

Zeitschrift:	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
Herausgeber:	Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)
Band:	82 (1984)
Heft:	4
Artikel:	Anwendungen und Konzepte der kartographischen Rasterdatenverarbeitung
Autor:	Weber, W.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-232092

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Anwendungen und Konzepte der kartographischen Rasterdatenverarbeitung*

W. Weber

Digitale Rastertechniken können in der Kartographie viele Aufgaben nach neuen Konzepten lösen helfen, so z. B. die Faksimile-Reproduktion, die autotypische Rasterung, die Farbzersetzung für den Mischfarbendruck, die Herstellung von Choroplethenkarten, die Erzeugung von Kartensymbolen, die digitale Fortführung und Druckaufbereitung von Karten und Teilaufgaben der Generalisierung. Es werden Erfahrungen und Arbeiten des IfAG zu diesen Themen beschrieben und darüber hinaus ein Konzept zur kartographischen Mustererkennung im Dienste von Massendigitalisierungen im Rastermodus erörtert und das Verhalten eines modernen Vektorprozessors im Bereich der kartographischen Rasterdatenverarbeitung untersucht.

Les techniques numériques appliquées en cartographie au mode maillé permettent de résoudre beaucoup de travaux selon de nouveaux concepts.

Par exemple: la reproduction de fac-similés, le tramage de simili, la sélection des couleurs pour l'impression, la fabrication de cartes choroplèthes, la création de symboles cartographiques, la mise à jour numérique des cartes et leur préparation pour l'impression ainsi que quelques travaux de généralisation.

Cet article présente les expériences et travaux de l'IfAG dans ce domaine, discute d'un concept pour l'identification cartographique au service de la digitalisation en mode maillé et analyse le comportement d'un processeur vectoriel dans le domaine de la manipulation de l'information en mode maillé.

1. Überblick

Die Automation in der Kartographie zählt im Gesamtbereich der elektronischen Datenverarbeitung zu deren grossem Teilbereich der graphischen Datenverarbeitung. Die graphische Datenverarbeitung hat ihrerseits zwei Teilbereiche, «Computergraphics» und «Digitale Bildverarbeitung», die sich grundlegend durch die Art der digitalen Darstellung der Graphiken unterscheiden: Im Teilbereich «Computergraphics» geschieht diese durch Vektorzüge, die den Achsen von Linien- oder den Umfängen von Flächenobjekten folgen, im anderen Teilbereich «Digitale Bildverarbeitung» jedoch durch eine Matrix von zeilen- und spaltenweise angeordneten digitalen Rasterpunkten («Pixeln»), deren jeweiliger Zahlenwert («Grauwert») etwas über ihre Objektqualität aussagt. Diese Zweiteilung der graphischen Datenverarbeitung im allgemeinen findet sich auch in ihrem Spezialgebiet «Automation in der Kartographie», wo man ganz analog zwischen digitaler Vektor- und Rasterkartographie unterscheidet. Digitale Vektorkartographie betreibt man seit etwa 15, Rasterkartographie jedoch erst seit etwa fünf Jahren, obwohl letztere i. a. einen höheren Grad der Automation sowohl bei der Datenerfassung als auch der Datenausgabe – oft auch bei der Datenverän-

derung – erlaubt. Der Grund für diese relativ späte Entwicklung der digitalen Rasterkartographie liegt vor allem in den gegenüber der Vektorkartographie etwa 5- bis 10fach grösseren Datensätzen, zu deren ökonomischen Speicherung und zeitgerechten Verarbeitung erst kürzlich die erforderlichen technischen Hilfsmittel entwickelt wurden.

Obwohl demnach die im folgenden allein zu behandelnde digitale Rasterkartographie den «modernen» und sicherlich zukunftsträchtigen Zweig der

Automation in der Kartographie darstellt, wird deswegen die Vektorkartographie doch nicht überflüssig. Vielmehr wird man ihrer vor allem immer dann bedürfen, wenn z. B. bei der automatischen Erzeugung periodischer Symbole von Linien deren Länge und Richtung eine Rolle spielt, wenn bei der Erfassung komplizierter kartographischer Originale eine automatische Mustererkennung der verschiedenen Objekttypen unmöglich ist und auch im Zusammenhang mit relationalen Landinformationssystemen. Dementsprechend wird die Zukunft sicherlich hybriden kartographischen Systemen gehören, die mit den selben Daten im Wechsel sowohl digitale Vektor- als auch Rasterkartographie betreiben können. Bei den dazu erforderlichen Transformationen zwischen den beiden Datendarstellungen ist der Übergang von der Vektor- zur Rasterdarstellung («Auffrästung») eindeutig und nicht übermäßig zeitaufwendig. Seine Umkehrung, die «Vektorisierung» von Rasterdaten, ist zeitaufwendiger und wegen der unvermeidlichen «Kreuzungsverdoppelung» und «Stoppelbildung» (s. Pfeile in Abb. 1) auch nicht immer eindeutig – vielmehr ist interaktive Nachbearbeitung erforderlich.

Die verschiedenen Arbeitsschritte und zugehörigen Hardware-Einheiten in einem integrierten System zur kartographischen Rasterdatenverarbeitung sind in schematischer Form in Abb. 2 wiedergegeben. Dem Arbeitsschritt «Digitala-

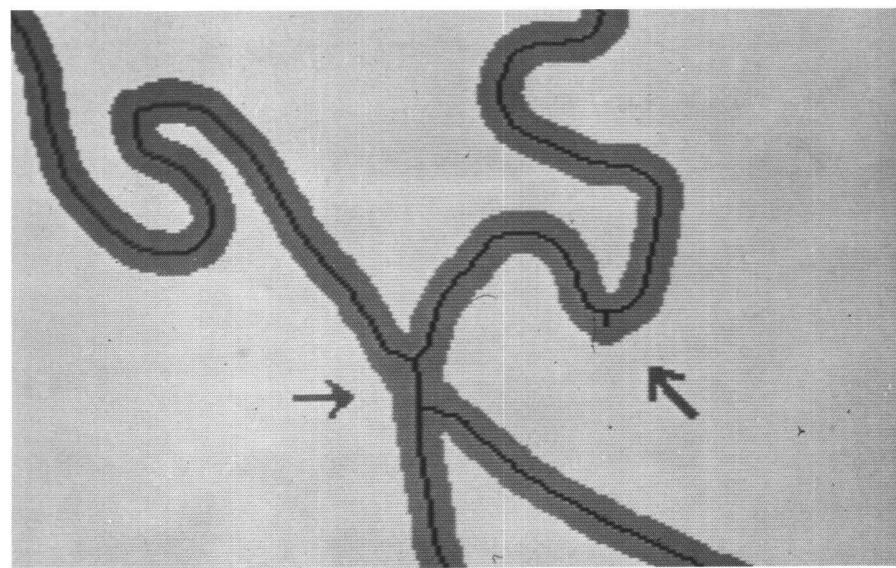
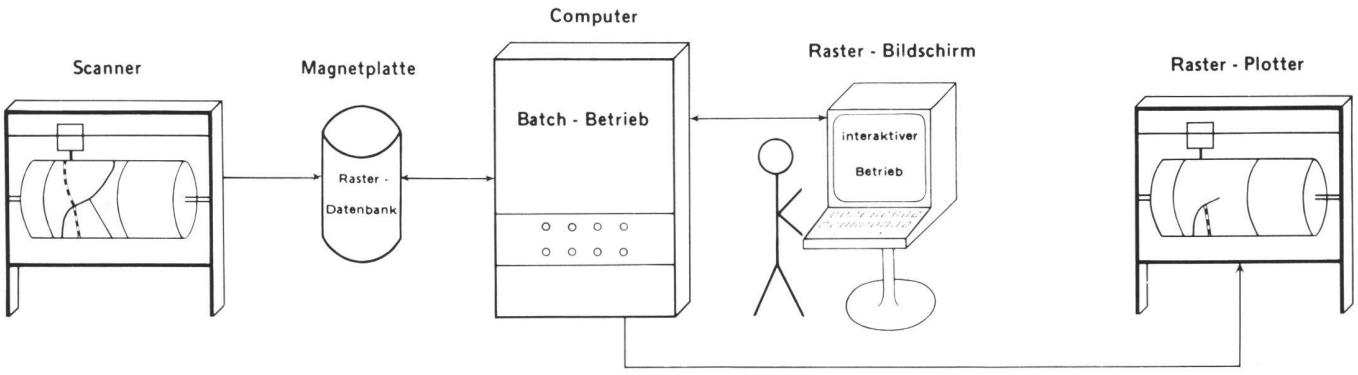


