

2. Gruppensitzungen · Séances des groupes

b) Datenverarbeitung als Hilfsmittel der Wirtschaftspraxis

Le traitement de l'information au service de l'économie pratique

LEITUNG: P. BANDERET

Computereinsatz und Operations Research

Von C. A. Zehnder, Zürich

1. Das Bedürfnis nach Modellen und Entscheidungshilfen

1.1 Grosse Systeme (Häufung von Einzelfällen)

Das Operations Research umfasst insbesondere quantitative Methoden zur Behandlung von Entscheidungssituationen (Risikosituationen). Entscheidungen sind schon immer getroffen worden. Daher soll hier die Frage untersucht werden, in welchen Fällen der Einsatz spezieller Entscheidungshilfen wünschbar und möglich ist.

Die industrielle Grössenordnung bei der Herstellung und Lagerung von Konsumgütern gibt hier einen ersten Anhaltspunkt. Es handelt sich dabei um eine grosse Zahl von Einzelheiten, Artikeln usw., deren Summe beträchtliches wirtschaftliches oder anderes Gewicht hat. Ein weiteres Kennzeichen dieser Art von Problemen ist die Systematik bei der Bearbeitung der vielen Einzelfälle. Lässt sich die Behandlung nicht zum vorneherein nach einheitlichen Gesichtspunkten organisieren, so ist gerade diese Systematisierung ein Studienobjekt. Wir können somit von der Modellbildung sprechen, wobei darunter die Standard-Bearbeitung zusammen mit der daran analysierten und demonstrierten Normalentscheidung – etwa im Falle von Lagerhaltungsproblemen – verstanden wird. Das Ziel einer derartigen Untersuchung ist oft doppelt: Einerseits sollen direkte Verbesserungen erzielt (oder Fehlentscheide verhindert) werden, andererseits wird durch die Standardisierung der Einsatz nur angelernter Kräfte für die Behandlung aller Normalfälle möglich.

1.2 Grosse Risiken (*Einzelprobleme, oft ohne Erfahrungswerte*)

Von der Fragestellung her gänzlich anderer Art sind die Problemsituationen, bei denen einzelne oder wenige Entscheide mit allerdings sehr grossen Implikationen zu treffen sind. Hier geht es nicht um das «Standardmodell», sondern um das «Versuchsmodell», an welchem die möglichen Konsequenzen durchexerziert werden sollen. Dies ist auch die klassische Spielsituation; es ist nicht verwunderlich, dass diese Fragestellung sehr früh von militärischer Seite erkannt und für die Vorbereitung des Ernstfalles beigezogen wurde. In diesem Sinne werden heute besonders auch Simulationsmodelle entworfen und benützt, da ein Durchspielen von Varianten in der Wirklichkeit (z. B. in Verkehrsnetzen, bei Entwicklungsprojekten, für Katastrophensituationen) völlig undiskutabel ist.

Diese Modellbildung gestattet also das Sammeln von Erfahrung mit Problemen, die man in Wirklichkeit einmal oder – wie im Militär oder bei Katastrophen – hoffentlich nie lösen muss. In all diesen Fällen kann kein langfristiges Einpendeln auf eine gute Lösung (durch sukzessive Verbesserung) erwartet werden. Die Analyse muss am Modell erfolgen, die reale Lösung muss auf Anhieb gelingen.

1.3 Die Überraschungssituation

Soeben haben wir das Problem grossen Risikos betrachtet; ein besonders erwähnenswerter Fall ist dabei die Überraschungssituation. Es kann nie gelingen, alle möglichen Fälle der Wirklichkeit vorzuüben. Nochmals sei auf die Katastrophensituation verwiesen. Und gerade hier ist die Gefahr des unüberlegten Handelns gross. Nur wenige Menschen sind solchen Situationen auf entscheidender Ebene zum voraus gewachsen. Das Modell kann hier wiederum dem Training dienen, dazu aber auch dem Erzeugen von Minimallösungen, welche sofort wenigstens ein verantwortbares Grundsystem für das Weiterfunktionieren gewährleisten. Dieses System kann dann sukzessive verbessert werden. Der Begriff des «Krisenmanagement» ist Teil derartiger Überlegungen.

