

EINIGE PROBLEME DER AUTOMATION IN DER KARTOGRAPHIE

Von Hans-Jörg Gottschalk, Frankfurt am Main

Einleitung

Ziel der Automation in der Kartographie ist es, die Herstellung von Landkarten und ihre Fortführung zu beschleunigen und die gespeicherten Daten vielseitiger verwendbar zu machen als das bisher der Fall ist. Dieser Vortrag will neben dem Überblick über den Stand der Automation in der Kartographie auch Auskunft geben über numerische Probleme der Automation, deren Lösungen kleine Schritte auf dem Weg zur vollständigen automatischen Bearbeitung von Landkarten sind.

1. Datenverarbeitungsmaschinen

Voraussetzung für die Einführung der Automation in die Kartographie waren die Entwicklung und Herrichtung geeigneter Maschinen zur graphischen Datenverarbeitung. Im Laufe der Zeit haben sich folgende Geräte als zweckmäßig erwiesen:

1.1 Digitalisiergeräte (Digitizer)

Digitizer dienen zur Digitalisierung von graphischen Vorlagen und bringen die graphische Information in eine Form, die es ermöglicht, sie in Digitalrechnern zu verarbeiten. Das Ergebnis der Digitalisierung sind Folgen von Koordinaten. Die Ausgabe der Koordinaten erfolgt auf Magnetband oder einem der anderen bekannten Datenträger. Das Digitalisieren mit solchen Geräten ist eine zeitraubende manuelle und fehleranfällige Arbeit.

Es hat deshalb nicht an Versuchen gefehlt, diesen Eingangsschritt zur Automation der Kartographie selbst zu automatisieren. Die ersten Lösungen waren Geräte, die der zu digitalisierenden Linie optisch-mechanisch folgten.

Andere Geräte, wie Scanner, zerlegen das Bild etwa nach dem Beispiel der Fernsehkamera in einzelne Bildelemente, die dann nachher wieder durch sogenannte Linearisierung in einzeln adressierbare Linien verwandelt werden müssen. An der Lösung dieses Linearisierungsproblems wird an vielen Stellen der Welt mit mehr oder weniger Erfolg gearbeitet.

Auf der Internationalen Konferenz über Automation in der Kartographie in Reston, U.S.A. Dez. 1974 war man allgemein so zuversichtlich, die Probleme der automatischen Digitalisierung in den nächsten 5 Jahren lösen zu können.

1.2 Bildschirm

Zur Kontrolle der automatisch durchgeführten kartographischen Arbeiten hat sich überall der Bildschirm durchgesetzt.

1.3 Zeichengeräte

Die heute auf dem Markt befindlichen Zeichengeräte liefern sowohl Lichtzeichnungen als auch Schichtgravuren, die kartographischen Ansprüchen durchaus standhalten.

Nach dem Rasterprinzip arbeiten die sogenannten Rasterplotter, die weit schneller sind als die linearen Zeichengeräte und eine weitere Beschleunigung der Kartenherstellung versprechen, vorausgesetzt, die Softwareprobleme der Datenerzeugung werden gelöst. Diese Probleme liegen in der zu bewältigenden Datenmenge begründet, wie man leicht erkennt, wenn man weiß, daß die adressierbaren Rasterpunkte einen Abstand von weniger als 0,025 mm haben müssen, wenn die Ansprüche der Kartographen an die Zeichnung befriedigt werden sollen.

1.4 Rechner

Die Rechner, die bis heute in der Kartographie verwendet werden, unterscheiden sich wenig von den anderswo in der Datenverarbeitung benutzten. Die meisten kartographischen Systeme enthalten Prozeßrechner von der Art der DEC-PDP11 Rechner, die mehr oder minder aufwendig mit Platten, Magnetbändern, und anderer Peripherie sowie mit einem Kernspeicher ausgerüstet sind, der in der Größe (100 K 16 Bit-Worte) den zu bearbeitenden Problemen angemessen ist. Für Arbeiten im Raster kommt man mit den sequentiell arbeitenden Rechnern nicht sehr weit. Zur Aufbereitung der Daten für Rasterplotter wird man Parallelprozessoren wie den Staran von Goodyear verwenden.

2. Datenquellen

Als Datenquellen für die Automation kommen in der Hauptsache die Photogrammetrie in der Form von digitaler Stereokartierung (KRÖLL, 1975) oder digitalisierter Stereokartierung (vgl. T.H. KIHL, 1975) in Frage, ferner terrestrisch gemessene Daten, die schon erwähnten digitalisierten graphischen Vorlagen (Landkarten) und Listen, vgl. JOHANNSEN 1975 (Statistische Jahrbücher), die bei ihrer Verwendung in digitaler Form vorliegen sollen.

2.1 Datenaufbau

Die Daten müssen so bezeichnet sein, daß man weiß, was sie sind und wo sie sind und, für die spätere graphische Ausgabe, wie sie zu zeichnen sind. Das kartographische Objekt muß ein Kennzeichen haben. Das kartographische Objekt wird ein Punkt, eine gekrümmte Linie, ein Polygon oder eine Gerade sein. Alle diese Eigenschaften müssen aus dem Datenaufbau erkennbar sein, damit aus dem angelieferten Magnetband eine Landkarte hergestellt werden kann. Man muß daher einen Code haben für die Kennzeichnung des Objektes und einen Code für die geometrische Form der Linie, die die Koordinaten, die der Kennzeichnung folgen, zu verbinden hat. Der Code für die Objekte sollte möglichst eine Baumstruktur haben, damit man Gruppen von nur wenig differenzierten Objekten zusammen möglichst schnell finden kann.