Abb. 1 Zwei Probleme bei der Vektorisierung von Rasterdaten (s. Pfeile).

* (Mitteilung aus dem Institut für Angewandte Geodäsie)



1. Digitalisierung

2. Speicherung

3. Veränderung der Raster - Daten

4. Ausgabe

Abb. 2 Arbeitsschritte und Datenfluss bei der kartographischen Raster-Datenverarbeitung

lisierung» (d. h. Datenerfassung), «Ausgabe» (d. h. automatische Zeichnung) und «Veränderung der Rasterdaten» wird im folgenden je ein Kapitel gewidmet, wobei i. w. die beim Institut für Angewandte Geodäsie (IfAG) seit 1981 an einer Scitex-Anlage gesammelten Erfahrungen im Vordergrund stehen und weniger eine Gesamtdarstellung des Themas, wie sie z. B. in [9] versucht wurde. Ein Kapitel über Arbeiten des IfAG an einer selbst zusammengestellten und programmierten Rasterdaten-Forschungsanlage mit neuester Vektorprozessor-Hardware vervollständigt die Darstellung.

2. Datenerfassung

Digitale Rasterdaten werden aus grafischen Vorlagen mittels Scanner gewonnen. Das prinzipielle Schema eines Mehrfarben-Scanners (für diskrete Farben) zeigt Abb. 3. Die auf einer rotierenden Trommel befindliche Vorlage wird zeilenweise abgetastet und innerhalb jeder Zeile durch sich schnell wiederholende Einzelmessungen in Rasterpunkte zerlegt. Der von der Vorlage im

aktuellen Messpunkt zurückgeworfene Messstrahl wird nach optischer Dreiteilung mittels Photosensoren gleichzeitig bezüglich seiner Helligkeiten in den drei Grundfarbanteilen Rot, Grün und Blau ausgemessen. Nach diesen drei Werten weist ein Farbrechner den aktuellen Messpunkt einer von 12 bis 15 möglichen, zuvor kalibrierten Farben («Kanälen») nach der Minimum-Distance-Klassifikationsmethode (ohne Zurückweisungsklasse) zu und gibt das Ergebnis in komprimierter Form an die Rasterdatenbank weiter. Die grösste Auflösung solcher Geräte liegt bei ca. 50 Punkten/mm und ihre Abtastgeschwindigkeit zwischen 130 und 600 Zeilen/min.

Wie reagieren nun solche Geräte auf kartographische Vorlagen, und ist bei dieser Art der Reproduktion mit einem Qualitätsverlust zu rechnen?

Abb. 4 zeigt oben einen vergrösserten Ausschnitt des nach traditionellen Methoden hergestellten Situationsoriginals eines Blattes der deutschen Topographischen Übersichtskarte 1: 200 000 (TÜK 200) und darunter seine Reproduktion mittels Scanner und Rasterplot-

ter in einer Auflösung von 32 Punkten/mm. Diese Auflösung ergab sich aus der Regel, dass der Rasterpunkt ungefähr halb so gross sein soll wie die dünne schwarze (oder weisse) Stelle der Vorlage. Um die Dicken sowohl der schwarzen wie der weissen Stellen der Vorlage richtig zu reproduzieren, genügt es nicht, sie lediglich in einem Kanal für Schwarz und einem für Weiss abzutasten. Vielmehr sind mehrere Kanäle für Mitteltöne unterschiedlicher Graustufen erforderlich, wie sie sich an den Objekträndern ergeben, wenn ein Messpunkt des Scanners gleichzeitig teils in eine schwarze, teils aber auch in eine weisse Fläche der Vorlage fällt. Nachträglich kann dann schnell die optimale Zuordnung dieser Mitteltonkanäle zu Schwarz bzw. Weiss empirisch gefunden werden.

Einfarbige Halbtonvorlagen wie z. B. Schummerungen werden beim Scan in nur zehn verschiedenen Graustufen für das menschliche Auge bereits ausreichend radiometrisch aufgelöst. Die Graustufen werden dabei erfahrungsge-mäss am besten gleichabständig in ihren prozentualen Rot-, Grün- und Blau-Anteilen abgestuft. Die geometrische Auflösung kann hier mit ca. acht Punkten/mm erheblich niedriger gewählt werden als z. B. bei der Situationszeichnung der Abb. 4.

Die Digitalisierung mehrfarbiger Vorlagen kommt bei der Faksimile-Reproduktion von Landkarten in Frage, deren Druckfolien verlorengegangen sind. Solange das Kartenoriginal nicht mehr als 12 bis 15 Farben enthält, können solche Reproduktionen nach unserer Erfahrung in ausreichender Qualität mit Mehrfarben-Scannern für diskrete Farben gewonnen werden. Das gilt auch noch, wenn im Original einfarbige autotypische Raster enthalten sind. Farbliche Fehlidentifikationen einzelner Pixel an den Rändern der Farbflächen des Originals, wo der Messpunkt des Scanners meist in verschiedenen Farben gleichzeitig zu liegen kommt, sind zwar

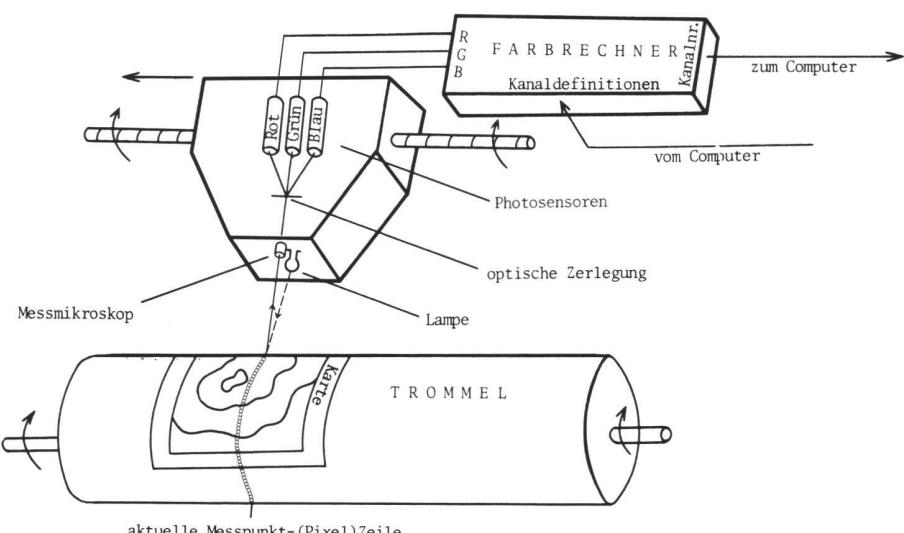


Abb. 3 Prinzipskizze eines Mehrfarben-Scanners (aus [5]).



