitsaufwendigste zu ermitteln usw. Viele dieser Aufgaben weisen für Modellobjekte eine exakte Lösung auf. Obwohl eine unmittelbare Übertragung der Lösungen dieser Aufgaben auf das Gebiet der m. Ü. nicht möglich ist, kann jedoch die Nutzung dieser Ideen für die m. Ü. fruchtbringend sein.

O. S. KULAGINA

Literatur: NÜNDEL S., u. a.: Automatische Sprachübersetzung Russisch-Deutsch. Berlin 1969; БРОСКНАУС, К.: Automatische Übersetzung. Braunschweig 1971; Лейкина, Б. М., и др.: Система автоматического перевода, разрабатываемая в группе математической лингвистики ВЦ ЛГУ. Научно-техническая информация (1966) 1; Мельчук, И. А., и Р. Д. Рабич: Авто-

матический перевод 1949–1963. Критико-библиографический справочник. Москва 1967; OETLINGER, A. G.: Automatic language translation. Cambridge 1960; BOOTH, A. D.: Machine translation. Amsterdam 1967.

**Maschinenorientierte Programmiersprache** – s. *Sprache, maschinenorientierte*.

**Maschinenorientierte Systemunterlagen** – s. *Programmierung von Digitalrechnern*.

**Maschinenprogramm** – s. *Maschinensprache; Programmierung von Digitalrechnern*.

**Maschinensprache** – Sprache, in der die im *Speicher* eines *Digitalrechners* stehenden auszuführenden Programme, Quelldaten und Rechenergebnisse sowie Programme des *Betriebssystems* formuliert sind.

In der M. werden Operanden und die mit ihnen auszuführenden Operationen codiert. Man unterscheidet in der M. drei Arten von Operationen: Mikrooperationen, Grundoperationen und interne Prozeduren. Mikrooperationen sind elementare Maschinenoperationen. Sie lassen sich nicht in weitere Mikrooperationen aufspalten. In Arbeitsprogrammen sind sie nicht definiert. Grundoperationen sind in Arbeitsprogrammen definiert. Sie enthalten keine weiteren Grundoperationen. Ihnen entsprechen wohldefinierte Folgen von Mikrooperationen. Interne Prozeduren sind aus Grundoperationen bestehende *Algorithmen*, die aber auch weitere interne Prozeduren enthalten können. Bei einigen Rechnern (z. B. BESM-6) werden sie als *Extracodes* bezeichnet.

Gewöhnlich besteht die M. aus verschiedenen Niveaus. Die Teilmenge der M., in der im Speicher des Rechners die Arbeitsprogramme, Daten und Resultate abgespeichert werden, nennt man *Programmniveau*. Außer dem *Programmniveau* besitzt die M. auch ein *Mikrobefehlsniveau*, das aus Mikrobefehlen als Codes für Mikrooperationen besteht. Die angegebenen zwei Niveaus sind traditionell obligatorisch für beliebige M. Außer diesen Niveaus gibt es noch *Zwischenniveaus*, deren Art von der Entwicklungsstufe des *Programmnieaus* abhängt. Aus der Anzahl der *Zwischenniveaus* kristallisieren sich zwei heraus – das ausführende und das detailliert ausführende. Das erstere wird dadurch charakterisiert, daß die *Algorithmen*, die in ihm dargestellt werden, aus wohldefinierten Operationen, den *Basisoperationen* und den zusammengesetzten Prozeduren, bestehen, die aufeinander folgen und die über den durch *Adressen* gegebenen Operanden ausgeführt werden. Das zweite Niveau, im Verhältnis zu dem vorhergehenden niedriger, unterscheidet sich von diesem dadurch, daß es als Operationen nur *Basisoperatio-*

nen und Mikrooperationen zuläßt. Folglich stellen die einzelnen Niveaus der M. Teilmengen dar, die sich durch den verschiedenen Detailliertheitsgrad der Algorithmen unterscheiden, der vom höheren zum niedrigeren Niveau zunimmt. Je geringer die Detailliertheit ist, desto höher ist das Programmniveau der M., was in bedeutendem Maße die Erstellung von Lösungsalgorithmen erleichtert und die Effektivität erhöht. Allerdings verkompliziert ein hohes Programmniveau der M. die Interpretation der Sprache, die als ein dynamischer Übersetzungsprozeß des Arbeitsprogramms auf das Mikrobefehlsniveau zu betrachten ist. In Abhängigkeit von der Anzahl und den Funktionen der Sprachniveaus unterscheidet man zwischen traditionellen (historisch gewachsenen) und entwickelten und zwischen elementaren und prozeduralen M. Je nach Kombinationen dieser Kennzeichen unterscheidet man vier Grundklassen der M.

In Verbindung mit der Entwicklung der M. gibt es verschiedene Annäherungsstufen des Programmnieaus an die Eingabesprache (*Quellsprache*). Dazu gehören M., die den Quellsprachen symbolisch angeglichen, elementar angeglichen, die ihnen ähnlich oder sogar isomorph sind. In den ersten drei Stufen enthält die M. zuerst nur die Symbole der Quellsprache, dann die Symbole und elementaren Konstruktionen bzw. bereits Symbole, elementare und zusammengesetzte Konstruktionen. Die letzte Stufe (die der Quellsprache isomorph ist) ist durch eine vollständige Übereinstimmung der M. mit der Quellsprache gekennzeichnet.

Besondere Bedeutung für die weitere Entwicklung der M. besitzt ein Annäherungsgrad, bei dem es möglich ist, auf dem Programmniveau der M. die Grundelemente einer ganzen Familie von Quellsprachen darzustellen, Interpretationserleichterungen einzuführen und häufig benutzte (Dienst-) Algorithmen effektiv zu nutzen. Zusammen mit den Eigenschaften der Quellsprache bestimmt der Annäherungsgrad der M. an die Quellsprache die Zugehörigkeit der M. zu den obengenannten Klassen. Eine Erhöhung des Niveaus der algorithmischen Sprachen bedeutet für eine gegebene Annäherungsstufe auch gleichzeitig eine Erhöhung des Niveaus der M. Die Möglichkeiten einer solchen Entwicklung hängen wesentlich von der Realisierung der Sprache im Rechner ab, d. h. also von der Interpretation durch die Operationsablaufsteuerung. Besonderheit einer gegebenen Realisierung ist der stufenweise Aufbau der Systemsteuerung, der der hierarchischen Struktur der M. entspricht.

Als eine Klasse von *Programmiersprachen*, wobei die Elemente der Klasse durch den *Befehlsvorrat* des jeweiligen Digitalrechners vorgegeben sind, werden M. direkt vom zugehörigen Rechner „verstanden“. Da sie spezielle *algorithmische Sprachen* sind, ist es mit ihrer Hilfe möglich, Algorithmen zu formulieren, die dann in dem der Sprache zugeordneten Digitalrechner abge-

arbeiten werden können. Demzufolge können alle diejenigen Algorithmen realisiert werden, für die der vorhandene Speicher des betreffenden Rechners ausreichend ist. Im Unterschied zu anderen Programmiersprachen werden bei M. die Befehle in Form geeignet definierter numerischer Codes dargestellt (meist als binäre Codes). Diese Sprachen stellen ein direktes Abbild des Befehlsschlüssels des Digitalrechners dar. Mit Hilfe der M. ist es möglich, gewisse Besonderheiten von Algorithmen besonders einfach und effektiv zu beschreiben.

Im linguistischen Sinne sind die M. Sprachen mit Phrasenstruktur. Ihre Befehle (Worte der Sprache) setzen sich aus Symbolen (Ziffern) zusammen, die sowohl auf die auszuführenden Operationen als auch auf die dazu erforderlichen Daten verweisen (oder auf das Gerät, das zur Ausführung der Operation angesprochen werden muß) bzw. auf den Befehl, der nach der betreffenden Operation abzuarbeiten ist.

Die Beschreibung der einzelnen Datenverarbeitungsprozesse in der M. ist i. allg. mit großen Schwierigkeiten verbunden, da M. wegen der konkreten technischen Realisierung des gegebenen Digitalrechners in ihrer Anwendung häufig sehr wenig geschmeidig sind. Die Gründe dafür sind geringe Anschaulichkeit, schwere Erlernbarkeit sowie Berücksichtigung rechnerispezifischer Besonderheiten in der Sprache. M. werden z. B. bei der Ausarbeitung der *inneren Software* verwendet (in der Regel unter Verwendung der symbolischen Codierung). Zu einer besonderen Klasse werden solche M. gezählt, die einen hohen Grad der Interpretation aufweisen, z. B. die *Maschinensprache MIR*. Solche Sprachen werden auch als problemorientierte Symbol-sprachen bezeichnet.

S. L. RABINOWITSCH, E. L. JUSTSCHENKO

Literatur: Глушков, В. М., и др.: Вычислительные машины с развитыми системами интерпретации. Киев 1970.

**Maschinensprache MIR** — *Programmiersprache* zur Beschreibung von Algorithmen für ingenieur- und wissenschaftlich-technische Aufgaben für den Rechner MIR im *Dialogbetrieb*. Sie erlaubt, Programme für mathematische Berechnungen in sehr enger Anlehnung an die übliche Formelschreibweise zu schreiben (s. a. *ANALYTIK*).

**Maschinenvariable** — auch Maschinenveränderliche genannt; physikalische Größe (Strom, Umdrehungswinkel, elektrische Spannung, Zeit), die sich im *Analogrechner* entsprechend vorgegebenen mathematischen Beziehungen (Maschinengleichungen) verändert. Die M. ist eine von den Veränderlichen  $x, y, \dots$  der zu lösenden Aufgabe abhängige Größe und  $t$  die unabhängige Größe entsprechend den Beziehungen  $X = m_x x, Y = m_y y, \dots, \tau = m_t t$ , wobei



$m_x, m_y, \dots, m_t$  Maßstabsfaktoren sind. In universellen Analogrechnern ist die abhängige M. eine elektrische Spannung und die unabhängige Veränderliche die Zeit. Die Maßstabsfaktoren werden in Abhängigkeit von der Genauigkeit und der Äquivalenz der Maschinengleichungen zu den Aufgabengleichungen ausgewählt. Sie werden so festgelegt, daß die Maschinenveränderliche innerhalb des Bereiches der zulässigen Rechenspannungen (z. B.  $\pm 100 \text{ V}, \pm 10 \text{ V}$ ) liegt.

Für  $\tau = t$  (wobei  $t$  die Zeit ist) erfolgt die Modellierung im realen Zeitmaßstab oder in Echtzeit ( $m_t = 1$ ). Für  $m_t > 1$  wird der zu untersuchende Prozeß im „gedehnten“ und für  $m_t < 1$  im „verkürzten“ Zeitmaßstab modelliert. Die Maßstabsfaktoren können Veränderliche sein:  $m_x(\tau), m_y(\tau), \dots$ , insbesondere bei der Lösung „instabiler“ Aufgaben.

W. A. SEMZEW

**Maschinenwort** — Folge von Symbolen, die eine Zelle des Maschinenspeichers besetzt. Insbesondere kann ein Maschinenwort ein Befehl, eine Zahl oder eine Folge alfa-numerischer Zeichen sein. In der Regel wird ein Maschinenwort im Rechner als einheitliches Ganzes bearbeitet und übertragen, jedoch ist in modernen Rechenmaschinen auch die Bearbeitung von Teilen eines Maschinenwortes möglich. In diesem Fall besteht ein Maschinenwort aus einigen *Bytes*, die einzeln adressierbar sind.

**Mathematik, diskrete** — Zweig der Mathematik, der sich mit dem Studium der Eigenschaften von Strukturen finiten (endlichen) Charakters beschäftigt, die sowohl innerhalb der Mathematik als auch in ihren Anwendungen auftreten. Zu solchen endlichen Strukturen gehören z. B. endliche *Gruppen*, endliche *Graphen*, aber auch gewisse mathematische Modelle von Transformationen einer Information wie z. B. *endliche Automaten*, *TURING-Maschinen*. Manchmal werden beliebige diskrete Strukturen ebenfalls als Gegenstand der d. M. angesehen. Zu solchen diskreten Strukturen gehören gewisse algebraische Systeme, unendliche Graphen, gewisse Arten von rechnenden Strukturen wie *zelluläre Automaten* und andere. Als Synonym des Begriffs d. M. wird manchmal der Terminus „finite Mathematik“ gebraucht. Wir wollen den Begriff der d. M. im weiteren Sinne verstehen, also beliebige diskrete Strukturen mit einbeziehen.