Als Beispiel sei der Objektcode genannt, der zur Zeit von einer Arbeitsgruppe der AdV erarbeitet wird und alle Gegenstände aus den Musterblättern TK 25 bis TÜK 200 in 4-stelligen Ziffern erfaßt. Ein entsprechender Code wird auch bei der von der DFG angeschafften und beim IfaG aufgestellten Anlage verwendet.

Es bedeuten z.B.:

- 5000 Verkehrsfläche,
- 5100 Straße,
- 5110 mehrspurige Straße,
- 5111 Autobahn,
- 5112 Autostraße mit Mittelstreifen,
- 5113 Autostraße ohne Mittelstreifen.

Wenn vor der Koordinate der zugehörigen Koordinatenfolge die Ziffer Z steht, so bedeutet

- Z=1 Einzelpunkt oder Anfangspunkt einer Linie,
- Z=2 Verbindung des Punktes mit dem vorhergehenden durch eine Gerade,
- Z=3 Verbindung des Punktes mit dem vorhergehenden durch eine Parabel,
- Z=4 Verbindung des Punktes mit dem vorhergehenden durch einen Kreisbogen,
- Z=5 Zwischenpunkt ohne Wechsel der Interpolationsart, über den nicht hinweginterpoliert werden darf: (Unstetigkeitsstelle in der Tangentenrichtung).

3. Datenaufbereitung

Die Möglichkeit mancher Erzeuger von Daten, diese vollständig zu korrigieren, ist begrenzt, deshalb steht vor der Nutzung der Daten die Fehlersuche und

3.1 Fehlerbeseitigung

Es gibt unvermeidliche zufällige Fehler wie überall in der Geodäsie, systematische Fehler, die von Verfahren oder Geräten herkommen, und grobe Fehler, die man im Verkehr normalerweise als menschliches Versagen bezeichnet.

3.1.1 Zufällige Fehler

Zufällig sind zum Beispiel die Fehler, die daher kommen, daß der Operateur beim Nachfahren von Linien mit der bloßen Hand leicht zittert. Dieses Zittern ist auf gezeichneten Digitalisierungen deutlich zu sehen und wird von dem an glatte Linien gewöhnten Kartenbenutzer als eine Qualitätsminderung empfunden. Man kann dieses Zittern beseitigen, indem man die Meßmarke des Digitizers zu einem Stift ausbildet und den Operateur in einer Rille entlangfahren läßt. Hat man aber Daten mit der Zitterbewegung geliefert bekommen, so wird man sie vorher glätten. Das kann man durch Anwendung von ausgleichenden Kurven machen. Meist jedoch genügt ein übergreifendes arithmetisches Mittel, bei dem die Koordinaten eines Punktes durch das gewogene arithmetische Mittel der Koordinaten seiner Nachbarpunkte ersetzt werden.

3.1.2 Systematische Fehler

Systematische Fehler der ebenen Digitalisierungseinrichtung können sein:

- a) Unterschiedliche Maßstäbe in x- und y-Richtung,
- b) ein Winkel zwischen x- und y-Achse, der von 90° abweicht.

Diese Fehler können mit Hilfe von 4 Paßpunkten durch eine projektive Abbildung der Digitalisierung auf ein Soll-Punktviereck beseitigt werden:

$$x' = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{a_4x + a_5y + 1}$$

$$y' = \frac{a_6x + a_7y + a_8}{a_4x + a_5y + 1}, \text{ vgl. GOTTSCHALK 1972, JOHANNSEN 1975.}$$

3.1.3 Grobe Fehler

Grobe Fehler können nur dadurch beseitigt werden, daß man sie aufspürt und durch Editing oder mit Hilfe von redundanten Daten rechnerisch berichtigt.

Das kartographische System muß ebenso wie die in dieser Vortragsreihe schon beschriebene Systeme die Fähigkeit zur Datenmanipulation besitzen, mit der die Daten in der gewünschten Form verändert und korrigiert werden können.

4. Datenbank

Voraussetzung für die Handhabung, Manipulation oder Editing großer Mengen von Daten ist ein leistungsfähiges Datenbanksystem, das hauptsächlich einen schnellen Zugriff auf das gesuchte Objekt und gute Fortführbarkeit erlauben muß. Es gibt beinahe so viele Datenbanksysteme wie Anbieter von kartographischen und anderen Systemen zur Datenaufnahme. Allen ist gemeinsam, daß auf einer Ordnungsbasis Informationen gestapelt und wieder abgerufen werden können. Die Ordnungsbasis kann linear oder flächenhaft aufgebaut sein, oder es können auch beide Eigenschaften vermischt sein. Zwei der vorangegangenen Vorträge dieser Veranstaltung zeigten schon 2 verschiedene Datenbanken, die in Gebrauch sind.

4.1 Linear aufgebaute Datenbank

Ein Beispiel für eine strikt linear aufgebaute Datenbank ist die vom Statistischen Büro der U.S.A. verwendete Datenbank.