Abb. 4 Eine kartographische Originalfolie (oben) und ihre Reproduktion mit dem Scanner (unten) in einer Auflösung von 32 Punkten/mm (ca. doppelt vergrößert).

unvermeidlich, beeinträchtigen jedoch den farblichen Gesamteindruck selbst dann kaum, wenn von keiner der mannigfachen automatischen Retuschiermöglichkeiten Gebrauch gemacht wird. Falls im Original Schummerungen, d.h. viele Halbtöne enthalten sind, sind Mehrfarben-Scanner für Halbtöne besser geeignet als die auf kartographische Aufgaben hin optimierten Mehrfarben-Scanner für diskrete Farben. Doch selbst jene werden bei der Faksimile-Reproduktion in Schwierigkeiten geraten, wenn das Original nicht im Echt-, sondern im autotypischen Mischfarben-Druck vorliegt.

3. Datenausgabe

Digitale Rasterdaten können mit einem Rasterplotter in graphische Form, d.h. z.B. in einer Druckfolie für den Landkarten-Druck verwandelt werden: Auf einer mit ca. 1000 Umdrehungen/min rotierenden Trommel ist ein Film befestigt. Dieser wird entlang jeweils einer Trommelumfangslinie punktweise von einem Laserstrahl belichtet, den der Computer anhand der digitalen Rasterdaten über einen Modulator ein- und ausschaltet und nach jeder Trommelumdrehung um eine Zeilenbreite weiterführt. Die maximale Auflösung solcher Rasterplotter liegt bei ca. 70 Punkten/mm. Ihre geometrische und graphische Genauigkeit ist für kartographische Zwecke völlig ausreichend.

Kartographische Rasterplotter belichten nur ganz schwarze Punkte auf dem Film oder lassen ihn weiß. Halbtöne können also wie im Offsetdruck nicht als solche erzeugt, sondern müssen durch autotypische Rasterung simuliert werden. Anders als beim traditionellen Offsetdruck entsteht diese autotypische Rasterung hier aber nicht photomechanisch, sondern durch elektronische Direktrasterung auf dem Rasterplotter. Abb. 5 zeigt, wie der so erzeugte autotypische Rasterpunkt bei mehr oder weniger grossen Rastertonwerten aus mehr oder weniger elementaren Laserpunkten des Rasterplotters aufgebaut

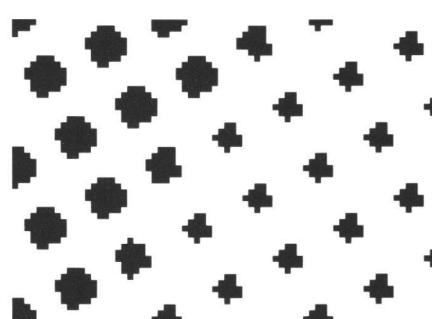


Abb. 5 Aufbau des autotypischen Rasterpunkts bei elektronischer Direktrasterung, links für einen höheren, rechts für einen geringeren Rastertonwert. Abstand der Rasterpunktmitten: vertikal 5, horizontal 10 Laserpunkte (aus [5]). Vergrößerung ca. 30fach.

ist. Die Form dieses elektronisch erzeugten autotypischen Rasterpunkts kann u.U. erheblich von der photomechanisch erzeugten Punktform abweichen, so dass beim Übereinanderdruck mehrerer autotypischer Raster zusätzlich zu den bekannten photomechanischen weitere Moirés mit grösserer Periode auftreten können.

Da nach Abb. 5 das Muster der elektronisch erzeugten autotypischen Rasterpunkte den Laserpunkt als kleinsten Baustein enthält, müssen deren Mittelpunkte in horizontaler und vertikaler Richtung um Beträge gegeneinander verschoben sein, die ganzzahlige Vielfache der Seitenlänge des Laserpunkts sind. Daraus folgt, dass auf einem Rasterplotter nicht beliebige, sondern nur eine Menge diskreter Werte der Winklung und Rasterweite eines autotypischen Rasters zu verwirklichen sind. Je grösser die Plotter-Auflösung gewählt wird, desto kleiner sind naturgemäß die Schritte zwischen diesen diskreten Werten und desto besser ist folglich i. a. auch die Approximation an vorgegebene Sollwerte von Winklung und Rasterweite und desto kleiner somit auch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens unerwünschter Moirés. Beim IfAG haben wir das für geringe Moiré-Empfindlichkeit bekannte System von Rasterweite-Winklung-Kombinationen von H. Schmidt nach [6] bei einer Rasterplotterauflösung von 32 Punkten/mm optimal mit befriedigenden Druckergebnissen approximiert.

Neben der beschriebenen elektronischen Direktrasterung können Rasterplotter auch automatisch Farbzerlegungen durchführen, d.h. sie können die Flächen jeder (durch einen bestimmten digitalen Grauwert in der Rasterdatenbank definierten) Eingabe-Farbe auf mehreren Ausgabe-Filmen in unterschiedlichen Rastertonwerten autotypisch gerastert aufzeichnen. Dabei können die Ausgabe-Filme verschiedene Winklungen und auch Rasterweiten haben. Eine solche Farbzerlegung ist Voraussetzung für die Erzeugung von virtuellen Halbtönen aus digitalen Rasterkarten-Daten im kostensparenden autotypischen Mischfarbendruck in der kurzen Druckfarben-Skala aus Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz oder in anderen verkürzten Farbskalen. Unter Anwendung dieser digitalen Technik wurden beim IfAG im Einklang mit Bestrebungen einer Arbeitsgruppe zur Musterblattbereinigung der «Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)» Versuche zur digitalen Reproduktion der TÜK 200 in einer verkürzten Skala aus Cyan, Magenta, Gelb, Schwarz und zusätzlich Dunkelbraun (für die teils sehr dünnlinige und daher nicht autotypisch raster-

bare Situation) gemacht. Diesen fünf Druckfarben des Mischfarbendrucks stehen zehn im traditionellen Echtfarbendruck gegenüber. Das Ergebnis ist in [5] veröffentlicht. Die Schummerung in Waldgebieten wurde dabei nicht einfach wie bisher dem Waldgrün aufgedruckt, sondern ihm in der Art einer modulierten Waldtonplatte gewissermassen eingewoben. (Dieses digital einfach zu handhabende Verfahren ist bei photomechanischer Druckfolien-Herstellung von Landkarten zwar nicht unbekannt, wird aber wegen des dort vergleichsweise hohen Aufwands und der geringeren Flexibilität der Farbabstufung meist vermieden.) Natürlich mussten für diesen Versuch die alten Originalfolien zunächst gescannt werden, und zwar mit einer Auflösung von 32 Punkten/mm – ein Aufwand, der sich eigentlich nur in Verbindung mit anderen Zielen (z.B. der digitalen Landkartenführung nach Abschn. 4.3 oder dem Aufbau von digitalen geographischen Informationssystemen) lohnt.