2. Die Datenbereitstellung

2.1 Datenbank und Informationssysteme

Jede Führungstätigkeit – und davon haben wir doch soeben gesprochen – braucht Informationen über das von ihr betreute System. Das ist altbekannt, und so werden auch schon lange Daten aller Art überall gesammelt und auf Zahlenfriedhöfen abgelagert. Diese spitze Formulierung soll illustrieren, dass

sehr viele *tote* Zahlen behandelt werden; es werden nämlich jene Daten am liebsten und häufigsten erfasst, welche sich gut erfassen lassen. Was wir jedoch brauchen, sind lebendige, interessante Informationen, welche aber unter Umständen mühsam zu beschaffen sind. Daher ist eine wesentliche Aufgabe der *Planung* gerade jene der *Datenbeschaffung* selber. Die zweite Phase betrifft anschliessend die Aufbereitung dieser Daten zu wesentlichen Informationen für die Entscheidungsgremien: Die Daten müssen verdichtet und auf das Wesentliche und die Ausnahmefälle reduziert werden. Grosse Datenmengen und deren Betreuung in Datenbanken einerseits, ausgewählte Informationen andererseits sind nicht ein Widerspruch, sondern konsequente Folge der heutigen Datenflut. Hier sei ein erstes Mal auf die dem *Menschen* angemessene Informationsmenge hingewiesen.

2.2 Computereinsatz für Datenbanken

Maschinelle – heute konventionell genannte – Mittel zur Bearbeitung der Informationsflut sind seit Jahrzehnten bekannt. Soweit daraus allerdings nur eine Vervielfachung der Listen und Tabellen entstehen konnte, wurde dem Informationsproblem kaum grundsätzlich zu Leibe gerückt. Diese erste Stufe der Datenverarbeitung – eine Stufe des Buchhaltungs- und Rechnungswesens – brachte zwar mehr und schnellere Daten (billiger wurden sie kaum), aber die grundsätzliche Verdichtung blieb aus. Noch stehen aber die meisten Computeranwendungen gerade in unserem Land auf dieser Stufe.

Die Informationssysteme werden an dieser Tagung durch andere Referenten behandelt. Hier sei daher nur kurz beigefügt: In den nächsten Jahren ist ein sehr grosser intellektueller Aufwand notwendig, um die EDV-Maschinen zur wirklichen Unterstützung des auf Informationen angewiesenen Menschen heranzuziehen. Diese Datenaufbereitungsprogramme benötigen Problem-Analysen, welche vorausschauend ganze Denkbereiche konsequent erfassen und strukturieren. Diese Vorarbeiten für den Computereinsatz dürften allerdings auch für das Denken allgemein gute Auswirkungen haben. Vielleicht ist das Computerprogramm dannzumal bloss ein Nebenprodukt.

3. Die Rechentechniken

3.1 Optimierungsverfahren

Die Entwicklung quantitativer Methoden für die Führung und Planung ist aber nicht nur über die eigentlichen Datenverarbeitungsaufgaben mit dem

Computer verknüpft. Die Modellbildung hat schon früh auf mathematisch-abstrakte Darstellungen einer physikalischen oder eben auch wirtschaftlichen Wirklichkeit geführt. Im deterministischen Weltbild glaubte man an die Berechenbarkeit (und Beschreibbarkeit) aller Wirklichkeit; natürlich musste man sich für die effektive Berechnung auf kleine Beispiele beschränken. Diese mathematischen Modelle waren Systeme von Gleichungen bzw. Differentialgleichungen, wodurch Zustände und Funktionen beschrieben wurden.