Die Abspeicherung der Census-Daten erfolgt aufgrund des digitalisierten Straßennetzes, das die Struktur eines Polygons hat. Diese polygonale Struktur besteht aus Knoten, d.h. Schnittpunkten von Linien, aus Segmenten, d.h. Linienelementen, und aus von Segmenten begrenzten Flächen. Die Verbindung zwischen den 3 Arten von Elementen besteht darin, daß die Knoten Segmente und die Segmente Flächen begrenzen. Damit ist diese Art graphische Struktur vollständig beschrieben. Im System enthält jede Segmentbeschreibung ein Segmentkennzeichen, die Begrenzungspunkte des Segmentes und die Fläche, die das Segment teilweise oder ganz begrenzt. Mit Hilfe dieser Beschreibung kann man die 3 oben genannten Grundtypen von Elementen, Knoten, Segmente und begrenzte Flächen miteinander verknüpfen. Dieses System eignet sich besonders für statistische Probleme wie Blockstatistiken. Es erlaubt nur den Zugriff auf einen Punkt (Knoten) innerhalb seiner unmittelbaren Umgebung; innerhalb des kleinsten Blocks (der kleinsten Fläche) sind alle Punkte gleichwertig. Ein Zugriff nach Koordinaten ist nicht ohne weiteres möglich und erfordert langwierige Suchaktionen durch die Menge aller Segmente hindurch, AANGEENBRUG 1975.

4.2 Flächenhaft aufgebaute Datenbank

Hier wird meist in einem regelmäßigen Quadratgitter die Information angeordnet, die man abspeichern und wiederfinden will. Gegenstände, die kleiner sind als die kleinste vorkommende Maschenweite des Gitters, können nur in der Lagegenauigkeit der Maschenweite des Gitters abgelegt und wiedergefunden werden. Ist das Gitter fein genug, um alle Einzelheiten des zu speichernden Gegenstandes zu erfassen, so ist der Zugriff einfach durch 2 Indices im Gitter. Ein feinmaschiges Gitter erfordert einen zu großen Speicheraufwand, da normalerweise z.B. für eine topographische Karte der Anteil der nicht besetzten Zellen größer sein wird als der der besetzten.

4.3 Gemischte Form der Datenbank

Da weder die linearverkettete noch die Raster-Struktur der Datenbank für kartographische Zwecke voll geeignet erscheint, wurde beim IFAG durch Dr. Weber ein Mischtyp entwickelt, der die Vorteile beider Strukturen vereint (WEBER, 1973).

Für die sequentiell abgespeicherten Linienelemente der kartographischen Objekte wird ein Ortsindex angelegt, der die Gesamtmenge der Objekte in überschaubaren Quadraten anordnet, die dann einzeln sequentiell nach einem bestimmten Objekt durchsucht werden können.

Die Linienelemente, hier Kanten genannt, werden durch Knoten begrenzt. Jede Kante erhält eine Kantenbeschreibung, in der das Kennzeichen (Header) enthalten ist sowie ein Hinweis auf die Stelle im Datenspeicher, an der sich die Kante befindet. Es existiert eine zweite invertierte Datei, der Kennzeichen- oder Header-index, der einen Hinweis darauf enthält, ob ein Gegenstand mit einem bestimmten Kennzeichen in der Menge der Kanten enthalten ist. Die geometrische Information (Koordinatenstrings) befindet sich in einer getrennten Datei, die über die Kantenbeschreibung durch dort enthaltene Hinweise erreicht werden kann. So kann auf diese Datenbank über den Ort zugegriffen werden; es wird die Frage: "Was ist dort alles?" beantwortet. Und es kann auf diese Datenbank über das Kennzeichen zugegriffen werden; es wird die Frage: "Wo überall ist etwas mit diesem bestimmten Kennzeichen?" beantwortet. Die Abfragen können in Form von logischen UND-ODER-NICHT-Operationen erfolgen. Die Datenbank enthält ferner eine Datenbankbeschreibung, die alle nötigen Daten zum Betrieb der Datenbank umfaßt.

5. Datengeneralisierung

Hat man die Geräte mit den nötigen Programmen, die Daten und die Datenbank beisammen, so kann man daran gehen, sich mit dem Hauptproblem der Kartographie, der Generalisierung, zu befassen. Unter Generalisierung wird hier die "kartographische Generalisierung" nach HAKE, 1975, verstanden, Ohne die Möglichkeit zur Generalisierung können die mühsam digitalisierten und zum Gebrauch aufbereiteten Daten nur unvollständig genutzt werden. Die Automation stellte die Generalisierung ausführenden Kartographen vor das Problem, sich gewissermaßen selbst zu erkennen. Die bisher mehr oder weniger gefühlvoll ausgeübte Tätigkeit der Generalisierung mußte quantifiziert werden, damit sie den Computern angepaßt werden konnte, die sie nunmehr durchführen sollen.

5.1 Analysen

Die ersten Versuche der Quantifizierbarkeit der Generalisierungsvorgänge äußerten sich in dem nun schon uralten Quadratwurzelgesetz von Töpfer, das quantitative Zusammenhänge beim Übergang von einem Maßstab zum anderen grob gesagt in die Form

$$n_F = n_A \sqrt{\frac{m_A}{m_F}} \quad \text{brachte.}$$

(n_A = Anzahl der Gegenstände im Ausgangsmaßstab $1/m_A$)

(n_F = Anzahl der Gegenstände im Folgemaßstab $1/m_F$).