4. Datenveränderung

4.1 Grundfunktionen

Die verschiedenen Arten von Datenveränderung bei digitalen kartographischen Rasterdaten lassen sich insgesamt auf wenige Grundfunktionen der digitalen Bildverarbeitung zurückführen, d.h. aus ihnen bausteinartig zusammensetzen. Die wichtigsten dieser Grundfunktionen sind das Ausbreiten von Farben, die Verdickung (bzw. Verdünnung) von Flächen und die Vereinigung zweier digitaler Rasterkarten: Beim *Ausbreiten* von (digital definierten) Farben genügt mindestens ein Pixel dieser Farbe im Innern der Fläche einer Hintergrundfarbe, und der Computer wird letztere ganz mit ersterer überdecken. Diese Grundfunktion wird häufig zur Herstellung thematischer Karten vom Choroplethentyp (Flächenkarten) angewandt: Manuell werden nur die Peripherien der Themenflächen und die kennzeichnenden Farbpunkte in ihnen gezeichnet. Diese werden gescannt, und der Rest (d.h. das Ausbreiten der Farbpunkte, das eventuelle Ersetzen der Farbflächen durch Strukturraster bzw. Signaturenraster und die Farbzerteilung für den Mischfarbendruck in der kurzen Skala) übernimmt der Computer.

Die Grundfunktion der *Verdickung* von Flächen umgibt diese mit einer Hülle von Pixeln vorgebbarer Dicke und Farbe. So kann man im einfachsten Fall z.B. Strassenfüllungen verdicken, um beim Druck ein allfälliges *Blitzen* des weissen Papiers zwischen Strassenfüllung und Strassenkontur zu vermeiden. Aber auch Abstände lassen sich indirekt mit dieser Grundfunktion messen, z.B. die Dicke von Höhenlinien oder der

Abstand benachbarter Höhenlinien zum Zweck der automatischen Herleitung von Hangneigungskarten. Und schliesslich benötigt man immer wieder die Grundfunktion der *Vereinigung* zweier digitaler Rasterkarten, u. a. wenn es darum geht, in einer Landkarte die Strassenflächen z.B. von Höhenlinien freizustellen. Dafür wird man die Rasterkarte der Strassenfüllungen in die Rasterkarte der Höhenlinien digital so «einkopieren», dass die (digitale) Farbe der Höhenlinie dort in die Farbe des Hintergrunds verwandelt wird, wo sie unter die Farbe der Strassenfüllung zu liegen kommt.

4.2 Digitale Symbolerzeugung

Einelpunktsymbole werden zur digitalen Verwendung in Rasterkarten gewonnen, indem man sie zeichnet, scannt, am Bildschirm gegebenenfalls interaktiv retuschiert und dann als Rasterbilder in der Symbolbibliothek ablegt. Unkomplizierte Symbole können auch direkt mittels einfacher Bildschirmfunktionen aus Grundelementen wie Geraden, Parallelen, Kreisen usw. konstruiert werden. Für die feingliedrigen Symbole amtlicher topographischer Karten ist eine Rasterauflösung von 32 Punkten/mm notwendig und hinreichend. Erst bei starker Vergrösserung wird dann der für die Rasterkartographie typische Treppeneffekt an den Symbolrändern auf dem Rasterplotterfilm sichtbar, jedoch beim anschliessenden Offsetdruck durch geringfügiges Verlaufen der Druckfarbe erheblich gemildert (s. Abb. 6).

Auch *flächenfüllende Kartensymbole* werden so definiert, wie es eben für Einelpunktsymbole beschrieben wurde. Hierbei genügt es, eine einzige Musterperiode in der Symbolbibliothek

abzulegen. Der Computer wird sie dann automatisch so oft wiederholen, bis die vorgegebenen Flächen ganz mit dem Muster gefüllt sind.

Richtungs- und Grössenänderungen solcher in Rasterform definierter Einelpunktsymbole verursachen wegen der Vielzahl umzurechnender Pixel einen erheblichen Rechenzeitaufwand. Wenn solche Umrechnungen häufiger vorkommen (wie z.B. bei der Plazierung von Kartenschriften im digitalen Rasterformat), ist es daher zweckmässiger, das Einelpunktsymbol (bzw. den Buchstaben) durch einen Vektorzug entlang seiner Peripherie zu definieren, der sich viel schneller drehen und strecken, dann aufrastern und schliesslich mit Pixeln füllen lässt.

Liniensymbole werden in einer besonderen Symbolbeschreibungssprache definiert, die sich graphischer Grundelemente wie «Punkt», «Strich», «Zwischenraum» bedient und diese nach Dimension, Farbe und deren Priorität in Kreuzungen zu spezifizieren gestattet. Bei periodischen Liniensymbolen genügt die Definition einer Symbolperiode, z.B. bei einer strichpunktirten Linie die Folge «Strich, Zwischenraum, Punkt» und deren Vermassung. Die Achsen der nach solchen Angaben automatisch zu symbolisierenden Linienobjekte müssen dem System als Vektorzüge vorgegeben werden – die Liniensymbole selbst werden daraufhin jedoch vom Computer im Rasterformat erzeugt.

Es ist bemerkenswert, dass im Rasterformat Symbole in mehreren Farben in einem Arbeitsgang (und somit auch ohne Passerprobleme) erzeugt werden können. Solche mehrfarbigen Symbole können z.B. mehrlinige Strassen mit ihrer Füllung sein, aber auch optisch einfarbige Symbole mit Hilfsflächen, die zu ihrer Freistellung benötigt werden (z.B. muss das Innere eines Kirchensymbols automatisch von Höhenlinien, Schummerung usw. freigestellt werden können).

Beim IfAG liegen mittlerweile die digitalen Rasterdefinitionen aller Symbole des Kartenwerks TÜK 200 vor, wie sie bei der im nächsten Abschnitt zu erläuternden digitalen Fortführung dieses Kartenwerks benötigt werden. Abb. 7 zeigt eine Auswahl davon und macht dabei auch deutlich, dass der Computer entlang der vorgegebenen Linienachsen wunschgemäß in verschiedener Weise interpolieren kann: linear, parabolisch oder splineförmig.

4.3 Automationsgestützte Landkartenfortführung

Die in Abschn. 4.1 bzw. 4.2 erläuterten Grundfunktionen der Rasterkartographie und die digitale Erzeugung von Kartensymbolen im Rasterformat erlauben es nun, im Zusammenhang mit der

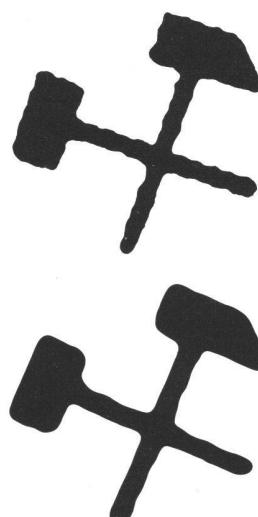


Abb. 6 Im digitalen Rastermodus von 32 Punkten/mm erzeugtes Kartensymbol auf dem Rasterplotter-Film (oben) und nach dem Offsetdruck (unten), etwa 35fach vergrössert.