Im Unterschied zur d. M. befaßt sich die klassische Mathematik im wesentlichen mit dem Studium der Eigenschaften von Objekten mit kontinuierlichem Charakter. Ob als Apparat für eine Untersuchung die klassische oder die diskrete Mathematik verwendet wird, hängt von den gestellten Aufgaben und vom betrachteten Modell (das diskret oder kontinuierlich sein kann) ab. Soll z. B. die Masse eines radioaktiven Stoffes zu einem gegebenen Zeitpunkt

mit bestimmter Genauigkeit ermittelt werden, so kann man annehmen, daß die Veränderung der Masse beim radioaktiven Zerfall ein kontinuierlicher Prozeß ist, obwohl es sich natürlich um einen diskreten Prozeß handelt. Die Einteilung in klassische und diskrete Mathematik ist tatsächlich ziemlich willkürlich, denn einerseits werden Ideen und Methoden zwischen ihnen ausgetauscht und andererseits müssen häufig Modelle herangezogen werden, die gleichzeitig sowohl diskrete als auch kontinuierliche Eigenschaften besitzen. Außerdem gibt es Richtungen in der Mathematik, die zur Untersuchung kontinuierlicher Modelle Methoden der diskreten Mathematik benutzen, und umgekehrt werden Methoden und Aufgabenstellungen der klassischen Analysis häufig benutzt, um diskrete Strukturen zu untersuchen. Das zeigt die enge Verbindung zwischen den beiden betrachteten Zweigen der Mathematik.

Die Spezifik der Methoden und Aufgaben der d. M. ist in erster Linie durch die Notwendigkeit bedingt, auf die grundlegenden Begriffe der klassischen Mathematik, Grenzwert und Stetigkeit, zu verzichten, und im Zusammenhang damit auch dadurch, daß die zugkräftigen Mittel der klassischen Mathematik für viele Aufgaben der d. M. in der Regel nicht anwendbar sind. Teilgebiete der d. M. sind die *Kombinatorik*, die *Graphentheorie*, die *Codierungstheorie*, die Theorie der Funktionalsysteme und einige andere. Man kann aber auch solche Teilgebiete der Mathematik wie die *mathematische Logik*, Teile der Zahlentheorie, der Algebra, der *numerischen Mathematik*, der *Wahrscheinlichkeitstheorie* und andere Disziplinen, in denen das untersuchte Objekt von diskretem Charakter ist, zum Gegenstand der d. M. hinzunehmen.

Elemente der d. M. entstanden schon im Altertum; sie entwickelten sich parallel mit anderen Teilgebieten der Mathematik und wurden deren wesentlicher Bestandteil. Typisch für diese Periode waren Aufgaben, die sich auf Eigenschaften der natürlichen Zahlen bezogen und schließlich zur Schaffung der Zahlentheorie führten. Solche Aufgaben waren z. B. das Aufsuchen von Algorithmen für die Addition und die Multiplikation natürlicher Zahlen bei den alten Ägyptern (2000 v. u. Z.), Aufgaben zur Summation und Division natürlicher Zahlen in der Pythagoräischen Schule (5.–4. Jh. v. u. Z.) usw. Später entstanden, vor allem in Verbindung mit Spielaufgaben, Elemente der Kombinatorik und der diskreten Wahrscheinlichkeitstheorie, und in Verbindung mit allgemeinen Problemen der Zahlentheorie, der Algebra und der Geometrie (18.–19. Jh.) entstanden die wichtigsten Begriffe der Algebra wie Gruppe, Feld, Ring und andere, die die Entwicklung und den Inhalt der Algebra auf viele Jahre im voraus bestimmten und im wesentlichen diskreten Charakter hatten. Das Streben nach Strenge in den mathematischen Überlegungen und die Analyse eines Arbeitsinstrumentes des Mathematikers, der Logik, führten zur Herausbildung eines weiteren wichtigen Teilgebietes der

Mathematik, nämlich der mathematischen Logik (19. Jh.). Die größte Entwicklung der d. M. jedoch fand im Zusammenhang mit praktischen Fragen statt, die zur Herausbildung einer neuen Wissenschaft, der *Kybernetik*, und ihres theoretischen Teils, der theoretischen Kybernetik, führten (20. Jh.). Die theoretische Kybernetik, die vom Standpunkt des Mathematikers die vielfältigen Probleme untersucht, die die praktische Tätigkeit des Menschen der Kybernetik stellt, ist ein mächtiger „Lieferant“ von Ideen und Aufgaben für die d. M. So stimulierten angewandte Problemstellungen, die eine große Verarbeitung von Zahlen erforderten, die Herausbildung zugkräftiger numerischer Methoden zur Lösung dieser Aufgaben, die später zur Entwicklung der numerischen Mathematik führten; die Analyse der Begriffe „Berechenbarkeit“ und „Algorithmus“ führte zur Entstehung eines wichtigen Teilgebietes der d. M., der *Algorithmentheorie*. Der wachsende Informationsfluß und die sich daraus ergebenden Aufgaben der Speicherung, Verarbeitung und Übertragung von Information führten zur Herausbildung der Codierungstheorie; Aufgaben aus der Ökonomie, der Elektrotechnik und auch aus der Mathematik selbst machten die Vervollkommnung der Graphentheorie erforderlich; Aufgaben zur Konstruktion und Beschreibung der Arbeit komplizierter Steuersysteme führten zur Theorie der Funktionalsysteme. Die theoretische Kybernetik benutzt weitgehend die Ergebnisse der d. M. zur Lösung ihrer Probleme.

Daneben besitzt die d. M. noch eine Reihe von Besonderheiten. So sind neben Existenzaufgaben, die allgemein-mathematischen Charakter besitzen, Aufgaben zur algorithmischen Entscheidbarkeit und die Angabe konkreter Lösungsalgorithmen in der d. M. von Bedeutung. Eine andere Besonderheit der d. M. ist die, daß sie im wesentlichen als erste Disziplin auf die Notwendigkeit stieß, sog. diskrete Extremalaufgaben mit mehreren Extrema, wie sie in der theoretischen Kybernetik häufig auftreten, genauer zu untersuchen. Die entsprechenden Methoden der klassischen Mathematik zum Aufsuchen von *Extrema* berücksichtigen, daß die betrachteten Funktionen „glatt“ sind, und sind für Aufgaben der d. M. wenig brauchbar. Typische Aufgaben dieser Art in der d. M. sind z. B. Aufgaben zum Aufsuchen in einem gewissen Sinne *optimaler Strategien* in einer Schachpartie bei begrenzter Zugzahl, aber auch die in der mathematischen Kybernetik wichtige Frage nach *disjunktiven Normalformen*, die minimal für eine BOOLESCHE Funktion sind, d. h. das sog. Problem der Minimierung BOOLESCHER Funktionen (s. *Algebra der Logik*). Eine Besonderheit der d. M., die mit der Betrachtung endlicher Strukturen zusammenhängt, ist auch die, daß für viele Probleme in der Regel ein Lösungsalgorithmus existiert, während in der klassischen Mathematik eine vollständige Lösung des Problems häufig nur unter starken Einschränkungen möglich ist. Ein Beispiel für einen solchen Algorithmus ist

der Algorithmus zur Durchmusterung aller möglichen Varianten. Zu den Aufgaben dieser Art kann man z. B. die erwähnten Aufgaben über Strategien in einer Schachpartie, Aufgaben zur Minimierung BOOLEscher Funktionen und andere zählen. Jedoch sind Lösungsmethoden vom Typ der vollständigen Durchmusterung sehr aufwendig und praktisch nicht anwendbar. Im Zusammenhang damit ergibt sich eine Reihe neuer Probleme, die mit den Bedingungen zusammenhängen, die die Auswahl begrenzen, und damit, daß das Schließen von Ergebnissen aus Teilaufgaben, die durch konkrete Parameterwerte charakterisiert sind, auf das Gesamtproblem erforderlich wird. Es erhebt sich die Frage nach Beschränkungen, die für eine bestimmte Klasse von Aufgaben natürlich sind, nach speziellen Lösungen usw. Diese Art von Fragestellungen und die Erarbeitung einer entsprechenden Methode geschieht an konkreten Modellen, die von verschiedenen Teilgebieten der Mathematik bereitgestellt werden. Dazu gehören z. B. Modelle für die Minimierung BOOLEscher Funktionen und die Synthese von Steuersystemen aus der theoretischen Kybernetik.

W. B. KUDRJAWZEW

Literatur: KEMENY, J. G., J. L. SNELL a. G. L. THOMPSON: Introduction to finite mathematics. Prentice-Hall 1957; Яблонский, С. В.: Обзор некоторых результатов в области дискретной математики. Информационные материалы Научного совета по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР (1970) 5; Дискретный анализ, № 1–22. Новосибирск 1963–1973; Проблемы кибернетики, № 1–26. Москва 1958–1973; Яблонский, С. В.: Дискретная математика и математические вопросы кибернетики. Сборник. Москва 1974.

**Mathematik, numerische** — mathematische Disziplin, die die Verfahren zur numerischen (exakten oder näherungsweise) Lösung verschiedener mathematischer Problemstellungen untersucht (s. *Numerisches Verfahren*). Die Anfänge der n. M. reichen weit zurück. Als ihren Beginn kann man die Regeln zur Berechnung irrationaler Zahlen auffassen. Die moderne n. M. umfaßt eine Reihe von Teilgebieten, deren wichtigste Verfahren zur Berechnung bestimmter Funktionswerte, numerische Methoden der linearen Algebra, numerische Lösungen algebraischer und transzendenter Gleichungen, numerische Differentiation und Integration, numerische Lösungen von Differential- und Integrodifferentialgleichungen und numerische Methoden der Extremwertbestimmung von Funktionalen (*Optimierungsmethoden*) sind. Die n. M. entwickelt sich im Rahmen der allgemeinen Mathematik, wobei die n. M. eine abgeschlossene Etappe bei der Lösung mathematischer Probleme darstellt. Zum Beispiel gab die Entwicklung der diskreten Analysis in der

letzten Zeit Anlaß zur Entwicklung entsprechender numerischer Verfahren, die ebenfalls Bestandteil der n. M. sind.

Numerische Resultate kann man nur mit Hilfe arithmetischer und logischer Operationen erhalten. Deshalb kann man die Aufgabe der n. M. auch als Aufgabe der Darstellung der (exakten oder näherungsweise) Lösung in Form einer Folge von arithmetischen Operationen formulieren. So besteht jedes numerische Verfahren aus einem Lösungsalgorithmus, d. h. einer genauen Beschreibung einer Folge von arithmetischen Operationen und einer Schranke für den Fehler des Algorithmus (s. *Fehlertheorie*). Nur in sehr seltenen Fällen kann ein genaues Resultat durch eine endliche Menge arithmetischer Operationen erhalten werden. Fast immer wird ein solches Resultat der Grenzwert einer unendlichen Folge von Operationen sein. Deshalb führt die Fehlerschranke oft zu einer Schranke für die Konvergenz des Algorithmus. Die Konvergenz des Algorithmus ist aber durchaus keine notwendige Forderung, wenn die Aufgabe nur fordert, das Resultat mit einer gegebenen (aber nicht beliebig hohen) Genauigkeit zu bestimmen, wobei sich die notwendige Genauigkeit aus praktischen Gegebenheiten ergibt. Als Beispiel dafür kann die Berechnung von Funktionswerten mit Hilfe divergenter Reihen dienen. Diese Reihen können keine beliebig genaue Näherung liefern, erlauben es aber unter entsprechenden Bedingungen, Funktionswerte schnell und mit endlicher, aber ausreichender Genauigkeit zu berechnen.

Für die praktische Anwendung eines Algorithmus ist vor allem seine Effektivität wichtig. Diese bewertet man unter anderem durch die Anzahl der arithmetischen Operationen, die notwendig sind, um das entsprechende Resultat zu erhalten. Aber sehr oft führt die Verringerung der Zahl arithmetischer Operationen dazu, daß der Algorithmus und damit auch das *Programm* für die EDVA (besonders bei der Übersetzung aus *algorithmischen Sprachen*) logisch komplizierter wird, wodurch der ganze Vorteil, den man durch die Verringerung der Zahl der arithmetischen Operationen erhält, aufgehoben wird.

Die analytischen Grundlagen der Berechnung der Werte transzendenter Funktionen sind die Theorien der Reihenentwicklungen (Potenzreihen, Reihen nach orthogonalen Funktionen u. a.), der Näherungen durch Polynome, seltener der Kettenbruchentwicklungen, aber auch anderer spezieller Methoden, die mit den Eigenschaften der konkreten Funktionen zusammenhängen. Die Näherung von Funktionen durch Polynome (die im Spezialfall mit der Entwicklung in eine Reihe nach orthogonalen Funktionen zusammenfallen kann) gewann in der letzten Zeit größere Bedeutung für die Aufstellung von Standardprogrammen zur Berechnung transzendenter Funktionen auf EDVA. Dabei verwendet man vor allem TSCHEBYSCHEW-Polynome. Für die breite praktische Anwendung transzendenter Funktionen berechnet man

Wertetabellen für bestimmte Folgen von Argumentwerten. Zwischenwerte findet man dann durch Interpolation (s. *Interpolation von Funktionen*). Praktisch durchführbar ist hauptsächlich die *Tabellierung von Funktionen*, die nur von einer, maximal von zwei Variablen abhängen.

Das Teilgebiet der numerischen Verfahren der linearen Algebra befaßt sich im wesentlichen mit zwei Problemen: 1. die Lösung linearer algebraischer Gleichungssysteme und 2. die Bestimmung von Eigenwerten und Eigenvektoren von Matrizen (s. *Eigenwerte und Eigenvektoren einer Matrix, Berechnungsverfahren*). Eine exakte Lösung des ersten Problems kann man mit Hilfe einer endlichen Folge arithmetischer Operationen erhalten. Die Anzahl dieser Operationen (Addition und Multiplikation) für ein System mit  $n$  Unbekannten ist im allgemeinen eine Größe der Ordnung  $n^3$ .