Auf Grund dieses Gesetzes wurden im IFAG ähnliche Untersuchungen für den Übergang von 1:50 000 nach 1:200 000 durchgeführt. Andere Untersuchungen führte SRNKA, 1970, in der CSSR mit einem anderen Formelsystem durch. Schließlich untersuchte NEUMANN, 1972, das statistische Verhalten von Siedlungen bei der Generalisierung über verschiedene Maßstäbe hinweg und MESENBURG, 1973, erzielte mit der Anwendung der Faktorenanalyse weitere Aussagen über das statistische Verhalten von Gebäuden bei der Generalisierung. Es wurden endlich, besonders durch HAKE 1973, ferner durch HOFMANN, 1971, u.v.a. Versuche unternommen, die Kartographie mit dem Formelsystem der Informationstheorie zu fassen. Alle diese Versuche waren geeignet, die Kartographie auf ihrem Weg zur exakten Wissenschaft etwas weiter zu bringen und neue Erkenntnisse über sie zu gewinnen. Dem Programmierer aber, der den Vorgang der Generalisierung in Formeln fassen muß, sagen die statistischen Gesetze nicht alles, was er wissen muß, um ein Generalisierungsprogramm zu schreiben. Er weiß nun zwar, wieviele Gegenstände übrigbleiben, wenn er von 1:50.000 nach 1:200.000 generalisieren soll, er weiß aber nicht, welche. Er muß deshalb den Weg gehen, ein mathematisches Modell zu finden, das die Gegenstände an die Stellen rückt, an die auch der "konventionelle" Kartograph sie bringen würde, wenn er generalisiert.

5.2 Ansätze zur Lösung der automatischen Generalisierung

Diesen Weg sind zum Beispiel STAUFENBIEL, BERGER und GOTTSCHALK u.v.a. gegangen. Die Arbeitsgänge der Generalisierung sind, einzeln betrachtet, verhältnismäßig simpel. Was die Sache kompliziert macht, ist die große Anzahl von Einzelvorgängen und ihre gegenseitige Beeinflussung. Ein mathematisches Modell, das alle Vorgänge und gegenseitigen Abhängigkeiten vollständig beschreiben wollte, müßte riesengroß sein und ist, zumindest heute, nicht programmierbar. Die Generalisierung der Gesamtheit der kartographischen Gegenstände wird daher für einzelne Gruppen getrennt durchgeführt, für die sich genügend einfache programmierbare Modelle finden lassen.

Folgende Beispiele lassen sich anführen:

5.2.1 Glättung und Auswahl von Linien

Das einfachste Mittel zur Glättung von Linien ist das übergreifende arithmetische Mittel von Linien, die Filterung.

Die Linie wird in Parameterdarstellung gegeben,

$$\begin{aligned} x &= x(t), \quad y = y(t) \text{ und mit der Gewichtsfunktion} \\ G(p) &= a-b|p|, \quad |p| \leq S, \\ G(p) &= 0, \quad |p| > S, \text{ geglättet.} \end{aligned}$$

Die geglätteten Funktionen sind (GOTTSCHALK 1974, 1)

$$\bar{x}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} G(p) \cdot x(t-p) dp, \quad \bar{y}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} G(p) \cdot y(t-p) dp.$$

Die Auswahl von Linien geschieht nach dem Prinzip, daß kurze Linien von einer gewissen Schranke ab weggelassen werden. Diese Schranke sowie die Parameter S und b der Glättungsfunktion G werden empirisch bestimmt, d.h. es wird so lange geglättet, bis das Ergebnis den Wünschen entspricht. Ein Maß für den Generalisierungsgrad der Linien ist der Abtastabstand nach dem Theorem von SHANON vor der Generalisierung und nach der Generalisierung (GERLACH, 1973). Dabei wird eine Spektralanalyse der betreffenden Linie durchgeführt. Die geglättete Linie hat durch die Glättung die Frequenzen höherer Ordnung verloren. Man kann bei dieser Methode auch Zwangspunkte berücksichtigen, über die nicht hinweggeglättet werden darf (GOTTSCHALK 1974, 2).

Zur Glättung von speziellen Linien wie Grenzen kann man die Linien durch ausgleichende Geraden und Analyse der Krümmung vereinfachen (JOHANNSEN 1975, GOTTSCHALK 1971).

5.2.1.1 Glättung von Linien im Raster

Sind die Linien im Raster gegeben, so kann man diese ganz ähnlich wie die sequentiellen Linien glätten, indem man die von der Linie besetzte Rasterfläche einer Glättungsoperation unterwirft. Es sind dann Operationen der Art

$$\begin{aligned} \bar{x} &= (A)^n x \quad \text{und} \\ \bar{y} &= (A)^n y \quad \text{durchzuführen, wobei} \end{aligned}$$

A eine Gewichtsmatrix darstellt und x und y die Koordinaten der im Raster durch die Linie eingenommenen Fläche darstellen (vgl. GOTTSCHALK 1975 1,2).

Die Glättungsoperationen lassen sich hier, wenn man iterativ vorgeht, auf Nachbarschaftsoperationen in einem begrenzten Quadrat durchführen. Der Exponent n gibt die Anzahl der Iterationen an, die durchgeführt werden sollen, um das gewünschte Ergebnis zu erreichen.

5.2.2 Glättung von Flächen

Die Glättung von Flächen, die eine Form der Generalisierung von Höhenlinien darstellt, ist im Zusammenhang mit Digitalen Geländemodellen an dieser Stelle oft genug erörtert worden. Es seien nur die Namen KRAUS, KOCH, LAUER und v.a. erwähnt, bei denen sich eine Generalisierung der Flächen als Ergebnis der Prädiktionsfilterung ergibt.