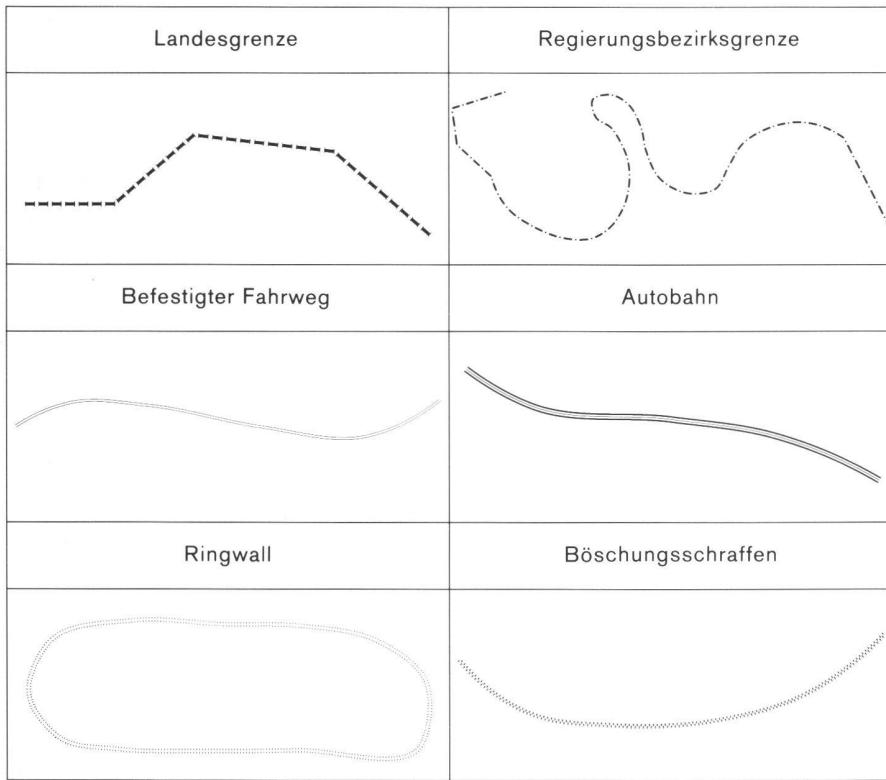


Abb. 7 Einige im digitalen Rastermodus von 32 Punkten/mm erzeugte Liniensymbole der Topographischen Übersichtskarte 1: 200 000 (aus [2]).

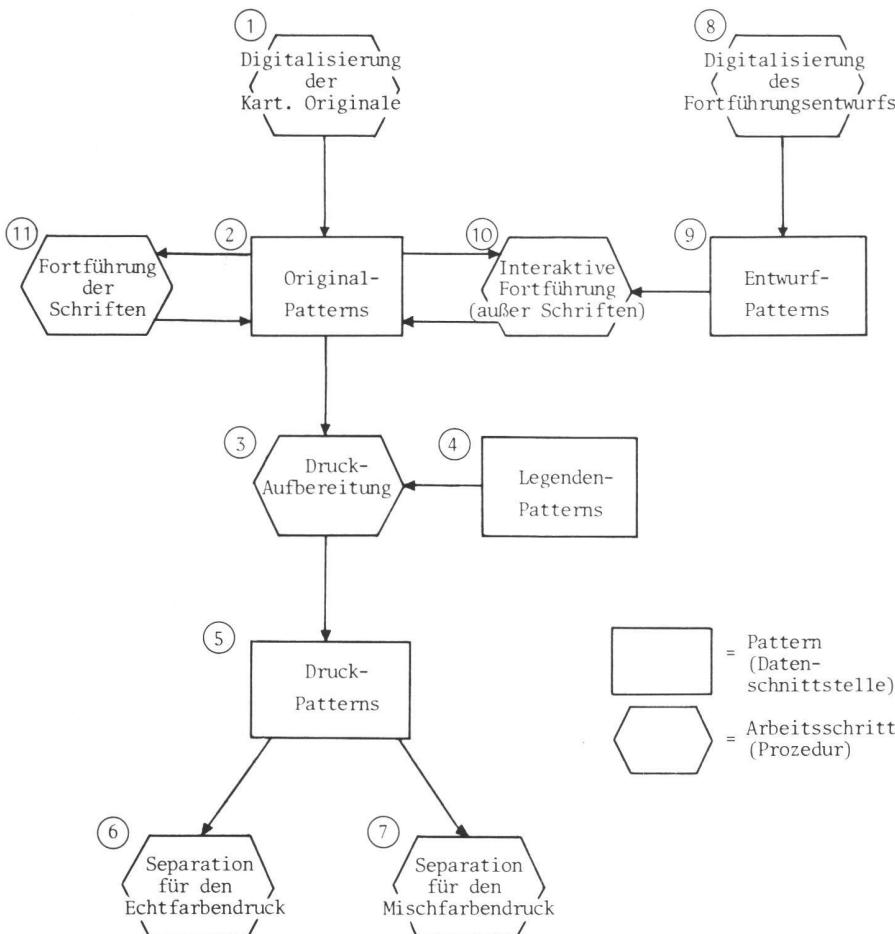


Abb. 8 Ablaufschema einer automationsgestützten Landkartenfortführung. (Der Begriff *Pattern* ist gleichbedeutend mit *digitale Rasterkarte*, *Separation* bedeutet *Druckfolie*.)

schnellen Datenerfassung durch Scanner (Abschn. 2) und Datenausgabe durch Rasterplotter (Abschn. 3) eine automationsgestützte Landkartenfortführung ins Auge zu fassen. Beim IfAG läuft derzeit ein entsprechenden Projekt für die amtliche Topographische Übersichtskarte 1: 200 000 (TÜK 200), in dessen Rahmen auch die zu den Abbildungen 4, 7 und zum Mischfarbendruck mitgeteilten Untersuchungen zu sehen sind.

Abb. 8 zeigt das Ablaufschema einer solchen automationsgestützten Landkartenfortführung. Nach diesem Ablaufschema werden sowohl die alten Kartenoriginale als auch der manuell in kürzelhafter Form hergestellte Fortführungsentwurf gescannt und dann gemeinsam auf den Rasterbildschirm gebracht, wo ein Operateur die im Entwurf vorgesehenen Löschungen und Ergänzungen vornimmt. Dabei werden Löschungen durch *«Radieren»* mit dem elektronischen Griffel, Ergänzungen lediglich durch Markieren einiger charakteristischer Stützpunkte der neuen Linienachsen (Abb. 9) bewirkt, worauf der Computer die vollständige Symbolisierung übernimmt (Abb. 10) und dabei auch niveaugleiche Kreuzungen, Überführungen, Unterführungen und Anschlüsse des neuen bezüglich des alten Zustandes richtig ausführt. Danach erfolgt ohne menschliche Beteiligung in Nachläufen des Computers die Herleitung der *«Druck-Patterns»* aus den fortgeführten digitalen Originale, d.h. die sog. Druck-Aufbereitung. Dabei werden automatisch die notwendigen Freistellungen, Flächenraster und Füllungsverdickungen eingebracht. Im letzten Schritt werden dann aus diesen Druck-Patterns auf dem Rasterplotter die Druckfolien (*«Separationen»*) für den Echt- oder Mischfarbendruck des Kartenblattes erzeugt. Weitere Einzelheiten sind aus [10] zu entnehmen.

Die hauptsächlichen Einsparungsmöglichkeiten dieses Verfahrens gegenüber der konventionellen Landkartenfortführung liegen in der automatischen Symbolerzeugung und Druck-Aufbereitung. Weitere Vorteile sind durch die erheblich reduzierte Passer-Problematik und durch die Vermeidung von graphischen Qualitätsverlusten bei Generationskopien im Verlauf mehrerer Fortführungszyklen gegeben.

4.4 Generalisierung

Bekanntlich ist die Frage *«Was ist kartographische Generalisierung?»* noch nicht soweit geklärt, dass man die Antwort in Form von Formeln, Algorithmen oder Tabellen geben könnte. Dementsprechend fehlt dem Programmierer einerseits ein genaues Rezept für seine Arbeit, andererseits dem Betrachter seiner Ergebnisse ein objektiver Beurtei-



Abb. 9 Definition der Linienachsen neuer Strassen durch Stützpunktfolgen am Rasterbildschirm (aus [2]).