Die Lösung der Randwertaufgabe für lineare Differentialgleichungen führt auf lineare algebraische Gleichungssysteme. Im Falle partieller Differentialgleichungen kann die Ordnung der algebraischen Gleichungssysteme sehr hoch (Tausende oder Zehntausende Unbekannte) sein. Die Lösung solcher Systeme mit direkten und exakten Methoden ist praktisch undurchführbar. Deshalb verwendet man, abgesehen von den exakten Methoden, zur Lösung großer algebraischer Gleichungssysteme auch *Iterationsverfahren* zu ihrer näherungsweise Lösung. Ihr Sinn besteht darin, daß man die Matrix  $A$  des Ausgangssystems  $Ax = b$  in der Form  $A = A_0 - B$  darstellt, wobei man für die Matrix  $A_0$  die inverse Matrix leicht berechnen kann. Danach löst man dieses System durch eine Folge von Näherungen

$$A_0 x_{n+1} = Bx_n + b$$

oder in allgemeiner Form

$$A_0 x_{n+1} = \alpha (Ax_n - b) + A_0 x_n \quad (1)$$

(hier ist  $\alpha$  ein Parameter, den man zur Verbesserung der Konvergenz benutzt; für  $\alpha=1$  erhält man den vorhergehenden Fall). Wenn man durch eine nicht allzu große Zahl von Iterationen eine hinreichend genaue Lösung erhalten kann, dann ist die Anzahl der arithmetischen Operationen, die notwendig sind, um diese Lösung zu erhalten, eine Größe der Ordnung  $n^2$ .

Die direkten Verfahren zur Berechnung der Eigenwerte einer Matrix führen auf das Problem der Bestimmung der Wurzeln eines Polynoms  $n$ -ten Grades (dabei ist  $n$  die Ordnung der Matrix) in Abhängigkeit von dem Eigenwert  $\lambda$ . Bei so hohen Ordnungen, wie man sie z. B. im Zusammenhang mit dem Problem der Bestimmung der Eigenwerte für die Randwertaufgabe bei partiellen Differentialgleichungen erhält, ist dieses Verfahren praktisch undurchführbar. Für diese Aufgaben richtet sich das Interesse gewöhnlich auf die Berechnung einer nicht allzu großen Anzahl von ersten Eigenwerten,

auf die man sich bei den Berechnungen der Summen  $\sum_i \lambda_i^{-k}$ , durch die Spuren der Potenzen der inversen Matrizen ausgedrückt werden, beschränken kann. Bei hinreichend hohen Exponenten  $k$  kann man diese Summen näherungsweise durch Summen einiger der ersten Glieder ersetzen. Aber auch dieser Ansatz erfordert viele Berechnungen, da die Anzahl arithmetischer Operationen zur Berechnung des Produkts von Matrizen von der Ordnung  $n^3$  ist.

Breite Anwendung bei Aufgaben der mathematischen Physik fand die Methode der Störungen. Dabei ersetzt man die Ausgangsmatrix  $A$  durch die Summe  $A = A_0 - B$  und das Problem der Bestimmung der Eigenwerte der Matrix  $A$  [ $Ax = \lambda x$ ] durch das Problem

$$A_0 x - \lambda x = \varepsilon (\alpha (Ax - \lambda x) + A_0 x - \lambda x). \quad (2)$$

Für  $\varepsilon = 1$  führt das auf das ursprüngliche Problem. Die Matrix  $A_0$  wählt man so, daß ihre Eigenwerte und Eigenvektoren leicht zu berechnen sind. Das Problem (2) löst man durch das Verfahren der Entwicklung nach Potenzen von  $\varepsilon$ ;  $x = \sum_{\nu=0}^{\infty} x_{\nu} \varepsilon^{\nu}$ ;  $\lambda = \sum_{\nu=0}^{\infty} \lambda_{\nu} \varepsilon^{\nu}$ . Die Effektivität dieses Verfahrens hängt wesentlich davon ab, wie nahe bei  $A$  man die Matrix  $A_0$  auswählen kann. Wenn das so gelingt, daß man sich für die Berechnung der Eigenwerte mit der notwendigen Genauigkeit auf eine hinreichend kleine Zahl von Gliedern der Entwicklung in eine Reihe nach  $\varepsilon$  beschränken kann, dann liefert das für Matrizen hoher Ordnung eine bedeutend geringere Zahl arithmetischer Operationen.

Das Problem der Bestimmung der Wurzeln algebraischer oder transzendenter Gleichungen wurde ausführlich für den Fall von Funktionen einer Veränderlichen erarbeitet. Diese Verfahren basieren auf der Ersetzung der Funktion in der Umgebung der Nullstelle durch eine einfachere, nahe bei ihr liegende Kurve (Gerade oder Parabel). Diese Verfahren erfordern eine vorhergehende grobe Lokalisierung der Nullstellen, wobei für Funktionen einer Veränderlichen diese Aufgabe sehr einfach ist.

Für das Auffinden der Wurzeln von Polynomen und ganzen Funktionen verwendet man auch Verfahren, die darauf beruhen, daß Summen der Form  $\sum_i x_i^{-k}$ , die sich über alle Nullstellen erstrecken, genau durch die Koeffizienten der Entwicklung der Funktion in eine TAYLOR-Reihe ausgedrückt werden können. Wesentlich komplizierter ist es, wenn Wurzeln eines Systems von Gleichungen

$$F_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

bestimmt werden sollen. Wenn die Wurzeln des Systems grob lokalisiert sind, dann gibt die Ersetzung der Funktionen durch einfachere Flächen (z. B.

Ebenen) die Möglichkeit, unter bestimmten Bedingungen die Wurzeln mit einem beliebigen Genauigkeitsgrad zu bestimmen. Aber für mehrdimensionale Räume gibt es noch kein allgemeines Vorgehen zur groben Lokalisierung der Nullstellen. Die in den letzten Jahren entwickelten direkten Verfahren zur Lösung von Extremwertaufgaben wurden auch für das Auffinden von Wurzeln eines Gleichungssystems verwendet, indem man das ursprüngliche Problem durch das Problem der Bestimmung eines Minimums der Funktion

$$\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n (F_i(x_1, x_2, \dots, x_n))^2$$

ersetzt.

Die numerische Differentiation und Integration beruht unmittelbar auf der Definition dieser Operationen als Grenzwert des Verhältnisses des Zuwachses der Funktion zum Zuwachs des Arguments, wenn der letztere gegen Null strebt (Differentiation), oder als Grenzwert der Summe von Produkten von Volumenelementen des Integrationsgebietes mit Funktionswerten in einem Punkt dieses Elements. Ungeachtet der theoretischen Einfachheit dieses Problems entstehen bei der Berechnung von Mehrfachintegralen große numerische Schwierigkeiten, so z. B. bei Problemen der Kinetik verdünnter Gase, die in Beziehung zur Berechnung siebenfacher Integrale stehen, deren Berechnung sogar mit sehr geringer Genauigkeit mit den üblichen Methoden der Aufteilung in gleiche Raumelemente auf 10 Milliarden arithmetische Operationen führt. Deshalb waren viele Untersuchungen auf die Optimierung der Kubaturformeln (s. *Kubatur, numerische*) mit dem Ziel der Verringerung der Anzahl der Stützstellen gerichtet. Ein anderer Zugang zur Berechnung von Mehrfachintegralen beruht auf der Analogie zwischen diesen Integralen und der *Wahrscheinlichkeit bestimmter Zufallsprozesse* (*Monte-Carlo-Methode* oder Methode der statistischen Versuche). Der Vorteil der Monte-Carlo-Methode besteht darin, daß der Umfang der notwendigen Berechnung linear und nicht exponentiell mit der Zahl der Messungen wächst.

Die numerischen Verfahren zur Lösung von Differentialgleichungen sind ein wichtiges Teilgebiet der n. M. Die Aufgaben der Mechanik, Physik und chemischen Kinetik sind in der überwältigenden Zahl der Fälle Aufgaben der Theorie der Differentialgleichungen (manchmal der Integrodifferentialgleichungen). Während die Erarbeitung numerischer Verfahren zur Lösung *gewöhnlicher Differentialgleichungen* fast gleichzeitig mit der Entstehung des Begriffs der Differentialgleichung begann und man ihre Anfänge bereits auf L. EULER (1707–1783) zurückführen kann, begann man im wesentlichen erst, nachdem EDVA zur Verfügung standen, Methoden zur Lösung *partieller Differentialgleichungen* zu entwickeln. Ein Beispiel dafür ist die „Barriere der



Mehrdimensionalität“, d. h. das starke Wachsen der notwendigen Anzahl arithmetischer Operationen, wenn die Anzahl unabhängiger Variabler wächst. Wenn man für die Lösung einer eindimensionalen (gewöhnlichen) Differentialgleichung mit vorgegebener Genauigkeit die Lösung an  $n$  Stützstellen bestimmen will, dann muß man, um die Lösung einer  $k$ -dimensionalen partiellen Differentialgleichung mit der gleichen Genauigkeit zu erhalten, die Lösung an  $n^k$  Stützstellen bestimmen. Da man bei der numerischen Lösung von Differentialgleichungen oft zur Lösung eines linearen algebraischen Gleichungssystems bezüglich der unbekanntenen Funktionswerte an den Stützstellen übergeht, bedeutet dies, daß man im eindimensionalen Fall  $O(n^3)$  und im  $k$ -dimensionalen Fall  $O(n^{3k})$  arithmetische Operationen ausführen muß. Die praktische Undurchführbarkeit einer solchen Menge von Berechnungen „per Hand“ ergab die Sinnlosigkeit der Ausarbeitung numerischer Verfahren zur Lösung partieller Differentialgleichungen, solange noch keine EDVA zur Verfügung standen. In der „Vor-EDV-Zeit“ wurden nur sehr elementare Ansätze vorgeschlagen, die man nur für einfache, in der Regel lineare Probleme im Zusammenhang mit partiellen Differentialgleichungen anwenden konnte.

Im allgemeinen kann man zwei Hauptrichtungen bei der Lösung von Differentialgleichungen feststellen: 1. die Darstellung der Lösung in Form von Reihen nach einem bestimmten vollständigen (gewöhnlich orthogonalen) System von Funktionen und die Bestimmung der Koeffizienten dieser Reihen und 2. die Ersetzung der Ableitungen durch ihre Näherungen durch endliche Differenzen (oder der Integrale durch endliche Summen). Der erste Ansatz wird in begrenztem Umfang angewendet. Seine Anwendung ist nur bei linearen Gleichungen und bei solchen iterativen Näherungsverfahren effektiv, bei denen in jedem Iterationsschritt eine lineare Gleichung gelöst wird. Bevor EDVA zur Verfügung standen, wurde vor allem diese Vorgehensweise benutzt. Heutzutage werden in größerem Umfang *Differenzenverfahren* (im allgemeinen Sinne dieses Wortes) verwendet. Das wichtigste Problem bei den Differenzenverfahren besteht in der Sicherung der Stabilität des Berechnungsprozesses. An einem einfachen Beispiel kann man die Bedeutung dieser Entwicklung illustrieren. Die Differentialgleichung  $\frac{dy}{dx} + y = 0$  kann man z. B. durch die beiden folgenden Differenzenformeln

$$\frac{y_{n+1} - y_n}{h} + y_n = 0 \quad \text{oder}$$

$$\frac{y_{n+1} - y_{n-1}}{2h} + y_n = 0$$

approximieren. Die Genauigkeit der Approximation durch die erste Formel ist von der Ordnung  $h$ , die der zweiten von der Ordnung  $h^2$ . Man kann leicht exakte Lösungen dieser Differenzgleichungen erhalten. Die allgemeine Lösung der ersten Formel ist

$$y_n = C (1 - h)^n$$

und die der zweiten Formel

$$y_n = C_1 (\sqrt{1+h^2} - h)^n + C_2 (-1)^n (\sqrt{1+h^2} + h)^n.$$

Die erste Lösung gibt eine Näherung (mit einer Genauigkeit bis zu  $O(h)$ ) der Lösung der ursprünglichen Differentialgleichung. Bei der zweiten Lösung gibt nur der erste Summand die gesuchte Lösung (deren Genauigkeit in bezug auf die Lösung der gegebenen Differentialgleichung gleich  $O(h^2)$  ist), während der zweite Summand, der oszilliert und dessen absolute Größe wächst, eine parasitäre Lösung ist. Auch wenn man mit einer endlichen Zahl von Vorzeichen rechnet, zeigt sich unbedingt (auch wenn  $C_2$  nur klein ist), daß sie auch bei einer großen Schrittzahl vollständig die wahre Lösung überdeckt. Auf diese Weise führt der Versuch, die Genauigkeit der Approximation zu erhöhen, zur Instabilität des Berechnungsprozesses. Man kann mit der zweiten Formel die Lösung in keinem hinreichend großen Intervall der Variablen  $x$  erhalten. Die Untersuchung der Stabilität führt man gewöhnlich mit Verfahren der lokalen Linearisierung und der Fixierung der variablen Koeffizienten der Gleichung durch, so daß die vollständige Untersuchung der Stabilität von Differenzgleichungen mit variablen Koeffizienten und von nichtlinearen Gleichungen bis jetzt noch weit von einer umfassenden Lösung entfernt ist.