5.2.3 Siedlungen

Um die Durchführung der Generalisierung von Siedlungen haben sich besonders STAUFENBIEL 1973 und BERGER 1974 bemüht. Beide Arbeiten zeigen, welche Fülle von elementaren geometrischen Überlegungen nötig ist, um nur einen kleinen Teil der Siedlungsgeneralisierung beim Übergang vom Maßstab z.B. von 1:25 000 nach 1:50 000 zu bewältigen. Es müssen umfangreiche Betrachtungen über Mindestabstände und relative Lagen vor der Generalisierung angestellt werden, wenn im Folgemaßstab wieder ein sinnvolles Siedlungsbild erscheinen soll. Die ersten Ergebnisse sind ermutigend, man darf auf die Ergebnisse gespannt sein, wenn die Programme fertig sind und im großen Stil angewendet werden können.

Etwas einfacher ist es mit der Siedlungsgeneralisierung, wenn man von der Einzelhausdarstellung zur Flächendarstellung der Siedlung übergeht, beispielsweise vom Maßstab 1:50 000 zum Maßstab 1:200 000. Alle Häuser werden als Punkte ohne Richtung und Ausdehnung im Maßstab 1:50 000 digitalisiert. Dann werden sie in ein Raster eingetragen. Ein Rasterquadrat ist schwarz, wenn sich auch nur ein Haus an dieser Stelle des Rasters befindet. Man erhält so ein Binärbild der Siedlung, das mit Hilfe der Binärbildverarbeitung, die Nachbarschaftsoperationen einfachster Art im Raster benutzt,

$$R_{i,j} = \gamma_{i,j} ,$$

$$\gamma_{i,j} = 0 \text{ für } \sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{m=i-1}^{i+1} R_{k,m} < N ,$$

$$\text{und } \gamma_{i,j} = 1 \text{ für } \sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{m=i-1}^{i+1} R_{k,m} > N , \text{ verarbeitet werden kann.}$$

$R_{i,j}$ ist der Wert des Rasters an der Stelle i,j , 0 oder 1, weiß oder schwarz. N ist ein Schwellwert, $1 \leq N \leq 9$. Setzt man $N = 5$ und führt die Rasteroperation in 2 Iterationen durch, so wächst das Binärbild der Einzelhäuser zu Flächen zusammen, die Grundlage der Siedlungsdarstellung im Maßstab 1:200 000 in Form von Siedlungsflächen bilden (GOTTSCHALK 1974, 1).

5.2.4 Verdrängung

Wenn man die Linien, wie oben beschrieben, geglättet hat, so ist damit noch nicht gesagt, daß die Linien damit auch an der richtigen Stelle liegen. Im Normalfall werden sie nach der Glättung und der Verkleinerung so dicht zusammenliegen, daß das Auge sie nicht mehr zu trennen vermag. Dann muß an diesen Stellen der Maßstab verändert werden, bis die Linien wieder so verlaufen, daß man sie als Einzellinien zu erkennen vermag. Es gibt Ansätze, dieses Problem zu lösen (GOTTSCHALK 1972, TÖPFER 1975), von denen man aber noch nicht weiß, ob sie sich in der Praxis bewähren werden. Im kartographischen Automationssystem wird dieser Teil wohl auf lange Zeit wie alle anderen Teilprogramme unter interaktiver Überwachung stehen, wenn nicht überhaupt ganz interaktiv durchgeführt werden müssen, wie in dem DFG-System durch bloße Verschiebung von Linien (JOHANNSEN 1974).

5.3 Zusammenfassung

Es ist bisher nicht gelungen, das ganze Problem der Generalisierung zu lösen. Auf Teilgebieten jedoch geht es langsam voran. Wie weit man auch mit den wenigen bisher vorhandenen Programmen kommen kann, zeigt dies schon bekannte Bild, in dem Linienglättung und Binärbildverarbeitung Verwendung gefunden haben. Das Neue an diesem Bild ist die automatisch hergestellte Schummerung. Die Lösung aller Probleme in der Generalisierung ist in der Verbindung von Teilprogrammen durch interaktive Bearbeitung zu suchen. Man darf hier auf die ersten Ergebnisse der DFG-Anlage beim IFAG gespannt sein.

6. Graphische Datenausgabe

Die Möglichkeiten zur Nutzung der einmal eingerichteten Datenbank, sei sie nun durch Generalisierung aus Basisdaten hervorgegangen oder aus originalen Daten, sind fast unbegrenzt. Eine davon ist die graphische Ausgabe von Druckoriginalen für eine konventionelle Karte. Die dafür zur Verfügung stehenden Zeichengeräte arbeiten teils linear, wobei das Zeichenwerkzeug der zu ziehenden Linie folgt, teils nach dem Rasterprinzip, bei dem das ganze Bild in eine genügende Anzahl von Punkten aufgelöst wird, die dann zeilenweise gezeichnet werden.

Die linear arbeitenden Geräte können Zeichnungen in Tusche, als Gravur oder als Lichtzeichnung herstellen. Bei der Lichtzeichnung entsteht die Zeichnung durch einen über einem Film bewegten Lichtstrahl. Bei vielen Geräten besteht auch noch die Möglichkeit der vorläufigen Ausgabe der Zeichnung auf einem Bildschirm. Die Bildschirmzeichnung soll so sein, daß sie einen Überblick über das Kartenbild geben kann.