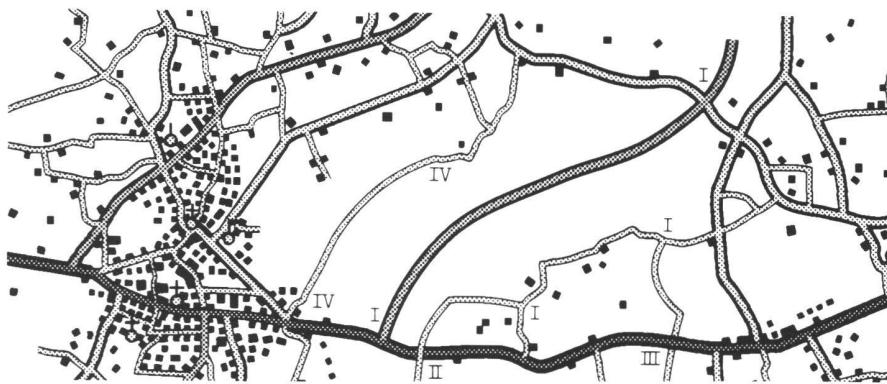


Abb. 10 Automatische Symbolisierung der neuen Strassen nach den Stützpunktfolgen des Bildes 10.

I = niveaugleiche Kreuzung bzw. Einmündung, II = Überführung, III = Unterführung, IV = Anschluss – jeweils der neuen Strassen bezüglich der alten (aus [2]).



Abb. 11 Automatische Waldgeneralisierung. Oben: Original 1:500 000 verkleinert auf 1:1 Mio. Unten: dasselbe nach der Generalisierung (aus [4]).

lungsmassstab. So verfügen wir heute (manuell und automatisch) nur über sog. heuristische Generalisierungsverfahren, deren Existenzberechtigung sich i. w. nur aus dem Umstand ergibt, dass der Informationsgehalt der Landkarte dabei augenscheinlich geringer wird, die Fehler sich in angebbaren Grenzen halten und wenigstens ein Teil der Kartographen und/oder Kartenbenutzer das Ergebnis versteht.

Was die digitale Rasterkartographie anbetrifft, so wurden bisher hauptsächlich Folgen von Verdickungs- und Verdünnungsoperationen von Flächen (siehe Abschn. 4.1) angewandt, um dadurch die Generalisierungs-Einzelfunktionen der Zusammenfassung und/oder Vereinfachung nach einem Abstandskriterium zu verwirklichen. (Gelegentlich wird zum gleichen Zweck auch das Verfahren der digitalen Tiefpass-Filtrierung angewandt, doch lässt sich dabei das erwähnte Abstandskriterium nicht so eindeutig fassen.) Darüber hinaus kann die Generalisierungs-Einzelfunktion der Auswahl nach einem Flächeninhaltskriterium realisiert werden, indem automatisch die Pixel der isolierten Objekte in einer Rasterkarte gezählt werden.

Als Beispiele seien die Abbildungen 11 und 12 angeführt: Abb. 11 enthält eine automatische Waldgeneralisierung von 1:500 000 nach 1:1 Mio., wie sie für einen Kartendruck des IfAG verwendet wurde. Zur Steuerung des Generalisierungsgrades stehen dabei fünf Parameter zur Verfügung, die eine gewisse Anpassung des Ergebnisses an besondere Benutzerwünsche zulassen. Abb. 12 zeigt einen automatischen Übergang von einer grob gescannten Einzelhaus- zu einer Flächen-Darstellung für Ortschaften, wie er jetzt in der amtlichen Kartographie Westdeutschlands stark diskutiert und wahrscheinlich für die topographischen Karten der Massstäbe 1:100 000 und kleiner derzeit eingeführt werden wird. Eine Höhenliniengeneralisierung im Rastermodus nach einem ähnlichen Prinzip wird in [7] beschrieben.

Schliesslich sei hier auch erwähnt, dass das häufig noch zur Generalisierung gezählte Problem der Verdrängung unter Einsatz einer Mischung von Methoden digitaler Raster- und Vektorkartographie bearbeitet worden ist, wobei der Anteil der Rasterkartographie in der Ermittlung von Objektabständen und Verdrängungsrichtungen lag, die Objekte selbst aber in Vektorform definiert blieben. Grössere, so bearbeitete Kartenausschnitte werden in [8] gezeigt.

4.5 Kartographische Mustererkennung

Bei der kartographischen Mustererkennung geht es darum, digitalisierten und nur ihrer Geometrie nach gegebenen

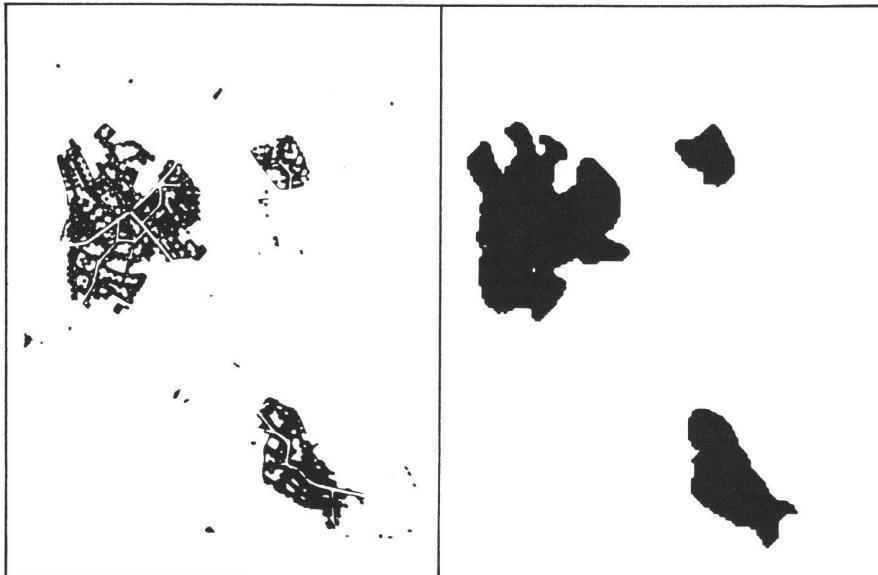


Abb. 12 Automatischer Übergang von einer Einzelhaus- (links) zu einer Flächen-Darstellung (rechts) für Ortschaften.

Kartenobjekten automatisch oder zumindest halbautomatisch (d.h. nach Vorgabe sparsamster Identifikationshilfen) eine Bedeutung zuzuweisen. Diese Bedeutung kann sich dabei aus geometrisch-strukturellen und/oder aus topologischen Objektmerkmalen herleiten lassen. Stochastische Merkmale spielen allerdings (im Gegensatz etwa zur photogrammetrischen Mustererkennung)

nicht) keine Rolle, weil KartenSymbole laut Musterblatt geometrisch sehr scharf determiniert sind. Kartographische Mustererkennung ist vor allem in der Rasterkartographie wichtig, weil nach der Datenerfassung kartographischer Originale mit Scannern zwar die Geometrie aller Kartenobjekte genau bekannt ist – nicht aber ihre Bedeutung. Eine Vektorisierung

dieser Rasterdaten vor der Mustererkennung ist natürlich möglich, aus Gründen einer wirkungsvollen Merkmalsextraktion aber oft nicht erforderlich. Manchmal wirkt eine solche Vektorisierung regelrecht zerstörerisch auf wichtige Mustererkennungsmerkmale wie Dicke, Nachbarschaft, Abstand und Topologie. Letzteres sei an einem Spezialfall der kartographischen Mustererkennung, der Höhenlinienkodierung (d.h. Höhenzuweisung zu gescannten Höhenlinien), gezeigt: Vektorisiert man die Höhenlinien nach dem Scan (wie es bei den meisten bekannten Höhenlinien-Kodiersystemen der Fall ist), verliert man in der Datenstruktur ihr kennzeichnendstes topologisches Merkmal, nämlich dass sich Höhenlinien stets gegenseitig umschließen, aber nicht schneiden. (Normalerweise umschließen dabei die unteren Höhenlinien die oberen, in einigen Vulkanen und Juratälern ist es aber umgekehrt.) Die Folge davon ist, dass danach bei der Höhenzuweisung viel mehr interaktive Arbeit notwendig ist, um diesen topologischen Verlust wieder wett zu machen. Um die 100-m-Höhenschichten in Abb. 13 verschieden einzufärben (d.h. mit ihren Höhenwerten zu versehen), genügte es hingegen, im Rastermodus nur drei Farbpunkte an den bezeichneten Tiefpunkten interaktiv ins gescannte Höhenlinienbild einzutragen. Die Farben