Die Instabilität numerischer Prozesse ist der Grund dafür, daß man in der numerischen Praxis kaum explizite Schemata für partielle Differentialgleichungen verwendet. Wenn eine der unabhängigen Variablen die Zeit ist und für die Aufgabe Anfangsbedingungen vorgegeben sind, dann kann man die Gleichung

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \Phi(u),$$

wobei  $\Phi$  ein Operator ist, der nur Differentiationen nach den Raumvariablen enthält, formal durch die Differenzgleichung

$$\frac{u(t + \Delta t) - u(t)}{\Delta t} = \Phi(u(t))$$

approximieren und auf diese Weise das Problem auf die Aufgabe der Bestimmung der gesuchten Funktion (im allgemeinen Fall des Systems von Funktionen) im Moment  $t + \Delta t$  aus ihren bekannten Werten im Moment  $t$

mit elementaren Berechnungen zurückführen. Diese Methode ist aber im allgemeinen instabil oder nur für sehr kleine Werte von  $\Delta t$  stabil. Aber auch im letzten Fall, wenn man die Stabilität dennoch erreichen kann, übersteigt der allgemeine Umfang der Berechnungen praktische Möglichkeiten. Für korrekt gestellte Aufgaben (s. *Nichtkorrekt gestellte Aufgaben*) kann man immer die Stabilität des Berechnungsprozesses durch Anwendung des impliziten Schemas

$$\frac{u(t + \Delta t) - u(t)}{\Delta t} = \Phi(u(t + \Delta t))$$

erreichen. Dabei ist es wesentlich, in die implizite Form die alten Ableitungen nach den Koordinaten aufzunehmen. Aber in diesem Falle muß man für mehrdimensionale Aufgaben in jedem Zeitschritt Gleichungssysteme sehr hoher Ordnung lösen (obwohl sie auch für quasilineare partielle Differentialgleichungen linear sind). Oben wurde bereits erwähnt, welche große Zahl arithmetischer Operationen die Lösung solcher Aufgaben erfordert. Ausgehend von dieser Situation erfolgte die Erarbeitung von Schemata, die in einem gewissen Sinne eine Zwischenstellung zwischen den rein expliziten und den rein impliziten einnehmen und die dazu führen, daß sich das Gleichungssystem hoher Ordnung des impliziten Schemas in eine Folge von Gleichungssystemen wesentlich niedrigerer Ordnung aufspaltet. Dabei übersteigt die Stabilität dieser Schemata wesentlich die der expliziten Schemata. Eines der am weitesten verbreiteten Verfahren dieser Art ist die sogenannte Methode der variablen Richtungen, bei der man in jedem Zeitschritt die Ableitungen in impliziter Form abwechselnd nur nach einer der Raumvariablen einträgt. Auf diese Weise ist die Ordnung des linearen algebraischen Gleichungssystems hier in jedem Schritt dieselbe wie bei der Lösung eindimensionaler Aufgaben.

Die erwähnten Methoden vereinfachen in vielen Fällen die Lösung mehrdimensionaler Aufgaben, aber kein Verfahren führt zur Verringerung des für die Berechnungen in der EDVA notwendigen Speicherplatzes. Deshalb führt die Beschleunigung der Lösungsverfahren nicht zum Ziel, wenn der Umfang des operativen Speichers des Rechners unzureichend ist. Stationäre Probleme der mathematischen Physik kann man auch auf dem oben beschriebenen Wege durch Anwendung der aufgestellten Methoden lösen, d. h., indem man das System als ein bestimmtes nichtstationäres System, ausgehend von dem eingeführten Regime, darstellt. Dabei ist es natürlich nicht notwendig, ein physikalisch reales nichtstationäres System zu verwenden. Es ist nur wichtig, die Stabilität des stationären Regimes zu sichern. Den Bestimmungsprozeß muß man hier einfach als einen bestimmten Iterationsprozeß verstehen.

Breite Anwendung für die Lösung stationärer Aufgaben fanden auch die *Variationsmethoden*. In physikalischen Aufgaben sind die Gleichungssysteme oft EULERSche Variationsgleichungen für bestimmte Funktionale. Aber auch wenn man kein EULERSches Funktional konstruieren kann, ist es immer möglich, die Lösung des Differentialgleichungssystems mit gegebener Randbedingung  $\Phi(u, x, y, z, \dots) = 0$  auf die Bestimmung des Minimums des Funktionals

$$\int (\Phi(u, x, y, z, \dots))^2 dx dy dz \dots$$

zurückzuführen.

Numerische Verfahren zur Bestimmung von Extremwerten (numerische Optimierungsverfahren) werden in den verschiedensten Gebieten angewendet. Hierzu zählen nicht nur wissenschaftliche Probleme physikalischer Zyklen, sondern auch Probleme der optimalen Steuerung in technischen und administrativen Systemen, die Optimierung der ökonomischen Planung und weitere Probleme. Bei den analytischen Lösungen des Problems der Bestimmung der Extremwerte bei Optimierungsproblemen wird man auf Differentialgleichungen (EULERSche Variationsgleichungen) oder auf Systeme (im allgemeinen Falle) transzendenter Gleichungen geführt. Aber für numerische Verfahren zur Extremwertbestimmung sind die direkten Verfahren effektiver, so daß man, wie bereits oben erwähnt, andererseits Differentialgleichungsprobleme oder die Lösung transzendenter Gleichungssysteme auf äquivalente Variationsprobleme zurückführt. Aufgaben zur Bestimmung von Extrema (der Klarheit halber werden wir uns hier auf Minima beschränken) besitzen den Vorteil, daß man immer einen Iterationsprozeß konstruieren kann, der zu einer Verringerung des Wertes des Funktionals führt, wobei dieser Prozeß aus einfacheren eindimensionalen Variationen bestehen kann. Gewöhnlich macht es keine Schwierigkeiten, die Konvergenz des Prozesses zu zeigen. Die theoretische Hauptschwierigkeit bei Optimierungsproblemen für nichtkonvexe Funktionale besteht darin, daß mehrere Minima existieren können. Der Iterationsprozeß führt zu irgendeinem der Minima, aber nicht notwendig zum kleinsten. Bis jetzt liegen noch keine regulären Verfahren zur Bestimmung des kleinsten Minimums vor.

Die n. M. begann, sich mit der Einführung der EDV sehr schnell zu entwickeln. Es entstanden neue Teilgebiete, z. B. die numerischen Verfahren der *Spieltheorie*, der *Bedienungstheorie*, der Minimierung logischer Funktionen und der *Kombinatorik*. Hier wurden die Teilgebiete betrachtet, die aus den Ergebnissen der ersten Untersuchungen entstanden und bereits in breitem Umfang angewendet werden.

A. A. DORODNIZYN

Literatur: Фаддеев, Д. К., и В. Н. Фаддеева: Вычислительные методы линейной алгебры. Москва, Ленинград 1963; Ремез, Е. Я.: Основы численных методов чебышевского приближения. Киев 1969; Самарский, А. А.: Введение в теорию разностных схем. Москва 1971; Моисеев, Н. Н.: Численные методы в теории оптимальных систем. Москва 1971.

„**Mathematische Operationsforschung und Statistik**“ – wissenschaftliche Zeitschrift, die am Zentralinstitut für Mathematik und Mechanik der AdW der DDR herausgegeben wird und seit 1970 sechsmal im Jahr im Akademie-Verlag Berlin erscheint.

Die Zeitschrift publiziert theoretische und angewandte Arbeiten aus folgenden Gebieten: lineare, nichtlineare und dynamische Optimierung, mathematische Statistik (insbesondere auch Testtheorie, Parameterschätzung, Regressions- und Korrelationsanalyse, Varianzanalyse und Versuchsplanung, sequentielle und nichtparametrische Verfahren), Spiel- und Entscheidungstheorie, mathematische Modellierung und Prognose ökonomischer oder technologischer Prozesse, Netzwerkmethoden, Bedienungs-, Zuverlässigkeits- und Ersatztheorie sowie Lagerhaltungsprobleme. Neben Originalarbeiten werden auch zusammenfassende Berichte über den erreichten Stand der genannten Sachgebiete sowie über Lösungsverfahren für wichtige Probleme der Praxis und über einschlägige Fachtagungen veröffentlicht.

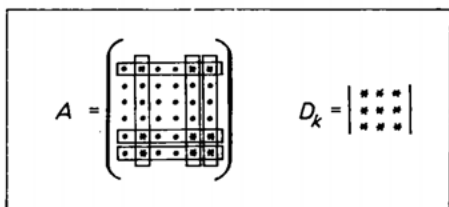
**Mathematische Optimierung** – s. *Optimierung, mathematische*.

**Matrix** – rechteckiges Schema von Zahlen  $a_{ik}$  ( $i=1, \dots, m$ ;  $k=1, \dots, n$ ) bestehend aus  $m$  Zeilen und  $n$  Spalten:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \cdots a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} \cdots a_{2n} \\ \dots & \dots \dots \dots \\ a_{m1} & a_{m2} \cdots a_{mn} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Wenn  $m=n$  ist, dann heißt die M. quadratisch, und die Zahl  $n$  wird als Ordnung von  $A$  bezeichnet. Die Zahlen, welche die M.  $A$  bilden, heißen Elemente von  $A$ . Neben endlichen Matrizen der Gestalt (1) sind in der Mathematik auch M. anzutreffen, die eine unendliche Anzahl von Zeilen oder Spalten besitzen. M. interessieren in der Mathematik am häufigsten als *Operatoren*.

Als Minor (Unterdeterminante)  $k$ -ter Ordnung der Matrix  $A$  ( $k \leq m$ ,  $k \leq n$ ) bezeichnet man die Determinante  $D_k$ , die – unter Beibehaltung der Ordnung – aus  $k^2$  Elementen von  $A$ , die in den Schnittpunkten von ge-



Schema von Matrix und Determinante

wissen  $k$  Zeilen und  $k$  Spalten liegen (s. Abb.). Die größte Ordnung  $k$ , für die es Minoren  $D_k$  mit  $D_k \neq 0$  gibt, heißt Rang von  $A$ .

M. finden bei der Lösung von Systemen linearer algebraischer Gleichungen (s. *Lineare Gleichungssysteme, Lösungsverfahren*), in der *Spieltheorie* (s. a. *Zweimatrixspiel; Matrixspiele*), in der mathematischen Analysis bei der Integration von Differentialgleichungssystemen, in der Mechanik und theoretischen Elektrotechnik bei der Untersuchung kleiner Schwingungen in mechanischen und elektrischen Systemen, in der Quantenmechanik und in anderen Zweigen der Naturwissenschaften Anwendung. Über die Klasseneinteilung von M. und die Operationen mit ihnen s. *Matrizenrechnung*.

A. T. CHAWRO

**Matrizenrechnung** – Teilgebiet der Algebra, in welchem Matrizen und Operationen mit ihnen untersucht werden. Matrizen sind rechteckige oder quadratische Schemata der Form

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}, \tag{1}$$

wobei die  $a_{ik}$  Elemente irgendeiner Menge  $S$  darstellen; man sagt, daß  $A$  eine Matrix über  $S$  ist. Am häufigsten ist  $S$  eine gewisse Menge von Zahlen (Menge aller komplexen, reellen, rationalen, ganzen oder anderen Zahlen).  $S$  kann aber auch (im allgemeineren Fall) Träger irgendeiner algebraischen Struktur (Ring, Körper, *Gruppe*, *BOOLEsche Algebra* usw.) sein. In diesen Fällen erstrecken sich die auf  $S$  definierten Operationen in der Weise auf die Menge der Matrizen über  $S$ , daß diese ihrerseits eine algebraische Struktur bildet. Das Studium der Eigenschaften solcher algebraischer Strukturen und ihre Anwendung in verschiedenen Zweigen der Mathematik bildet den Gegenstand der Matrizentheorie. Im weiteren (wenn dem nichts entgegensteht) werden wir annehmen, daß  $S$  entweder einen Ring  $R$  oder einen Körper  $K$  darstellt (da das fast vollständig alle praktischen Fälle erfaßt).