Wenn wir nun die neuere Entwicklung und die Überwindung dieser Situation allein auf der wirtschaftlich-ökonomischen Seite betrachten, so deshalb, weil hier interessante repräsentative Arbeiten entstanden sind, aber auch weil uns hier das Operations Research besonders beschäftigen soll. Als Exempel der Entwicklung diene das mathematische Optimierungsproblem. Hier geht es um die Behandlung eines Systems von – meist sogar linearen – *Ungleichungen*. Schon Gauss lieferte ein leistungsfähiges Verfahren für die Auflösung eines Systems linearer *Gleichungen*, geometrisch die Schnittpunktbestimmung von n Ebenen im n -dimensionalen Raum. Da lineare Ungleichungen nicht Ebenen, sondern zulässige Halbräume beschreiben, bildet nun ein System von Ungleichungen ein (zulässiges) Polyeder im Raum. Im weiteren wird im Polyeder eine extreme Ecke, z. B. die höchste (ein durch die Polyederflächen beschränktes Maximum, ein Optimum), gesucht. Übertragen auf die wirtschaftliche Wirklichkeit, ist offensichtlich, dass die Ungleichung, die Restriktion, die Verfügbarkeitsgrenze viel eher dem Leben entspricht als die exakte Gleichung. Dennoch ist erst seit 1947 vor allem auf Grund der Arbeiten zum Simplex-Verfahren von Dantzig eine angemessene Lösungsmethode von Ungleichungssystemen vorhanden. Waren die Mathematiker dazu früher nicht fähig? Diese Frage missachtet zwei Tatsachen: Die Aussenseiterrolle der Ungleichungen in der früheren Praxis und die Aussichtslosigkeit, grössere Ungleichungssysteme von Hand überhaupt bearbeiten zu können. Erst in der frühen Entwicklungszeit der *Rechenautomaten* wurde auch diese Problemstellung wieder aktuell, und die Entwicklung der mathematischen Optimierung in den vergangenen zweieinhalb Jahrzehnten lief – nicht rein zufällig – parallel zu jener des Computers.

Die Entwicklung von Rechenverfahren, von *Algorithmen*, ist nun aber die Voraussetzung der automatischen Berechnung grosser Probleme und Systeme. Und damit ist bereits die nächste Fragestellung vorbereitet: Wie grosser Systeme? Bringt der Rechenautomat die Überwindung aller Schranken?

Wir alle wissen, dass die Entwicklung der Computer-Hardware vom galoppierenden Fortschritt der fünfziger Jahre längst auf eine gemächliche Gangart zurückgefallen ist. Die heutige Schwergewichtsentwicklung liegt auf der Organisation und der Software. Es ist daher angebracht, von technischen

Grenzen der Rechenmöglichkeiten zu sprechen, auch wenn selbstverständlich hier laufend Verbesserungen gemacht werden und sich die Feststellungen exakt nur auf einen bestimmten Zeitpunkt beziehen können. Was ist also heute möglich? Klassische lineare Optimierungsprobleme mit einigen tausend Variablen und einer ähnlichen Zahl Restriktionen sind (allerdings mit viel teurer Rechenzeit) lösbar. Schränkt man die zugelassene Struktur der Matrix ein, im speziellen gar auf die Form des sogenannten Transportproblems, so sind Spezial-Algorithmen bekannt, mit denen Sonderfälle bis zu mehreren Millionen Variablen und Zehntausenden von Restriktionen gelöst wurden. Werden dagegen die Einschränkungen gelockert und Nichtlinearitäten auch nur in beschränktem Ausmass zugelassen (quadratische, konvexe, separable Optimierung), so gehen die Grenzen des Möglichen sofort auf wenige hundert Variable zurück. Und wird gar die Konvexität des Lösungsraums (im linearen Fall: des Polyeders) aufgegeben, so werden die guten Methoden rar. Ein Sonderfall der nichtkonvexen Probleme ist die ganzzahlige Optimierungsaufgabe. Gerade hier stossen die Algorithmen an verschiedenartigste Grenzen. Die Adaption des Simplex-Verfahrens nach Gomory wie auch die kombinatorischen Lösungswege – Branch-and-Bound und ähnliche –, sie alle stossen bei 100, ja oft schon bei 30 Variablen an Grenzen, deren Überschreiten zwar nicht theoretisch unmöglich, aber im praktischen Computereinsatz unsinnig wird.