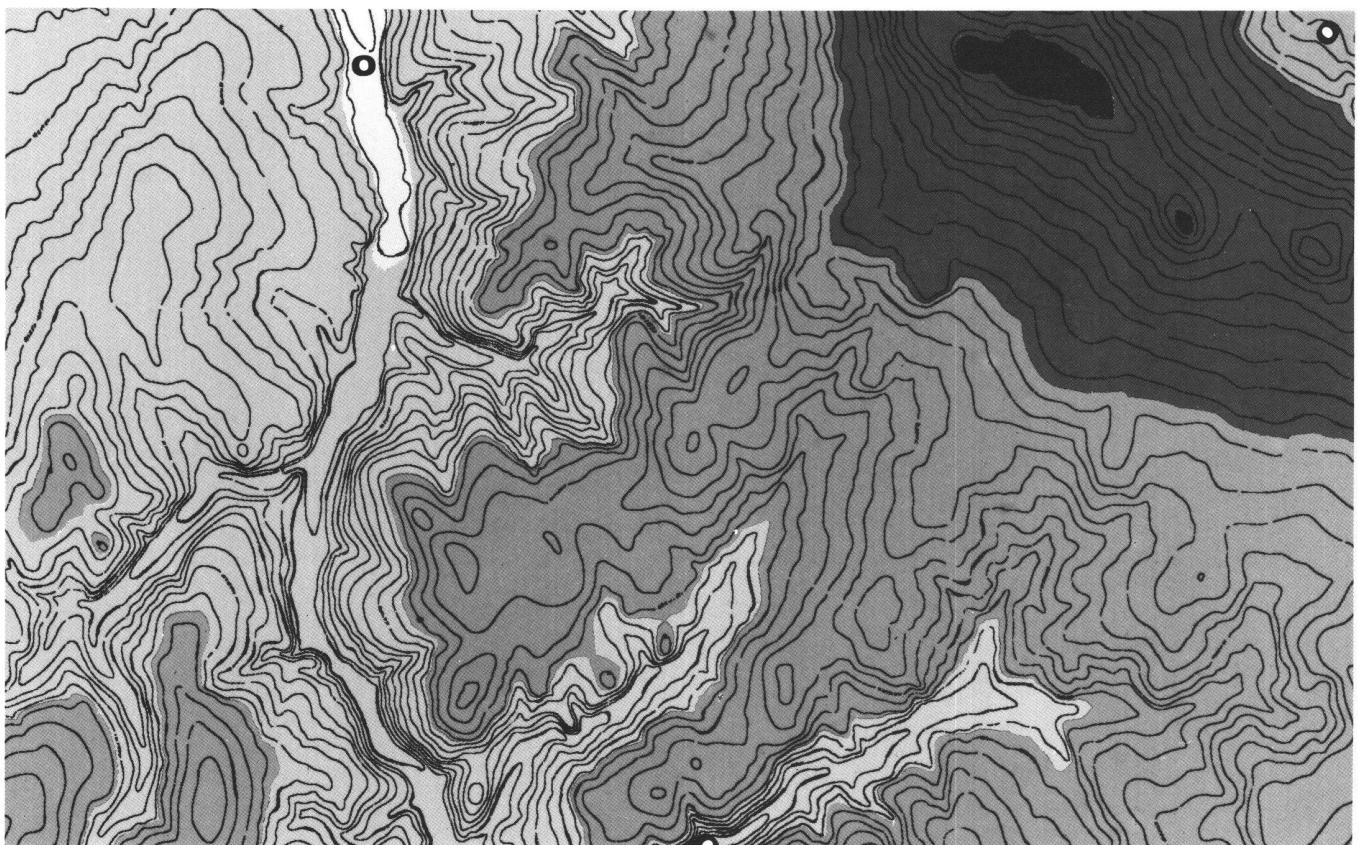


Abb. 13 Ergebnis der automatischen Einfärbung der verschiedenen 100-m-Höhenschichten, ausgehend von den drei dazu hier erforderlichen, interaktiv gesetzten Farbpunkten O (aus [3]).

dieser Punkte werden dann vom Computer automatisch bis zur nächsten 100-m-Linie ausgebreitet, dort automatisch geändert, dann wieder bis zur nächsthöheren 100-m-Linie ausgebreitet usw., bis die Gipfel erreicht sind. Dabei konnte der Computer die 100-m-Linien automatisch von den übrigen Höhenlinien anhand ihrer grösseren Dicke unterscheiden. Danach wurden die 10-m-Höhenschichten nach dem selben Verfahren der sukzessiven Farbausbreitung unterschiedlich eingefärbt – nur dass jetzt die erforderlichen ersten Farbkeime nicht interaktiv gesetzt werden mussten, sondern vom Computer automatisch an den Grenzen der jetzt schon bekannten 100-m-Höhenschichten gebildet werden konnten.

Neben Verfahren zur Mustererkennung bei Höhenlinien sind noch solche für isolierte Einzelpunktobjekte (auch isolierte Buchstaben) ziemlich weit entwickelt. Man berechnet für diese gewisse individuelle Merkmale (wie Flächeninhalt, Maximaldimensionen in x- und y-Richtung, Momente usw.) und vergleicht diese dann mit den entsprechenden Merkmalen der zu identifizierenden Musterobjekte.

Was demnach noch fehlt, ist ein allgemeiner verwendbares Programmsystem zur kartographischen Mustererkennung im Rastermodus, das auch für Linien- und Flächenobjekte verwendbar ist, auf kein bestimmtes Musterblatt festgelegt ist, Merkmalsintervalle statt spezieller Merkmalswerte anzugeben und ausser individuellen auch solche Objektmerkmale zu extrahieren gestattet, die sich einerseits nur auf Teile von Objekten und andererseits auf Beziehungen zwischen Objekten (Nachbarschaft, Abstand, Topologie usw.) erstrecken. Ausserdem sollten die der Erkennung dienenden Objektmerkmale nicht fest, sondern vom Anwender frei zur Klassifikation in einem n-dimensionalen Merkmalsraum kombinierbar sein. So könnte dann für jedes spezielle Kartenwerk mittels einer kartographischen Mustererkennungssprache ein »Erkennungsbaum« konstruiert werden, der mit seinen Astverzweigungen die Menge aller gescannten Objekte eines Kartenblattes anhand jeweils eines Merkmals fortgesetzt zweiteilt, bis in seinen Blättern die einzelnen Objekttypen des Kartenblattes schliesslich (bis auf interaktiv nachzubehandelnde Reste) unterschieden sind. Ein solches Programmsystem ist beim IfAG spezifiziert worden [12] und soll bald versuchsweise realisiert werden. Als Grundsoftware genügen dafür nach der vorliegenden Analyse die schon für die sonstigen Aufgaben der Rasterkartographie erforderlichen und vorhandenen Grundfunktionen der digitalen Bildverarbeitung. Doch sind dabei in ungünsti-

gen Fällen lange Rechenzeiten zu erwarten. Hier, aber auch für andere komplexe Aufgaben der Rasterkartographie muss daher nach Beschleunigungsmöglichkeiten gesucht werden. Nachdem diese in bezug auf die Optimierung von Rasteralgorithmen (insbesondere durch deren Hierarchisierung nach dem Motto »erst grob dann fein«) erschöpft zu sein scheinen, liegt es nahe, die durch moderne Computer-Hardware gegebenen Möglichkeiten näher zu untersuchen. Die in [1] ausführlicher beschriebenen Erfahrungen des IfAG auf diesem Gebiet seien im nächsten Kapitel noch kurz gestreift!