Die Folgen  $(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) bilden die Zeilen, die Folgen  $(a_{1k}, a_{2k}, \dots, a_{mk})$  ( $k=1, \dots, n$ ) die Spalten der Matrix  $A$ . Die Folge

$(a_{11}, a_{22}, \dots)$  heißt Diagonale der Matrix  $A$ . Eine Matrix vom Typ  $(m, n)$  (kurz  $(m, n)$ -Matrix) ist eine Matrix mit  $m$  Zeilen und  $n$  Spalten; im Falle  $m = n$  wird sie als quadratische Matrix der Ordnung  $n$  bezeichnet. Die Menge dieser Matrizen über der Menge  $S$  werden wir mit  $M_n(S)$  (bzw.  $M_n(R)$  oder  $M_n(K)$ ) bezeichnen. Diese Mengen mit den noch zu definierenden Operationen Addition und Multiplikation heißen Matrizenalgebren über den entsprechenden Mengen. Matrizen vom Typ  $(1, n)$  bzw.  $(m, 1)$  werden als Zeilenvektoren (Zeilenmatrizen) bzw. als Spaltenvektoren (Spaltenmatrizen) bezeichnet. In der Matrixtheorie trifft man häufig folgende spezielle Matrizen: Nullmatrix  $0_{m,n}$  vom Typ  $(m, n)$  (wenn alle  $a_{ik} = 0$ ); Diagonalmatrix, eine quadratische Matrix, bei der alle Elemente außerhalb der Hauptdiagonalen gleich Null sind:

$$D = \begin{pmatrix} c_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & c_n \end{pmatrix}; \quad (2)$$

skalare Matrix (wenn in  $D$  alle  $c_i = c$  sind); Einheitsmatrix (wenn in  $D$  alle  $c_i = 1$  sind, wird mit  $E$  bezeichnet). Die Matrix

$$A^T = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{m1} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{1n} & a_{2n} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

heißt die transponierte Matrix (kurz Transponierte) von  $A$ . Die Summe der Matrizen  $A$  und  $B$  von gleichem Format und die Multiplikation einer Matrix mit einem Skalar ist entsprechend den folgenden Formeln definiert:

$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{mn} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} a_{11} + b_{11} & a_{12} + b_{12} & \dots & a_{1n} + b_{1n} \\ a_{21} + b_{21} & a_{22} + b_{22} & \dots & a_{2n} + b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} + b_{m1} & a_{m2} + b_{m2} & \dots & a_{mn} + b_{mn} \end{pmatrix}, \\ &c \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ca_{11} & ca_{12} & \dots & ca_{1n} \\ ca_{21} & ca_{22} & \dots & ca_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ ca_{m1} & ca_{m2} & \dots & ca_{mn} \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (3)$$

Mit diesen Operationen bildet die Menge der Matrizen vom Typ  $(m, n)$  über dem Ring  $R$  einen Modul (ABELSche Gruppe) und über dem Körper  $K$  einen Vektorraum der Dimension  $m \cdot n$ . Die Multiplikation von Matrizen  $A$  und  $B$  ist nur dann definiert, wenn  $A$  eine  $(m, n)$ -Matrix und  $B$  eine  $(n, k)$ -Matrix ist. Dann ist das Produkt  $C = A \cdot B$  eine  $(m, k)$ -Matrix, wobei

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1k} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nk} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1k} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mk} \end{pmatrix} \quad (4)$$

mit  $c_{ij} = \sum_{l=1}^n a_{il}b_{lj}$  gilt.

Die Multiplikation ist insbesondere immer für quadratische Matrizen gleicher Ordnung  $n$  aus  $M_n(R)$  definiert. Die Definition der Matrizenmultiplikation (4) hängt sowohl mit der Anwendung von Matrizen zur Beschreibung linearer Abbildungen (s. *Operator, linearer*) als auch mit Koordinatentransformationen zusammen. Es seien beispielsweise  $V$  und  $W$  Vektorräume über  $R$  mit den Dimensionen  $m$  bzw.  $n$  sowie  $e_1, e_2, \dots, e_m$  eine Basis von  $V$  und  $d_1, d_2, \dots, d_n$  eine Basis von  $W$ . Die lineare Abbildung  $\mathcal{A}: V \rightarrow W$  ( $V$  in  $W$ ) wird vollständig durch die Bilder  $e_i\mathcal{A}, \dots, e_m\mathcal{A}$  der Basiselemente bestimmt; diese werden ihrerseits durch die Basis  $d_1, d_2, \dots, d_n$  auf folgende Weise bestimmt:

$$e_i\mathcal{A} = \sum_{j=1}^n a_{ij}d_j, \quad (5)$$

und die Matrix

$$A = (a_{ij}) \quad (6)$$

definiert vollständig die Abbildung  $\mathcal{A}$ . Wenn jetzt  $U$  ein gewisser dritter Vektorraum mit der Basis  $f_1, f_2, \dots, f_k$  und  $\mathfrak{B}$  eine lineare Abbildung mit  $\mathfrak{B}: W \rightarrow U$  und  $B = (b_{jl})$  Matrix für die Basissysteme  $d_1, \dots, d_m$  und  $f_1, \dots, f_k$  sind, dann entspricht der linearen Abbildung  $\mathcal{C} = \mathcal{A}\mathfrak{B}$ , die man als Ergebnis der aufeinanderfolgenden Anwendung von  $\mathcal{A}$  und  $\mathfrak{B}$  erhält, eine Matrix  $C$ , die gleich dem entsprechend Gl. (4) gebildeten Produkt  $A \cdot B$  ist. Bei  $V = W = U$  mit der Basis  $e_1, e_2, \dots, e_n$  in  $V$  sind die entsprechenden Matrizen quadratisch, da sie sich in umkehrbar eindeutiger Zuordnung zu den linearen Operatoren des Raumes  $V$  befinden, und die Algebra  $M_n(K)$  der quadratischen Matrizen  $n$ -ter Ordnung ist der Algebra der linearen Operatoren des  $n$ -dimensionalen Vektorraumes über dem Körper  $K$  isomorph. Die Zuordnung  $\mathcal{A} \rightarrow A$  hängt von der ausgewählten Basis  $e_1, \dots, e_n$  ab. Beim Übergang zu einer neuen Basis  $e'_1, \dots, e'_n$  mit Hilfe der Transformationsmatrix  $C$  entspricht



dem linearen Operator  $\mathcal{A}$  die Matrix  $CAC^{-1}$ , wobei  $C^{-1}$  die Kehrmatrix (inverse Matrix) von  $C$  ist, d. h., für sie gilt:  $CC^{-1} = E$ . Die Matrizen  $A$  und  $CAC^{-1}$  heißen ähnlich.

Die zentrale Aufgabe der Theorie der linearen Operatoren und Matrizen ist die folgende: gesucht ist unter allen Matrizen  $CAC^{-1}$  diejenige mit dem einfachsten Aufbau (Transformation von  $A$  auf Normalform). In speziellen Fällen ist das eine Diagonalmatrix, in welcher in der Hauptdiagonalen die Eigenwerte der Matrix (d. h. die Wurzeln des charakteristischen Polynoms  $|\lambda E - A|$ ) stehen. Die Normalform ist hier bis auf die Reihenfolge der Anordnung der Diagonalelemente eindeutig bestimmt. Im allgemeinen Falle werden die Matrizen entweder in die sog. JORDANSche Normalform (bei  $K = C$  – Körper der komplexen Zahlen) oder in die FROBENIUSsche Normalform (Begleitmatrix) (bei beliebigem Körper  $K$ ) transformiert. Die Transformation auf Normalform vereinfacht gewisse algebraische Operationen mit Matrizen und wird bei der Lösung von linearen Differentialgleichungen, in der Operatorenrechnung und bei vielen anderen Problemen der Geometrie und Mechanik verwendet.

Matrizen werden zur Beschreibung und Untersuchung *quadratischer und bilinearer Formen* benutzt. Beim Übergang zu einer anderen Basis  $e'_1, \dots, e'_n$  mit Hilfe der Transformationsmatrix  $C$  wird die Matrix der bilinearen Form entsprechend  $A = CAC^T$  transformiert. Ebendadurch unterscheidet sich die Transformation der Matrix einer bilinearen Form von der Transformation der Matrix eines linearen Operators. Die Transformationsmatrizen fallen für den Fall, daß  $C^T = C^{-1}$  gilt, d. h. für sog. orthogonale Matrizen  $C$ , zusammen. Symmetrischen bilinearen Formen entsprechen symmetrische Matrizen, d. h. solche, für die  $a_{ik} = a_{ki}$  gilt. Insbesondere lassen sich symmetrische Matrizen immer auf Diagonalform (auf Hauptachsen) bringen, sogar, wenn man sich auf orthogonale Transformationsmatrizen beschränkt. Die Transformation auf Hauptachsen bildet eine der zentralen Aufgaben der linearen Algebra (s. *Algebra, lineare*) und der Matrixtheorie. Man benutzt sie in der Geometrie und Mechanik. Verallgemeinerungen auf den Fall unendlich dimensionaler Räume und „unendlicher“ Matrizen sind möglich.

Große Bedeutung, insbesondere für die *Wahrscheinlichkeitstheorie*, haben Matrizen über dem Körper der reellen Zahlen mit positiven Elementen. Eine Matrix, in der alle  $a_{ik} \geq 0$  und alle Zeilensummen gleich 1 sind, wird als stochastische Matrix bezeichnet. Derartige Matrizen dienen zur Definition homogener MARKOW-Ketten mit einer endlichen Anzahl von Zuständen. Die Elemente  $a_{ik}$  der Matrix werden als Übergangswahrscheinlichkeiten interpretiert, wogegen die  $n$ -te Potenz der Matrix die Übergangswahrscheinlichkeit der Zustände des Prozesses nach  $n$  Schritten darstellt. Wichtig ist das Verhalten der Folge  $A, A^2, \dots, A^n$  für  $n \rightarrow \infty$ , d. h. das „asymptotische“

Verhalten des Prozesses. Aus diesen Zusammenhängen heraus bilden die Algebra und die Analysis stochastischer Matrizen den mathematischen Apparat der Theorie der MARKOW-Ketten.

Lineare Operatoren und quadratische Formen in unendlich dimensionalen Räumen über dem Körper der reellen oder komplexen Zahlen werden durch unendliche Matrizen verschiedener Art beschrieben. Man betrachtet hier Matrizen mit einer abzählbaren Menge von Zeilen und Spalten. Eine andere Verallgemeinerung ist die Betrachtung als Matrizen reeller oder komplexer Funktionen, die überall auf einem gewissen Gebiet  $0 \leq x \leq a$ ;  $0 \leq y \leq a$  definiert sind. In diesem Falle hat die Menge der Zeilen und Spalten die Mächtigkeit des Kontinuums. Zur Definition grundlegender Operationen (in erster Linie der Multiplikation) mit unendlichen Matrizen muß man von den Matrizen-elementen gewisse Konvergenzeigenschaften fordern. Dieses Problem gehört in die Funktionalanalysis.

Für die Anwendung der Matrizenrechnung in der *mathematischen Logik* und in der *abstrakten Automatentheorie* spielen Matrizen über einer zweiwertigen BOOLEschen Algebra  $\mathfrak{B} = \{0, 1\}$  eine wichtige Rolle. Die Operationen Addition und Multiplikation solcher Matrizen sind dann in den Formeln (3) und (4) wie die BOOLEsche Addition und Multiplikation zu verstehen. Manchmal betrachtet man in ähnlichen Fällen anstelle einer zweiwertigen BOOLEschen Algebra  $\mathfrak{B}$  Matrizen über einem Körper mit zwei Elementen (s. SHEGALKIN-Algebra). Der sowjetische Mathematiker I. I. SHEGALKIN (1869–1947) wandte diesen Apparat zur Untersuchung der Lösbarkeit von Formeln des *Prädikatenkalküls* an. In der *mathematischen Ökonomie* benutzt man häufig Matrizen zur Aufstellung von Bilanzen, in der *linearen Optimierung* finden sie Anwendung bei der Untersuchung von Systemen linearer Ungleichungen usw.

L. A. KALUSHNIN

Literatur: Цейтлин, М. Л.: Применение матричного исчисления к синтезу релейно-контактных схем. Доклады АН СССР, Москва, 86 (1952) 3; KOCHENDÖRFFER, R.: Determinanten und Matrizen. Leipzig 1957; GANT-MACHER, F. R.: Matrizenrechnung. Bd. 1 u. 2. Berlin 1958/59; BELLMAN, R.: Introduction to matrix analysis. New York 1960; ZURMÜHL, R.: Matrizen und ihre technischen Anwendungen. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1964; DIETRICH, G., u. H. STAHL: Matrizen und Determinanten und ihre Anwendung in Technik und Ökonomie. Leipzig 1966; FLEGG, H. G.: Boolean algebra and its applications. London, Glasgow 1965.

**Matrizenspiele** – *antagonistische Spiele*, bei denen beide Spieler eine endliche Anzahl reiner Strategien besitzen. Wenn der erste Spieler  $m$  Strategien besitzt, der zweite  $n$  Strategien, so kann das M. durch eine  $m \times n$ -Matrix

$A = \|a_{ij}\|$  dargestellt werden, wobei  $a_{ij}$  der Gewinn des ersten Spielers ist, wenn er seine  $i$ -te Strategie ( $i=1, \dots, m$ ) ausgewählt hat und der zweite Spieler seine  $j$ -te Strategie ( $j=1, \dots, n$ ). Bei der Wahl der Strategien durch die Spieler im M. ist es zweckmäßig, sich vom Maximumprinzip leiten zu lassen. Das M. besitzt immer eine Lösung in *gemischten Strategien*.