Somit stellen wir heute fest, dass der Computer zwar zur Entwicklung kräftiger Algorithmen erst die Grundlage geliefert hat, dass aber auch der Computer selber wieder eine obere Limite des Möglichen markiert. Diese Grenze wird immer wieder hinausgeschoben werden. Für den Benützer hier und heute ist sie aber dennoch da und nicht zu übersehen. Der Computer hat daher nicht einfach Grenzen gesprengt; er hat zwar neue Gebiete erschlossen, aber mit ihnen neue Begrenzungen. Wir werden uns daher fragen müssen, was wir mit diesem Zwischenbereich anzufangen wissen.

3.2 *Simulationsmethoden*

Vor dieser Grundfrage sei aber noch ein anderes OR-Gebiet erwähnt, wo die Rechenautomaten zunehmend Einfluss gewinnen, die Simulationstechnik. Nicht immer gelingt es, ein Problem im weitesten Sinn so abzugrenzen, dass es durch Ungleichungen absteckt, das angestrebte Ziel als Funktion der Variablen dargestellt und das Ganze einem Optimierungsalgorithmus unterworfen werden kann. Nicht nur die *Grösse* des Problems kann dies verunmöglichen, oft ist auch die Art der Verflechtung, der *Komplexität*, nicht auf einfache mathematische Strukturen reduzierbar. Oft behilft man sich dann mit der Simulation. Insbesondere Zufallsprozesse werden gerne mit Hilfe der

sog. Monte-Carlo-Simulation untersucht. Wie wir schon oben gesehen haben, ist aber hierbei die Modellbildung das Primäre und oft für die Praxis sogar das Bedeutendste. Die Durchsimulation vieler Zufallsprozesse selber ist hingegen keineswegs der gesuchte problemlose Weg zum quantifizierten Ergebnis kompliziertester Fragestellungen, da eine Verdoppelung der Genauigkeit der (statistischen) Ergebnisse oft mit einer Vervierfachung des Arbeitsaufwandes verbunden ist. Und wiederum sind wir an neuen Grenzen des vernünftigen Computereinsatzes angelangt. Es ist also einfach nicht wahr, wenn der Beizug des Computers überall mit verzugsloser Lösung der Probleme gleichgesetzt wird, auch wenn sogar schon Computerprogramme existieren sollten!

Nach dieser sehr vorsichtigen Stellungnahme zu den wichtigen, aber leider oft allzu sorglos angewandten Simulationsmethoden im allgemeinen sei aber beigelegt, dass die Simulation manueller Planungsverfahren nach einer sorgfältigen Problemanalyse schon oft recht gute Approximationen bei grossen Dispositionsproblemen geliefert hat. Dieses Heuristik genannte Spezialgebiet der künstlichen Intelligenz dient heute dort, wo die ganzzahlige Optimierung nicht durchkommt, der praktischen Lösung grosser Planungsprobleme. Und die Lösungen sind um so besser, je problemangepasster das Vorgehen ist. Hier sind aber – im Gegensatz zur mathematischen Optimierung – nicht einfach Standardverfahren verfügbar. Simulation ist somit noch durchwegs mit grossem intellektuellem Sonderaufwand verbunden.

3.3 *Der Computer als Rechenautomat*

Nach dieser Skizzierung wichtiger (längst nicht aller) Rechengebiete im Operations Research stellt sich erneut die Frage nach der Bedeutung des Computereinsatzes. Wir müssen hier nicht den Unsinn vom Elektronengehirn wiederholen. Aber wir sehen, dass die neuen Rechenverfahren durch den Computer in eine Dimension weitergetrieben wurden, die dem Menschen vorher verschlossen war. Wir dürfen daher Rechenergebnisse erwarten, die uns neue Erkenntnisse vermitteln, die also die Rechenleistung wert sind. Wir brauchen aber auf der andern Seite in weitaus stärkerem Masse Menschen, welche intellektuell imstande sind, die *Rechenprozesse* mit ihren Implikationen zu verstehen, ja zu entwerfen, und welche die berechneten Ergebnisse im Hinblick auf diese Rechenprozesse zu interpretieren fähig sind. Wenn wir vorher von der neuen Landschaft zwischen den alten und den neuen Grenzen der Berechenbarkeit gesprochen haben, müssen wir diese Landnahme mit einem Domestizierungsprozess vergleichen. Es ist gut, dass der Computer wieder – neue – Grenzen setzt. Das macht diese Verständniserweiterung des Menschen eher verdaubar. Weit sind wir auf diesem Weg aber leider noch nicht gekommen.