Unbedingt nötig für die graphische Ausgabe von Landkarten ist, daß das Zeichengerät die in der Datenbank vorhandenen Linienachsen in Signaturen umsetzt, die dem jeweiligen Maßstab der herzustellenden Karte entsprechen. Jedem Kennzeichen eines Gegenstandes entspricht in der Karte für einen bestimmten Maßstab ein bestimmtes Symbol. Dieses Symbol muß in einer Symboltabelle in der Anlage vorhanden sein und wird dann aufgerufen, wenn der Gegenstand mit dem betreffenden Kennzeichen aus der Datenbank zum Zeichnen oder Gravieren abgerufen wird. Entsprechendes gilt für die Darstellung auf dem Bildschirm (CHRIST 1975, 1). Für die Gravur muß zur richtigen Symboldarstellung ein Satz von geeigneten Stichel für die Zeichnung von Doppel- und 3-fach-Strichen vorhanden sein und durch das System aufgerufen werden. Zur Gravur spezieller Signaturen wie Ruine, Bergwerk, Funkstelle etc. muß für die Herstellung der Signatur bei der Herstellung der Symboltabelle für den betreffenden Maßstab aus dem Vorrat an Zeichenbefehlen der Zeichenmaschine die Figur vorher programmiert und in einem Speicher abgelegt werden, damit sie immer wieder aufgerufen werden kann. Für jeden Maßstab müssen so alle vorkommenden Signaturen mühsam zusammengesetzt werden. Diese Arbeit erforderte beim IFAG für die Maßstäbe 1:200 000 und 1:250 000 eine Arbeit von 100 Stunden per Maßstab.

Für die Lichtzeichnung mußte eine Scheibe mit den Negativen der vorkommenden Signaturen erstellt werden. Hier wird bei Aufruf der entsprechenden Figur aus der Symboltabelle die Symbolscheibe automatisch gedreht, so daß die verlangte Signatur auf den Film aufgeblitzt werden kann.

Lichtzeichnung und Gravur müssen natürlich tangential gesteuert sein. Wie man aus den gezeigten Bildern sehen kann, sind die Qualitäten von Lichtzeichnung und Gravur für die heute gestellten Ansprüche an die kartographische Darstellung befriedigend. Es gibt allerdings Schwierigkeiten beim Zeichnen von Doppelstrichen, wenn der Radius der Achse des Gegenstandes kleiner ist als der Abstand der beiden Striche. Bei Kreuzungen gibt es Überzeichnungen, die manuell beseitigt werden müssen. Eine geringfügige Steigerung der Zeichengeschwindigkeit bei Linearzeichenmaschinen läßt sich noch durch eine Optimierung der Wege des Zeichenkopfes erreichen, wie sie von WEBER 1975 vorgeschlagen wird.

7. Kosten

Die Kosten der Automation sind vermutlich sehr hoch und nur zu rechtfertigen, wenn ihnen ein entsprechender Nutzen gegenübersteht. Bisher gibt es leider nur sehr wenig Möglichkeiten der Gegenüberstellung der Kartenherstellungskosten für konventionell hergestellte Karten und der für die automatische Herstellung von Landkarten.

PFROMMER (1975) gibt aus dem IFAG folgende Zahlen an:

Herstellung aus im Maßstab 1:50 000 digitalisierten Karten,

Kosten bei computerunterstützter Herstellung:

1,9 Blätter der TOK200 (1:200 000)

+ 1 Blatt der Karte 1:250 000 DM 1 191 240,-

Konventionelle Herstellung der gleichen Blätter:

Kosten DM 1 194 675,-

- Gottschalk, H-J.: Einige Gesichtspunkte der Linearisierung und Glättung von Rasterdaten,
Sonderheft Na Ka Verm, Frankfurt 1975
- Gottschalk, H-J.: The Manipulation of Raster Data,
Na Ka Verm II, 32, Frankfurt 1975
- Kraus, K.: Ein allgemeines Digitales Geländemodell,
Numerische Photogrammetrie, 5, Karlsruhe 1973
- Koch, K-R.: Digitales Geländemodell und automatische Höhenlinienzeichnung,
ZfV 8/1973
- Lauer, S.: Anwendung der skalaren Prädiktion auf das Problem des digitalen Geländemodells,
Na Ka Verm I, 51, Frankfurt 1972
- Gottschalk, H-J.: Ein Modell zur automatischen Durchführung der Verdrängung bei der Generalisierung,
Na Ka Verm I, 58, Frankfurt 1972
- Töpfer, F.: Zur Automatisierung der kartographischen Generalisierung,
Vermessungstechnik 1975, 4
- Johannsen, Th.: Software-Konzeption für eine kartographische Automationsanlage,
Na Ka Verm I, 65, Frankfurt 1974
- Weber, W.: Minimizing Unproductive Ways in Automatic Plotting,
Na Ka Verm II, 32, Frankfurt 1975
- Pfrommer, W.L.: Cost and Benefit Considerations Concerning Computer Aided Cartographic Systems,
Paper Technical Working Session Commission III, ICA, Enschede 1975
- Christ, F.: Automatically Symbolized Output of Map Data Compiled and Selected from a Data Base,
Na Ka Verm II, 32, Frankfurt 1975
- Hake, G.: Kartographie und Kommunikation,
Kartographische Nachrichten 4, 1973
- Hake, G.: Kartographie I,
Berlin, New York 1975
- Kröll, F.S.: Interactive Editing Cartographic Data,
Paper, ICA, COM III, Enschede 1975