Als Beispiel für ein M. kann das „Versteckspiel“ dienen, das in folgendem besteht. Der zweite Spieler hält sich in einem von  $n$  Feldern versteckt, und der erste Spieler untersucht eines von ihnen. Wenn er das  $i$ -te Feld ausgewählt hat und sich der zweite Spieler dort befindet, so entdeckt der erste Spieler den zweiten mit der Wahrscheinlichkeit  $p_i$ , im entgegengesetzten Fall beträgt die Wahrscheinlichkeit der Entdeckung Null. Ziel des ersten Spielers ist die Maximierung, Ziel des zweiten die Minimierung der Wahrscheinlichkeit der Entdeckung. Dieses Spiel läßt sich durch die Diagonalmatrix

$$A = \begin{pmatrix} p_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & p_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & p_n \end{pmatrix}$$

beschreiben. Die *optimalen Strategien* der Spieler fallen hier zusammen; sie bestehen in der Wahl der Felder mit den Wahrscheinlichkeiten

$$\left( p_i \sum_{i=1}^n 1/p_i \right)^{-1}, \quad i=1, \dots, n.$$

Die M. modellieren einen breiten Kreis antagonistischer Konfliktsituationen mit zwei Teilnehmern und endlichen Mengen der möglichen Handlungen eines jeden von ihnen. Damit ist die Anwendung der M. bei der Wahl von kriegstaktischen Entscheidungen verbunden. Manchmal versteht man unter einem der Spieler „die Natur“, d. h. die ganze Gesamtheit von Umständen, die dem anderen, eine Entscheidung treffenden Spieler nicht bekannt sind. Solche Spiele (sie werden oft Spiele gegen die Natur genannt) entstehen z. B. bei der Notwendigkeit der Betrachtung von Natur- und anderen nicht kontrollierbaren Faktoren, die sich nicht in der Verfügung irgend einer konkreten Person befinden. Dabei wird der Natur die Rolle eines bewußten Gegners, eines Antagonisten, zugeteilt.

A. A. KORBUT

**Maximum-Likelihood-Methode** — Methode zur Bestimmung der Schätzwerte unbekannter Parameter für den Fall, daß die Verteilung der *Zufallsgröße* zu einer Klasse von Verteilungen, die von einer endlichen Anzahl von Parametern abhängt, gehört (s. *Statistische Schätzung*).

**Maximumprinzip** – s. *Optimale Prozesse, Theorie*; PONTRJAGINSCHES *Maximumprinzip*.

**MAYER, Problem von** – s. *Problem von MAYER*.

**MEALY-Automat** – *endlicher Automat*, dessen Ausgabe  $y_t$  im Takt  $t$  wesentlich vom Zustand  $z_t$  und der Eingabe  $x_t$  in diesem Takt abhängt, d. h.,  $y_t = g(z_t, x_t)$ . Derartige Automaten sind erstmals von G. MEALY eingeführt worden (s. a. *Automatentheorie, algebraische*).

**Medizinische Elektronik** – Zweig der Elektronik, in dem elektronische Geräte entwickelt und ihr Einsatz für medizinische und biologische Untersuchungen und bei der Heilbehandlung des Menschen vorbereitet werden. Geräte und Einrichtungen der m. E. finden ihre Anwendung bei der Erfassung und Speicherung, Ausgabe und Analyse medizinischer Daten, bei der Heilbehandlung des Menschen, bei der Steuerung bestimmter Funktionen des menschlichen Organismus, als Ersatz für einzelne Organe sowie bei der elektronischen Modellierung der Tätigkeit bestimmter Organe und Systeme des Menschen.

Die Erfassung der medizinischen Daten erfolgt durch Datengeber oder Meßfühler, die Informationen über die Funktion eines Organs oder Systems des Menschen bzw. deren Umgebung im Organismus erfassen und geeignet codieren können. Nach der Art der Wahrnehmung unterscheidet man fotoelektrische Strahlungsaufnehmer (Fotoelemente, Fotowiderstände, Fotoverstärker, Halbleiterempfänger), die in Röntgengeräten, fotoelektrischen Kalorimetern usw. verwendet werden; Datengeber, die Temperaturschwankungen im Organismus oder dessen Umwelt feststellen (Quecksilberthermometer, Thermoelemente, Thermistoren) und in Thermostaten, Elektrometern zur Bestimmung der Blutstromgeschwindigkeit u. a. eingesetzt werden; Meßfühler zur Feuchtigkeitsbestimmung der Luft, der Kleidung usw. (Hygrometer, in denen Thermoelemente enthalten sind, hermetisierte Thermistoren, elektrolytische Pyrometer); Meßgeber zur Bestimmung der Ionenstrahlung (Ionisationskammern, GEIGER-MÜLLER-Zähler, Proportionalitätszähler, Szintillationszähler); Datengeber zur elektrischen Messung mechanischer Größen, bei denen man dynamische (piezoelektrische, elektrodynamische, elektromagnetische, magnetoelektrische) und statische (Regelwiderstände, Flüssigkeitspotentiometer, tensometrische, induktive und fotoelektrische) Datengeber unterscheidet. In den dynamischen Datengebern wird das Eingangssignal nur durch Verformung bzw. Bewegung des Datengebers erzeugt, wobei keine zusätzliche Energie erforderlich ist. Die statischen Datengeber können ohne diese zusätzliche Energiequelle, die durch Wider-

stände, Kondensatoren und Induktivitäten gesteuert wird, nicht arbeiten. Sowohl dynamische als auch statische Datengeber finden in der Kardiologie (als ballistokardiographische Zusatzgeräte, Pulsschlagmeßgeber, Bewegungs- und seismische Datengeber usw.) breite Verwendung. Zur Anwendung kommen ferner Tachometer, die Meßwerte von Drehbewegungen in elektrische Signale umwandeln. In der Elektro- und Vektorkardiographie sowie in der Elektrophysiologie werden vorzugsweise Datengeber zur Messung und Registrierung von Potentialen (Mikroelektroden mit flüssigen und metallischen Kapillarleitern), nichtpolarisierte Elektroden (Silber, Platin, Zink), einfache Metallelektroden und Elektroden, die in Gewebe eingepflanzt werden, eingesetzt.

Alle Datengeber müssen die geforderte Meßgenauigkeit garantieren, nach Möglichkeit sehr klein in ihren äußeren Abmessungen sowie relativ einfach und zuverlässig sein.

Außer Datengebern zur Informationserfassung sind elektronische Verstärker und Anzeigergeräte notwendig. Elektronische Verstärker setzt man vorrangig bei der Erfassung physiologischer Daten ein, weil die Empfindlichkeit der Datengeber oft nicht ausreicht, um diese Informationen in Anzeigergeräten sichtbar zu machen bzw. in Registriereinrichtungen aufzeichnen zu können. Biopotentialverstärker eignen sich für niedrige Frequenzen von 0 bzw. 0,5 bis 200, 250 oder 500 Hz. Geräte zur Erfassung und Registrierung physiologischer Daten können entsprechend der Anzahl der Datengeber einen oder mehrere Registrierkanäle enthalten. Bei einer sequentiellen Abfrage der Datengeber in bestimmten Zeitabständen kann auch ein und derselbe Registrierkanal verwendet werden. Die Zahl der Verstärker entspricht der Anzahl der Registrierkanäle. Nach der Datenerfassung und Zwischenverstärkung erfolgt die Anzeige bzw. Registrierung mit Hilfe von Elektronenstrahl-Galvanometern oder elektromagnetischen Schreibern auf Foto- oder Papierstreifen. Für Langzeitmessungen, z. B. die Aufzeichnung von Kardiogrammen, benutzt man einen Film. In jüngster Zeit werden die in digitaler oder analoger Form vorliegenden Daten fast ausschließlich auf Magnetband aufgezeichnet, um sie später mit Hilfe verschiedener Verfahren auswerten zu können.

Zu den Anzeigeeinrichtungen gehören auch Geräte, die Elektronenstrahlröhren mit unterschiedlichen Nachleuchtzeiten enthalten. Als ein Gerät dieses Typs ist z. B. in dem Polytechnischen Institut in Kiew ein „Speicher-Vektorkardioskop“ entwickelt worden. Mit solchen Geräten kann man Herz- und Hirnfunktionen während einer Operation, unter physischen Belastungen usw. beobachten, weil auf Wunsch des Beobachters auf derselben Bildröhre auch schon früher aufgezeichnete Kurven sichtbar gemacht werden können. Eines der perspektivreichsten Verfahren zur Erfassung und Registrierung umfangreicher medizinischer Datenmengen, z. B. die Aufzeichnung der

unterschiedlichen Verhaltensweisen eines Menschen vor und nach einer Erkrankung, ist die *Holographie*. Zur Datenerfassung, -übertragung und -registrierung werden auch Methoden der Biotelemetrie angewendet. Es sind spezielle Teleelektrokardiographen, Telephonokardiographen und andere Einrichtungen entwickelt worden. Datenanzeigergeräte können auch durch Zeigerausschläge (Zeigergeräte) oder Ziffernfolgen auf einem Display (Digitalgeräte) Veränderungen, die sich im Organismus vollziehen, sichtbar machen. In der Regel werden ein oder zwei Hauptparameter des zu untersuchenden Prozesses angezeigt, z. B. interessiert den Chirurgen, der eine Herzoperation durchführt, vorrangig die Zahl der Herzschläge pro Minute und der Grad der Myokardhypoxie. Dafür muß an den Elektrokardiographen ein Auswertegerät angeschlossen werden, das die Anzahl der Ausschläge des Elektrokardiogramms pro Minute zählt und auf einem Zeigergerät oder Display anzeigt. Eine Recheneinheit bestimmt die Abweichung von den vorgegebenen Intervallgrenzen und zeigt diese in digitaler Form an. Auf die gleiche Weise kann man auch die Kurven des Arterien- oder Venendruckes registrieren.

Seit einigen Jahren wird in der m. E. der Entwicklung von Analysatoren große Beachtung geschenkt, in denen die auf Magnetband gespeicherten medizinischen Daten ausgewertet werden, um Histogramme und Kurven von Auto- und Kreuzkorrelationsfunktionen zu erhalten, nach denen der Arzt den Zustand des Organismus oder einzelner Organe und Systeme eines Kranken beurteilen kann. Solche Geräte können autonom oder im Komplex mit Elektronenrechnern arbeiten, in deren peripheren Speichern die Diagnoseergebnisse (z. B. die Bestimmung der Wachheit nach einem Elektroenzephalogramm, Erscheinungen von Fehlreaktionen, Einschätzungen der geistigen Aktivität usw.) enthalten sind. Geschaffen wurde beispielsweise ein Gerät zur Bestimmung der gegenseitigen Dispersion von Daten verschiedener Elektroenzephalogrammausdrucke, welches — was für den Anästhesisten sehr wichtig zu wissen ist — die Verringerung der gegenseitigen Dispersion aufgrund der zunehmenden Hypoxie während der Narkose unterscheidet. Geschaffen wurde auch ein Digitalgerät zur Messung der Geschwindigkeit der Pulswelle, das in Form eines kleinen Zusatzgerätes für den Mehrkanal-Elektrokardiograph ausgeführt ist und die Ausbreitungszeit der Pulswelle mit einer Genauigkeit bis zu  $\pm 0,001$  s bestimmt.

Neben einzelnen Geräten sind auch komplizierte Informationsmeßsysteme mit speziellen Programmen entwickelt worden. So gibt es in den USA spezielle Anlagen wie „Mediac“, „ATAC-501-10“, „ATAC-501-20“ u. a. In der UdSSR gibt es das Informationssystem zur Vektoranalyse des elektrischen Feldes des Herzens SVEK (Stereo-Vektorelektrokardiograph), mit dem Azimut, Steigungswinkel und Modul des Momentenvektors sowie Winkel- und Linear-

geschwindigkeit der Flächenschleifen *QRS* und *P* gemessen werden. Entwickelt wurde auch ein Vektorkardioskop mit Magnetbandspeicher und Datenübertragung über Fernsprechanäle direkt zu einem Rechner, der nicht nur die Parameter berechnet, sondern auch die Diagnose für die hauptsächlichsten Erkrankungen des Herzens stellt.

Für medizinische Diagnosegeräte sind die Hauptentwicklungsrichtungen umrissen worden. Im Institut für Mathematik der AdW der UdSSR ist z. B. eine diagnostische Relaisvorrichtung entwickelt worden, im Institut für Chirurgie „A. W. Wischnewski“ ein spezielles Diagnosegerät zur Bestimmung von Kreislaufstörungen.

Es werden auch Gerätesysteme zur Messung und Diagnose des Zustandes von Menschen, die sich in einem Reanimationszentrum befinden, entwickelt. Alle Geräte eines solchen Komplexes sind mit mittleren und Kleinrechnern gekoppelt. Jeder Kranke, der in ein Reanimationszentrum eingeliefert wird, unterliegt einer komplexen Beobachtung, in deren Rahmen eine ständige Kontrolle des EKG, der Körpertemperatur, des zentralen und peripheren Pulses, der Atmung und des Blutdrucks erfolgt, und somit der Arzt oder eine Krankenschwester ständig die Veränderungen von Organen oder Systemen des Patienten verfolgen kann. Bei einer Verschlechterung des Gesundheitszustandes des Patienten kann über eine Notrufanlage sofort die erforderliche Hilfe angefordert werden.