4. Wechselwirkungen OR-Computer

4.1 *EDV lockert den Boden für OR*

Die einfachen EDV-Applikationen in Administration und Betrieb sind heute anerkannt und auch relativ problemlos. Daher ist der EDV-Organisator heute vielerorts eine vertraute Erscheinung. Wenn er die dazu notwendige Operations-Research-Vorbildung oder doch Ansätze dazu mitbringt, ist er aber oft imstande, in einem Betrieb Einsatzmöglichkeiten für quantitative Planungsmethoden aufzudecken und – mit oder ohne Computer – diese Art der Mathematik dort einzuführen, wo vorher nur kaufmännisches Rechnen geübt wurde. Wir müssen offen sehen, dass der reine «Operations-Research-Spezialist» bei der durchschnittlichen Schweizer Firma oder Verwaltung nicht gefragt ist, ja sogar Ablehnung findet. Daher weichen viele OR-Leute heute auf EDV aus; im besten Fall gelingt es ihnen, auf dem oben skizzierten Weg wieder ins OR zurückzukehren. Es ist der pragmatische Weg, der den grossen Vorteil hat, dass solche Leute dem OR den Vorwurf des Allzuthoretischen ersparen. Die EDV bearbeitet die praktischen Probleme der grossen Menge, wie wir es z. B. bei Lagerbewirtschaftungen schon gesehen haben. Da ist der Schritt zum OR nicht allzu schwierig.

4.2 *OR bringt Planungsmethoden in die EDV*

Die erste Phase des EDV-Einsatzes begnügte sich fast überall – noch einmal sei dies betont – mit dem Erstellen von Listen und Abrechnungen. Die nächste Stufe muss aus den im Computer vorhandenen Daten in jedem Sinn besseren und umfassenderen Gebrauch machen. Das haben auch die Computerfirmen gemerkt; sie bieten schon heute ganze Pakete entsprechender Rechenprogramme weitgehend mit OR-Methoden an. Das Verständnis für diese Verfahren setzt aber einige Kenntnisse der Planungsmathematik, eben des OR, voraus. Es ist daher zu erwarten, dass zusammen mit der Entwicklung der EDV ein besseres Verständnis der Planungsprozesse einhergehen wird, und wenn es bloss aus Konkurrenzgründen ist!

4.3 *Das Ausbildungsproblem*

Auch dieser letzte Abschnitt schliesst daher mit der Forderung nach besserem Verständnis für die benützten Methoden und Maschinen sowie für deren Zusammenspiel. Äusserliche Annäherungen der Technik an den Menschen sehen wir z. B. bei den zunehmenden optischen Computergeräten, die innere Annäherung geschieht jedoch im Menschen, der die geistige Beherrschung

grösserer Systeme sich aneignen muss. Das können nur gutausgebildete und über das eigene EDV- oder OR-Gebiet hinausblickende Leute.

Ist schon die OR-Ausbildung selber wie auch die Einführung in die Tätigkeit eines EDV-Organisators oder -Analytikers eine typische «Nachdiplom»-Sache, so gilt dies im besonderen für die Zweitausbildung. Weiterbildungsmöglichkeiten in Berufsverbänden, Hochschulen, Computer- und einzelnen Beratungsfirmen sind dazu sicher vorhanden, doch ist der heutige übliche Stand der Kenntnisse noch überaus ungenügend. Ich will den verschiedenen Gründen dafür hier jedoch nicht nachgehen.

OR und Computer sind eigenständige Disziplinen, sie können auch allein durchaus positive Ergebnisse zeitigen. Unsere Aufgabe ist aber doch wohl die Integration der beidseitigen Möglichkeiten. Es ist eine faszinierende Aufgabe, da sie die Erkenntnisfähigkeit erweitert und dadurch wieder auf die Probe stellt. Es ist zu hoffen, dass in den kommenden Jahren möglichst viele Menschen einen Schritt zur geistigen Bewältigung der technischen Möglichkeiten tun werden.