Literatur

- Johannsen, Th.: Geographical Names - Data Acquisition and Preparation of a Gazetteer, Na Ka Verm II, 32, Frankfurt 1975
- Grothenn, D.: Der Objektschlüssel des Standarddatenformats, Na Ka Verm I, 65, Frankfurt 1974
- Gottschalk, H-J.: Ein einfaches Verfahren zur Überprüfung eines Digitizers, Na Ka Verm I, 58, Frankfurt 1972
- Aangeenbrug, R.R.: Computer Graphic Editing Urban Maps: A Topologic Classification of Urban Polygon Files, Paper Technical Working Session Commission III, Enschede 1975
- Weber, W.: An Example of a Data Base for Cartographic Data, Na Ka Verm II, 30, Frankfurt 1973
- Töpfer, F.: Untersuchungen zum Anwendungsbereich des Wurzelgesetzes bei kartographischen Generalisierungen, Vermessungstechnik 11, 1963
- Neumann, J.: Gibt es bei der quantitativen Siedlungsgeneralisierung Gesetzmäßigkeiten?, Na Ka Verm I, 55, Frankfurt 1972
- Mesenburg, P.: Ein Beitrag zur Anwendung der Faktorenanalyse auf Generalisierungsprobleme Topographischer Karten, Dissertation, Bonn 1973
- Berger, A.: Bearbeitungsmodelle für EDV-unterstützte Generalisierung von Streusiedlungs- und Häuserreihengebieten in Topographischen Karten, Dissertation, Bonn 1974
- Staufenbiel, W.: Zur Automation der Generalisierung topographischer Karten mit besonderer Berücksichtigung großmaßstäbiger Gebäudedarstellungen, Nied. Landesverwaltungsamt Landesvermessung, Hannover 1973
- Srnka, E.: The Analytical Solution of Regular Generalisation in Cartography, Int. Jahrbuch Kartographie 1970
- Hofmann, F.: Zum Problem der automatischen Generalisierung linearer Kartenelemente am Beispiel eines Flußnetzes, Vermessungstechnik 19, 1971
- Gottschalk, H-J.: Automatische Generalisierung von Siedlungen, Verkehrswegen, Höhenlinien, Wasserläufen und Vegetationsgrenzen für eine kleinmaßstäbige topographische Karte, ZfV 8, 1974
- Gerlach, R.: Untersuchung über die Verwendung von Grenzfrequenzen von Spektralfunktionen für eine Generalisierungsmaßzahl, Na Ka Verm I, 61, Frankfurt 1973
- Gottschalk, H-J.: Ein Rechenprogramm zur Auswahl und Glättung von kartographischen Linien, DGK, B Nr, 205, Frankfurt 1974
- Gottschalk, H-J.: Versuche zur Definition des Informationsgehaltes gekrümmter kartographischer Linien und zur Generalisierung, DGK, B Nr. 189, Frankfurt 1971
- Johannsen, Th.: Verfahren zur Liniengeneralisierung, Sonderheft Na Ka Verm, Frankfurt 1975

L'automatisation en cartographie

Résumé

Des numérisateurs, des visualisateurs, des coordinatographes automatiques et des calculateurs de conception spéciale sont disponibles pour l'automatisation de la cartographie. Pour l'enregistrement et la sortie des données sous forme d'éléments de grille, on développe actuellement des appareils qui accéléreront la numérisation et le tracé graphique.

La cartographie automatique use des résultats numériques de la photogrammétrie, de la tachymétrie, ainsi que de la numérisation des listes de données et des tracés graphiques originaux.

Les données cartographiques doivent être élaborées et rendues exemptes d'erreurs, puis stockées dans une banque en vue de leur traitement ultérieur. Parmi les différentes structures praticables pour les banques de données, la combinaison d'une grille à enchaînement linéaire et d'une grille en surface s'avère comme la plus judicieuse.

Pour automatiser la généralisation, il convient tout d'abord d'en analyser le processus, afin d'en tirer des lois quantifiables. Attendu que le processus de généralisation dépasse les limites d'un modèle, on doit avoir recours à des modèles pour processus partiels, p.ex. simplification du tracé des lignes, suppression des détails dans les agglomérations urbaines, etc. Les processus partiels se surveillent réciproquement et sont rattachés entre eux par des phases de travail interactives, jusqu'à ce qu'une solution générale puisse être trouvée pour l'automatisation absolue de toutes les opérations de la cartographie.

Les solutions partielles mises au point jusqu'à présent se traduiront sans doute, pour la production des cartes, par une économie de temps de 40 %. Elles n'entraîneront toutefois pas une réduction sensible des frais.

La automatización en la cartografía

Resumen

Para automatizar la cartografía, disponemos de digitalizadores, unidades visualizadoras, coordinatógrafos automáticos y computadoras especialmente adaptadas a las exigencias de la cartografía. Se están desarrollando actualmente instrumentos para el registro y la salida de datos a base de retículos que acelerarán la digitalización y el dibujo.

Para la confección de mapas, la cartografía automática se basa en los resultados digitales de la fotogrametría, de la taquimetría y en listas y originales gráficos digitalizados.

Los datos han de ser preparados para que queden libres de errores. La base de la manipulación y del tratamiento posterior de los datos es un banco en el que se encuentran almacenados todos los datos cartográficos. Entre las diferentes estructuras posibles de bancos de datos ha resultado ser la más conveniente una mezcla de una estructura reticular superficial y otra encadenada linealmente.

Condición imprescindible para poder comenzar a generalizar automáticamente es un análisis del procedimiento de generalización en cuanto a leyes cuantificables. Debido al hecho de que todo el proceso de generalización no se puede comprender en un solo modelo, hay que encontrar modelos para procesos parciales. Entonces, los procesos parciales, por ejemplo el aplanado de líneas, la generalización de urbanizaciones, etc., se supervisan recíprocamente y se relacionan entre sí mediante pasos interactivos hasta que se pueda encontrar la solución general de la automatización en la cartografía.