Für klinisch-diagnostische und biochemische Laboratorien werden elektronische Analysatoren entwickelt, die 100–200 Analysen pro Stunde durchführen, die Analyseergebnisse in Formularform ausdrucken und über Fernschreiber der Klinik übermitteln, aus der das Analysematerial angeliefert worden war. Entwickelt wurden Informationsmeßsysteme, die Elektronenmikroskop und Rechereinheit in sich vereinigen und z. B. für die exakte Bestimmung der Bestandteile des Blutes, die Analyse von Gewebeschnitten usw. vorgesehen sind. Auf der Grundlage spezieller mathematischer Modelle und entsprechender peripherer Einrichtungen, die eine räumliche Darstellung des Herzens und des Gefäßsystems ermöglichen, sind Versuche unternommen worden, mit Hilfe eines Angiokardiogramms, Elektro- und Phonokardiogramms die Hämodynamik auf Rechnern zu analysieren. Es sind komplizierte Röntgen-Diagnostikgeräte mit *biologischer Steuerung* nach einem Elektrokardiogramm entwickelt worden, die die Datenerfassung in verschiedenen Phasen der Systole und Diastole des Herzens ermöglichen.

In der klinischen Praxis sind bereits sog. Express-Analysatoren im Einsatz, mit denen im Rahmen von Reihenuntersuchungen bestimmte Parameter kontrolliert werden können. In diesem Zusammenhang ergeben sich günstige Entwicklungsperspektiven für automatisierte fluorographische, thermographische, radiographische und kardiographische Analysatoren, die mit

Recheneinheiten und Diagnosegeräten gekoppelt sind und im vorbeugenden Gesundheitsschutz dringend benötigt werden.

Das Gerätesortiment für die Heilbehandlung des Menschen umfaßt im wesentlichen zwei Geräteklassen: Geräte, die auf der Basis des elektrischen Stromes mit Kontaktelektroden arbeiten, und Geräte, die mit Hilfe elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder ohne Kontaktelektroden funktionieren. Die Anwendung dieser Geräte erleichtert aber noch nicht die komplizierte Auswahl der richtigen Dosis oder Wirkungsdauer des jeweiligen Heilfaktors (Medikamente, Massagen usw.). Obwohl es schon spezielle Dosiergeräte gibt, ist man in den meisten Fällen noch immer auf empirische, auf den Erfahrungen des Arztes beruhende Werte angewiesen. Beispielsweise ist ein Dosimeter für Dauer- und Impulsbetrieb zur Regulierung des Herz-Kreislauf-Systems von Tieren entwickelt worden. Es laufen auch Arbeiten zur Schaffung von Dosiergeräten zur Regulierung des Kohlehydrat-Stoffwechsels von Diabetikern, für die Berechnung der Dosis radioaktiven Jods bei der Heilbehandlung von Thyreotoxikose sowie zur Bestimmung der Dosis bei der radiologischen Therapie von bösartigen Geschwülsten. Alle diese Dosiergeräte müssen auch gewährleisten, daß einerseits die Ergebnisse früherer Heilbehandlungen berücksichtigt werden und andererseits während der vom Arzt festgelegten Therapie eine ständige Kontrolle der Dosis in Abhängigkeit von den erreichten Behandlungsergebnissen erfolgt.

Bei den Geräten zur bioelektrischen Steuerung von Organen oder Systemen des Menschen unterscheidet man Geräte, die mit Hilfe biologischer Prozesse, die von einem gesunden Spender auf Magnetband oder einen anderen Datenträger aufgezeichnet werden, z. B. die Geräte „Myoton-1“ und „Myoton-2“, auf den Organismus einwirken — ähnliche Wirkungen haben auch Elektrostimulatoren der Muskelaktivität, Kardiostimulatoren u. a. —, und Geräte, in denen für die Steuerung biologische Prozesse, die im Patienten selbst ablaufen, ausgenutzt werden. Letztere sind z. B. Herzschrittmacher, die bei einem atrioventrikulären Block des Herzens die Meßwerte von der Herzvorkammer des Patienten verstärken und sie dann auf die Muskulatur der Herzkammern übertragen. Ein System zur Biosteuerung der künstlichen Atmung, das im Allunionsinstitut für Gerätebau entwickelt wurde, verarbeitet Informationen über den CO<sub>2</sub>-Gehalt der ausgeatmeten Luft sowie Biostrome der Atmungsmuskeln und bestimmt damit die Parameter des Atmungszyklusses. Das Gerät arbeitet im Impulsbetrieb und realisiert durch Rückkopplung der Geschwindigkeit des Luftstromes die automatische Änderung der Atemfrequenz und des notwendigen Luftvolumens. Geschaffen wurden auch Geräte, die während einer Operation automatisch den Blutdruck regulieren. Es gibt Geräte und Einrichtungen,



die Funktionen des Menschen ohne biologische Steuerung steuern, z. B. „Elektrosan“, „Elektronarkos“, die im Institut für Kybernetik der AdW der Ukrainischen SSR entwickelt wurden. Entwickelt werden auch medizinische Geräte und Einrichtungen für den Ersatz bestimmter Organe und Systeme des Menschen.

Im Rahmen der m. E. werden auch spezielle Einrichtungen geschaffen, mit denen die Tätigkeit einzelner Organe und Systeme, die elektrische Aktivität des Herzens, die dynamischen Beziehungen zwischen dem Herzen und dem Körper usw., modelliert werden können.

A. A. ПОПОВ

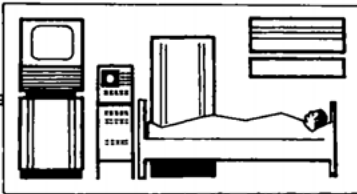
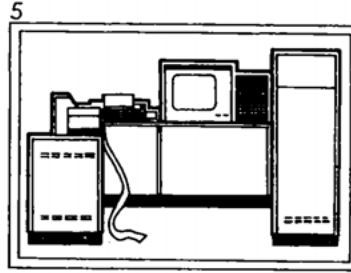
Literatur: DONALDSON, P.: Electronic apparatus for biological research. London 1958; Амосов, Н. М., и Е. А. Шкабара: Опыт постановки диагноза при помощи диагностических машин. Экспериментальная хирургия и анестезиология (1961) 4; Ливенцев, Н. М.: Электромедицинская аппаратура. Москва 1964; Сидоренко, Г. И.: Кибернетика и терапия. Москва 1970; Ахутин, В. М., и др.: Кибернетический комплекс для центра реанимации. В кн. Автоматизация, организация, диагностика, ч. 2. Москва 1971.

**Medizinisches Informationssystem** – Komplex mathematischer und technischer Mittel, die bei der Lösung von Aufgaben der klinischen Medizin oder des Gesundheitswesens die Erfassung, Speicherung, Verarbeitung und Ausgabe medizinischer Information gewährleisten. M. I. werden zum Zwecke der Erleichterung und Regelung der Arbeit mit medizinischen Informationen entwickelt. In Abhängigkeit vom Charakter der zu lösenden Aufgaben unterscheidet man Informationsrecherchesysteme (Anfragesysteme und Systeme mit Informationsverarbeitungsfunktion); Diagnosesysteme; Prognosesysteme, Servosysteme, Informationsmeßsysteme und Steuerungssysteme. Entsprechend dem Charakter der Information sind diese Systeme für die klinische Medizin, die prophylaktische Medizin, das Apothekenwesen, die Arbeitshygiene, für die Durchführung wissenschaftlicher Experimente, für die Ausbildung, das Aufsuchen medizinischer Bibliographien sowie für die Leitung unterschiedlicher medizinischer Spezialeinrichtungen bestimmt.

In Abhängigkeit vom Mechanisierungsgrad des Erfassungs- und Verarbeitungsprozesses der Information unterscheidet man automatisierte und automatische m. I. Erstere setzen die unbedingte Teilnahme des Menschen am Informationsprozeß voraus, letztere schließen ihn aus. Als *Informationsträger* zur Verarbeitung der *Information* in m. I. werden Lochkarten für die manuelle Bearbeitung, Lochkarten für die Arbeit auf Sortiermaschinen und verschiedene Primärträger benutzt, die der Bearbeitung auf EDVA angepaßt sind. Es gibt zwei Arten von m. I., die prophylaktische und therapeutische

Schema  
des automatisierten Leitungssystems  
eines Krankenhauses

- 1 Elektronische Rechenanlage
- 2 Informationszentrum  
(Dringliche Information)
- 3 Elektronisches Archiv
- 4 Servoinformationssysteme  
(Diagnose, Befinden, Empfehlungen)
- 5 Modellierungssystem – Kleinrechner  
(Diagnose, Prognose, Therapie)
- 6 Information über die Patienten  
(Diagnose, Prognose, Therapie)
- 7 Aufnahmeabteilung für Patienten  
(Diagnose)

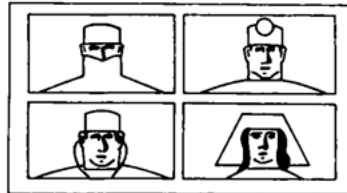


9

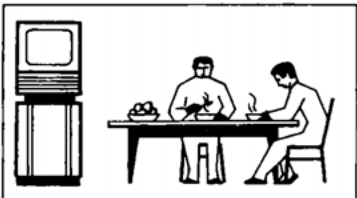
- 8 Fachkliniken  
(Diagnose, Prognose, Therapie)
- 9 Diagnostikabteilungen  
(Instrumentelle und apparative Diagnostik)
- 10 Apotheke  
(Informationen über Medikamente)
- 11 Diätverordnung  
(Speiseraum, Diät kost)
- 12 Rehabilitationsabteilung  
(Biotelemetrische Daten)
- 13 Chefarzt, wissenschaftlicher Rat des automatisierten Leitungssystems des Krankenhauses, Verwaltung
- 14 Krankenzimmer mit Intensivüberwachung



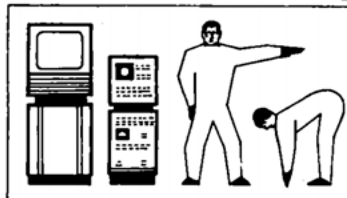
10



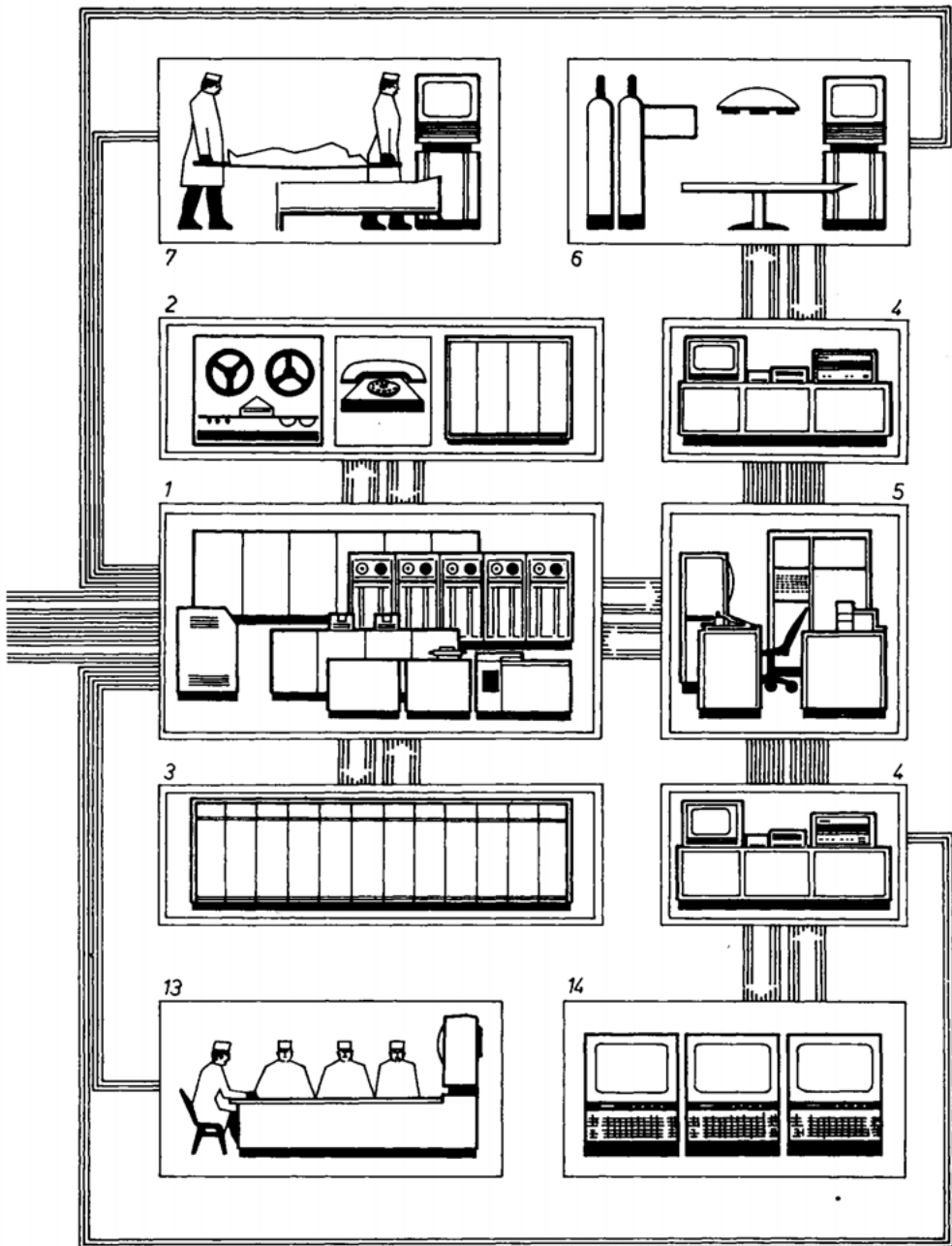
8



11



12



Prozesse ermöglichen: *Informationsrecherchesysteme* (IRS) und *Steuerungssysteme*.