Sobre las soluciones parciales encontradas hasta ahora puede decirse que su empleo posiblemente reportará una reducción del tiempo de producción de mapas en un 40 %, mateniéndose los gastos aproximadamente al mismo nivel.

Einige Probleme der Automation in der Kartographie

Von H.-J. Gottschalk, Frankfurt a. Main

Zusammenfassung

An Geräten stehen für die Automation in der Kartographie Digitizer, Bildschirmgeräte, Zeichenanlagen und Rechner zur Verfügung, die den besonderen Anforderungen der Kartographie angepaßt sind. Geräte zur Datenaufnahme und Datenausgabe auf Rasterbasis sind in der Entwicklung und werden die Digitalisierung und Zeichnung beschleunigen.

Als Quellen für die Kartenherstellung dienen der automatisierten Kartographie digitale Ergebnisse der Photogrammetrie, der Tachymetrie und der Digitalisierung von Listen und graphischen Vorlagen.

Die Daten müssen aufbereitet und von Fehlern befreit werden. Grundlage für die Manipulation und weitere Behandlung der Daten ist eine Datenbank, in der die kartographischen Daten gespeichert werden. Unter den verschiedenen Möglichkeiten der Datenbankstrukturen hat sich eine Mischform aus einer linear-verketteten und einer flächenhaften Rasterstruktur als am zweckmäßigsten erwiesen.

Voraussetzung für Ansätze zur automatischen Generalisierung ist eine Analyse des Generalisierungsvorganges auf quantifizierbare Gesetzmäßigkeiten hin. Da sich der gesamte Vorgang der Generalisierung nicht in einem einzigen Modell erfassen läßt, müssen Modelle für Teilvorgänge gefunden werden. Die Teilvorgänge z.B. der Glättung von Linien, der Generalisierung von Siedlungen u.a.m. werden dabei interaktiv überwacht und durch interaktive Arbeitsschritte miteinander verknüpft, bis die große Lösung für die Automation in der Kartographie gefunden werden kann.

Für die bis heute gefundenen Teillösungen läßt sich sagen, daß ihr Einsatz vermutlich eine Verkürzung der Herstellungszeit von Karten um 40 % bei etwa gleichbleibenden Kosten bringen wird.

Automation in cartography

Abstract

For automation, cartography relies on digitizers, display units, automatic coordinatographs and computers specially adapted to cartographic requirements. Equipment for input and output of grid-form data is presently being developed and will undoubtedly speed up both digitization and plotting.

The sources for map production used in automatic cartography are the digital results of photogrammetric and tacheometric measurements and the digitization of lists and graphical originals.

The data have to be edited and errors eliminated. The basis for manipulation and further processing of the data is a data bank storing all the cartographic data. Of the different possible data-bank configurations, a mixture of grid-form and screen-type data has proved to be most useful.

Attempts at automatic generalization are predicated on an analysis of the process of generalization for laws that are susceptible to quantification. Since the entire process of generalization cannot be covered with a single model, models also have to be found for partial processes. The latter - such as smoothing lines, generalizing built-up areas, etc. - will be actively supervised and linked by interactive steps until an overall solution can be found for the automation of cartography.

The partial solutions found up to date will probably reduce the production time of maps by 40 % without an increase in costs.

Die Kosten sind also bei beiden Herstellungsmethoden gleich, die Herstellungszeit der automatisch hergestellten Karten beträgt aber nur 61 % der Herstellungszeit für die konventionellen Karten, Grob gesagt: Die Kosten bleiben dieselben, es können aber bei Einführung der Automation mit demselben Personal doppelt so viele Karten produziert werden wie bisher. Je öfter man dieselben Daten nutzt, desto wirtschaftlicher wird die Anwendung der Automation in der Kartographie. Diese Ergebnisse decken sich in etwa mit aus Kanada bekannt gewordenen, so daß sie realistisch sein dürften. Ein großer Teil der Personalkosten bei der automatischen Produktion wird durch die manuelle Digitalisierung verursacht, so daß durch Einführung automatischer Digitalisierungsmethoden die Kosten der automatisch hergestellten Karte noch erheblich gesenkt werden könnten.

8. Schluß

Die bisherige Entwicklung der Automation in der Kartographie ist die, daß niemandem der große Wurf eines alles umfassenden Modells für die Kartographie gelungen ist. Es sind vielmehr für viele Probleme Teillösungen gefunden worden, die einen Teil der zu erledigenden Arbeit automatisch bewältigen, aber den größten Teil der Arbeit unter interaktiver Kontrolle mit erheblichen Eingriffen des Kartographen in den Arbeitsablauf belassen müssen. Es sind noch viele Probleme (Auswahl, Zusammenfassung, gegenseitige Abhängigkeit der Generalisierungsvorgänge, Randanpassung, Rasterdatenbank) gar nicht angepackt worden, aber man darf so optimistisch sein, daß dies in den nächsten 5 - 10 Jahren geschehen wird, wenn nur genügend Mittel investiert werden. Wenn uns daran gelegen ist, unsere Landkarten schneller fortzuführen als bisher, so wird man es mit der Automation versuchen müssen, die angesichts der vorsichtig geschätzten Kosten und Arbeitszeiten eine Beschleunigung der Fortführung bei gleichen Kosten verspricht.