Die Funktion des IRS besteht in der Erfassung, Speicherung und bei Anfrage in der Ausgabe von Information über den Patienten, über den Behandlungsablauf oder über prophylaktische Maßnahmen. Die Informationsverarbeitung erfolgt nach bestimmten Regeln (*Algorithmen*). Nach Analyse der Information werden Gutachten, Diagnosen, Prognosen und Empfehlungen unterschiedlicher Art ausgegeben, die vom Arzt oder Steuerungssystem genutzt werden. Die Steuerungssysteme erzeugen mit Hilfe der *Rückkopplung* Regelwirkungen auf die Steuerungsobjekte. Der Behandlungsprozeß wird durch ein Steuerungssystem gewährleistet, an dem der Arzt auf jeden Fall beteiligt ist. Für das Tierexperiment sind dagegen bereits medizinische Steuerungssysteme erarbeitet worden, die ohne Beteiligung des Arztes funktionieren. Systeme zur Informationserfassung und -verarbeitung für die Leitung medizinischer Einrichtungen wie Krankenhäuser, Polikliniken, Krankenhausvereinigungen, therapeutische Ausbildungskomplexe usw. teilt man ein in IRS des Anfragetyps (Kadererfassung, Apothekenwesen, IRS für Wirtschaftsabteilungen), IRS mit Informationsverarbeitungsfunktion (statistische Rechnungsführung und Rechnungslegung, Planung der Tätigkeit medizinischer Einrichtungen, Finanzierung) und automatisierte Leitungssysteme für medizinische Einrichtungen oder Gruppen von Einrichtungen.

Das *automatisierte Leitungssystem* für medizinische Einrichtungen enthält IRS beider Typen. Es arbeitet in engem Kontakt mit den Informationssystemen, die innerhalb der Krankenhäuser bestehen und die prophylaktischen und therapeutischen Prozesse ermöglichen, und schöpft daraus die notwendige Information. Dadurch wird ein operativer Charakter in der Leitung erreicht. Die Leitung des Gesundheitswesens in der UdSSR soll durch ein Netz von Informations- und Rechenzentren gewährleistet werden. Die untersten Zentren darin sind die automatisierten Leitungssysteme für medizinische Einrichtungen, die obersten die regionalen Informations- und Rechenzentren der Unionsrepubliken sowie das Informations- und Rechenzentrum der gesamten UdSSR. Über Nachrichtenübertragungskanäle kann die Information aus den medizinischen Einrichtungen unmittelbar in das Informations- und Rechenzentrum der UdSSR gelangen, wobei die Zentren der Unionsrepubliken übergangen werden. Dies ermöglicht eine flexible und operative Leitung (s. Abb.).

Bei der Entwicklung von m. I. für die Therapie kann man von folgenden Prinzipien ausgehen: 1. Bei der Systementwicklung müssen das Endziel des zu entwickelnden Systems und die gesamte Aufgabenfolge zur Realisierung des Systems klar formuliert werden. 2. Für die Entwicklung von m. I.

müssen unifizierte Informationsträger wie *standardisierte Krankengeschichten* (SKG), Epikrisen usw. verwendet werden. Medizinische Fragebögen sollen nur von hochqualifizierten Fachleuten ausgearbeitet werden, die auf diesem Gebiet der Medizin arbeiten. 3. Der Umfang der Informationen, die man in die SKG aufnehmen kann, hängt direkt vom Informationsumfang ab, der im *Informationsmassiv* des Systems enthalten ist. 4. Die Information, die in das m. I. eingegeben wird, muß objektiv sein (möglichst wenig von der „Qualifikation und der Verfassung“ der Operateure des Systems abhängen). 5. Je größer Informationsmassiv und Informationsumfang sind, desto mehr Zeit wird für die Informationsverarbeitung benötigt. Das m. I. für die Behandlung von Erkrankungen wird von Medizinern und Systemtechnikern erarbeitet.

Das m. I. gehört zur Klasse der kybernetischen *Mensch-Maschine-Systeme*, in denen die Aufgabenteilung zwischen Bedienungspersonal (Ärzte, Ingenieure, Techniker u. a.) und Anlagen (Rechner, medizinische Spezialapparatur u. a.) vom Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad der Aufnahme, Speicherung, Verarbeitung und Ausgabe der medizinischen Information abhängt. Die Mediziner erarbeiten für das m. I. Verzeichnisse von Behandlungsmethoden, klinischen Diagnosen, Untersuchungsmethoden und von Merkmalen, die die Organfunktionen charakterisieren sowie SKG; sie entwickeln Modelle von pathophysiologischen Zuständen verschiedener Organe und von den *regulierenden Systemen des Organismus*. Die Verzeichnisse und SKG sollen keine einfache Wiederholung bereits vorhandener Belege darstellen, sondern als Grundlage für die Lösung medizinischer Probleme dienen. Dazu gehören die Frühdiagnose schwerer Erkrankungen; die Prognose des Krankheitsverlaufs in Abhängigkeit von der Behandlung, von der ausgeübten Tätigkeit und von den Erbfaktoren; die Auswahl der optimalen Untersuchungsart und der optimalen Methode zur Behandlung des Patienten. Die SKG und Verzeichnisse sind sowohl für die Ärzte als auch für die EDVA einheitlich. Der Arzt führt in der Regel eine Befragung des Patienten durch, stellt die SKG auf, gibt Zusatzinformation, die die Maschine zur Präzisierung der Diagnose, Prognose oder zur Auswahl von Behandlungsmethoden bei der erstmaligen oder wiederholten Untersuchung des Patienten benötigt; analysiert die von der Maschine erhaltene Information über den Patienten, die er entweder verändern oder ergänzen kann; führt auf der Grundlage dieser Information die Behandlung durch und koordiniert sie. Der Arzt übernimmt innerhalb des m. I. die Leitung. Die Entscheidung über die Behandlung fällt allein er oder ein Ärztekonsilium. Der Informationsverarbeitungsspezialist erarbeitet gemeinsam mit dem Arzt eine medizinische *Programmiersprache*; entwickelt Programme zur optimalen Verteilung der Informationsmassive im Speicher der EDVA; stellt Programme

zur mathematischen Bearbeitung der medizinischen Eingabeinformation auf. Der Mathematiker algorithmisiert die Verfahren zur Ermittlung der optimalen Art der Erfassung von Information über den Kranken, den medizinischen Diagnoseprozeß und die Behandlung; erarbeitet Verfahren zur Erhöhung der Zuverlässigkeit des Informationssystems; stellt Programme zur Berichtsanalyse der Arbeit des Systems und Programme zur Berechnung und Buchführung der Finanz- und Materialversorgung auf. Das ingenieurtechnische Personal sichert eine exakte, störungsfreie Arbeit der technischen Teile des Systems.

Man teilt in m. I. den Lösungsprozeß bestimmter Probleme in folgende Etappen ein:

**Informationsaufnahme:** Eine der Voraussetzungen für die effektive Arbeit des m. I. ist die Möglichkeit der operativen Speicherung und Ausgabe der medizinischen Information in einer für den Arzt oder den Leiter gewohnten Form. Da die existierenden EDVA für die Lösung von Aufgaben, die in der Fachsprache der Mediziner formuliert sind, nicht anwendbar sind, ergibt sich das Problem der Entwicklung einer medizinischen Programmiersprache. Die Übersetzung aus der natürlichen Sprache in die Sprache einer konkreten EDVA erfordert den Einsatz einer Reihe von Sprachumsetzern, deren Niveau durch den Formalisierungsgrad bestimmt wird. In der Gegenwart sind bereits einige *algorithmische Sprachen* zur Lösung logischer Informationsprobleme erarbeitet worden. Eine andere Möglichkeit zur Erreichung einer wirksamen Kommunikation zwischen Arzt und EDVA ist die Erarbeitung einheitlicher SKG oder Fragebögen zur Aufzeichnung der Befunde für alle Behandlungseinrichtungen eines bestimmten m. I.

**Informationsspeicherung:** Die medizinische Information wird in einem Informationsmassiv auf externen Speichern wie Magnetbändern, -trommeln und -platten abgespeichert. Für neu eingegangene Information wird ein Identifikator festgelegt, der z. B. für die SKG aus einer Nummer und dem Aufzeichnungsjahr besteht. Die Struktur des Informationsmassivs ergibt sich aus der Form der maschinellen Darstellung der medizinischen Eingangsdaten und ist für die verschiedenen Kliniken und Einrichtungen unterschiedlich.

**Informationsverarbeitung:** Die in den Speicher der EDVA gelangte medizinische Eingangsinformation wird zuerst von Hilfssymbolen befreit. Ferner werden einige Arten von Fehlern in ihr beseitigt. Die nächste Operation ist das Ordnen der Information nach Adressen mit dem Ziel, die Größenordnung (z. B. der Symptome und deren Werte) abzugrenzen. Die weitere Verarbeitung der Information erfolgt in Abhängigkeit vom Typ der zu lösenden Aufgaben in mehreren Etappen. In der ersten Etappe (Belehrung) wird die medizinische Information statistisch bearbeitet, um ein (statistisches)

*mathematisches Modell* der zu untersuchenden Prozesse und Erscheinungen zu erhalten. In der zweiten Etappe (Prüfung) werden an Hand der neu eingelaufenen medizinischen Eingangsdaten die Hauptaufgaben des m. I. gelöst: die Diagnose wird gestellt (s. *Automatisierung der medizinischen Diagnostik*); die optimale Reihenfolge der Untersuchung des Patienten bei automatischer Benachrichtigung der entsprechenden speziellen medizinischen Dienste eines bestimmten m. I. wird ermittelt. Außerdem wird der Verlauf der Erkrankung in Abhängigkeit von der Behandlung prognostiziert; es werden Behandlungsmethoden und Arzneimittel ausgewählt; es wird die Größe des Risikos bei der Anwendung einer konkreten Behandlungsart oder Operation bestimmt; es werden Erkundigungen unterschiedlicher Art über den Patienten eingeholt; es finden Konsultationen zwischen Arzt und EDVA statt usw.

**Informationsausgabe:** Bei der Ausgabe der Information entstehen Probleme, die einerseits analog den Eingabeproblemen und andererseits spezifisch für diese Etappe sind. Die rechtzeitige effektive Ausnutzung der verarbeiteten Information hängt von den Möglichkeiten der Ausgabegeräte der EDVA ab. Diese Geräte dienen entweder dem schnellen und anschaulichen Ausdrucken der entsprechenden Ergebnisse oder dem Anschluß an andere Systeme über Nachrichtenübertragungskanäle. Es werden Geräte entwickelt, bei denen das Ausgangssignal in der Sprache des Menschen dargestellt wird (die Sprache des Menschen wird aus Schallsignalen synthetisiert).

In vielen Ländern wird an der Entwicklung von m. I. unterschiedlichen Charakters gearbeitet. In den USA ist ein bibliographisches System für medizinische Literatur entwickelt und eingesetzt worden. In Frankreich, Schweden und Dänemark sind Informationserfassungssysteme für die Leitung bestimmter Abteilungen von Spezialkliniken erarbeitet worden. In den USA, in Schweden und Großbritannien werden „Medizinische Datenbanken“ erarbeitet und entwickelt. In der UdSSR entwickelt man automatisierte Informationserfassungs- und -verarbeitungssysteme für die Behandlung und für die Einrichtungen des Gesundheitswesens. 1970 ist in Moskau das Hauptrechenzentrum des Ministeriums für Gesundheitswesen der UdSSR geschaffen worden, das Zentrum eines verzweigten Netzes von medizinischen Informationszentren im regionalen und Republikmaßstab. Diese Zentren dienen der unmittelbaren Erfassung der Information aus den automatisierten Leitungssystemen der Krankenhäuser und Krankenhausvereinigungen. Prototypen für solche Systeme sind im Institut für Kybernetik der AdW der Ukrainischen SSR entwickelt worden. Im Chirurgischen Institut „A. W. Wischnewski“ und im Institut für Tuberkulose und Brustchirurgie des Ministeriums für Gesundheitswesen der Ukrainischen SSR in Kiew arbeiten Diagnosesysteme für erworbene und angeborene Herzfehler. In Minsk, Leningrad und Nowosibirsk sind psychoneurologische Diagnosesysteme