5. Vektorprozessoren in der Rasterkartographie

Seit einigen Jahren werden Computer mit nicht nur einem, sondern mehreren Rechenwerken gebaut, die entweder parallel geschaltet alle das gleiche Programm an verschiedenen Daten ausführen (»Parallelprozessoren«) oder (»Single-Instruction-Multiple-Data«-Computer) oder hintereinander geschaltet verschiedene Programme an den selben Daten ausführen (»Pipelineprozessoren«) oder (»Multiple-Instruction-Single-Data«-Computer). Solche Computer sind besonders zur gleichartigen Verarbeitung einer Menge von Daten, also von Vektoren (als n-Tupel von Zahlen im mathematischen Sinne), geeignet und werden daher auch »Vektorprozessoren« genannt. Bei geeigneten Aufgaben (wie lineare Algebra, mathematische Optimierung, partielle Differenzialgleichungen, assoziatives Information Retrieval, Signalverarbeitung und digitale Bildverarbeitung) übertreffen Vektorprozessoren wegen der Vielzahl ihrer Rechenwerke konventionelle Rechner erheblich an Geschwindigkeit. Zu diesen Aufgaben zählt auch die digitale Rasterkartographie, bei der jeweils die Pixel einer Rasterkartenzeile das im Vektorprozessor einheitlich zu verarbeitende n-Tupel von Zahlen darstellen.

Das IfAG hat aus einer Menge von etwa 20 heute existierenden Typen von Vektorprozessoren einen Pipelineprozessor kleiner bis mittlerer Grösse, den AP-120B, ausgewählt. Dabei waren der Preis (für das Gerät und für die einzelnen Rechenoperationen), die erforderliche Kapazität, die Qualität der mitgelieferten Basissoftware und die Integrierbarkeit in ein vorhandenes Computer-System entscheidend. Der AP-120B hat sechs gleichzeitig und im gleichen Takt arbeitende Rechenwerke, nämlich zwei Stufen eines Gleitkomma-Addierwerks, drei Stufen eines Gleitkomma-Multiplizierwerks und eine arithmetisch-logische Recheneinheit für ganze Zahlen (dabei sind Gleitkommazahlen 38 Bit und ganze Zahlen 16 Bit lang). Ausserdem erfolgen die Datentransporte auf

einem sehr vielfältigen Netz von Datenleitungen und bedingte Programmverzweigungen gleichzeitig mit den o. a. Rechenoperationen. So erreicht dieser Vektorprozessor bei elementaren Rechenoperationen Geschwindigkeiten, die nach hier durchgeföhrten Benchmark-Tests z. B. die der VAX etwa um das Zehnfache übertreffen und in der Grössenordnung des konventionell konstruierten Grossrechners CYBER 175 liegen. Allerdings ist er noch etwa 40mal langsamer als die sehr grossen (und teuren) Vektorprozessoren (wie z. B. die CRAY-1).

Der AP-120B-Vektorprozessor wird beim IfAG als Peripheriegerät zu einem Wirtrechner PDP 11/34 betrieben, an welchen ebenfalls ein hochauflösender farbiger Rasterbildschirm von Lexidata, ein elektrostatischer Rasterplotter von Versatec und Magnetplatten hoher Kapazität angeschlossen sind. Zunächst wurde ein »Datenverwaltungssystem« programmiert, das dem Benutzer diese a priori für eine Vielzahl von Anwendungen offene Konfiguration als eine Spezialmaschine für die digitale Bildverarbeitung erscheinen lässt [11]. Dieses Datenverwaltungssystem nutzt auch optimal alle Möglichkeiten der zeitlichen Parallelität verschiedener Datentransporte (zwischen Peripherie, Wirtrechner und Vektorprozessor) und Berechnungen (im Wirtrechner und Vektorprozessor) aus und erreicht so für die auf Bildschirm oder Magnetplatte ausgegebenen Rasterkarten-Ergebnisse eine Datenrate von ca. 80 KW₁₆/sec. Diese hohe Datenrate steht nach unseren Erfahrungen gut im Einklang mit der hohen Rechenleistung des Vektorprozessors bei typischen Aufgaben der Rasterkartographie, so dass letztere nun endlich voll ausgenutzt werden kann und z. B. bei der Berechnung der Abstandstransformierten einer Rasterkarte das 50fache des PDP 11/45-Rechners erreicht.

Der AP-120B kann in zweierlei Arten programmiert werden: Entweder indem man eine ganze Rasterkartenzeile als kleinste logische Dateneinheit betrachtet (Vektorprogrammierung) oder indem man ein einzelnes Pixel als solche ansieht (Pipelineprogrammierung). Häufig bietet letzteres rechenzeitliche Vorteile, erschwert aber die Programmierarbeit erheblich. Der Grund dafür ist nicht nur, dass bei Pipelineprogrammierung die Assemblersprache des Vektorprozessors benutzt werden muss, sondern vor allem auch, dass auf jeder Programmzeile bis zu 10 Befehle stehen können, die im Vektorprozessor auf dessen verschiedenen unabhängigen Ressourcen alle gleichzeitig ausgeführt werden und natürlich sinnvoll aufeinander abgestimmt sein müssen. Ein solches Pipelineprogramm besteht also aus

mehreren gleichzeitig gerechneten Spalten, in denen sich mehrere aufeinanderfolgende Pixel einer Rasterkartenzeile gleichzeitig in unterschiedlich weit fortgeschrittenen Verarbeitungszuständen befinden. Der Vorgang ist also durchaus mit einer Fliessbandproduktion in einer Fabrik zu vergleichen.

Abschliessend sei nochmals hervorgehoben, dass Vektorprozessoren die Rechenzeiten der kartographischen Rasterdatenverarbeitung erheblich verkürzen können. Es bleibt allerdings zu hoffen, dass dieser neue Rechntyp im Bereich der Ganzzahlenrechnung mit verschiedenen Wortlängen noch etwas flexibler werden möge.

Literatur

[1] Bücher, U.; Weber, W.: Zum Einsatz von Vektorprozessoren in der kartographischen Rasterdatenverarbeitung unter besonderer Berücksichtigung des AP-120B. Nachrichten

aus dem Karten- und Vermessungswesen (NKV), Reihe I, Heft 94, Frankfurt a. M. 1984 (im Druck).

[2] Giebels, M.: Automatische Symbolerzeugung für topographische Karten durch digitale Rasterdatenverarbeitung am Beispiel der Topographischen Übersichtskarte 1:200 000 (TÜK 200) NKV, Reihe I, Heft 92 1983, S. 11-25.

[3] Giebels, M.; Weber, W.: Höhenliniendigitalisierung nach Verfahren der Rasterdatenverarbeitung. NKV, Reihe I, Heft 88 1982, S. 61-75.

[4] Lay, H.-G.; Weber, W.: Waldgeneralisierung durch digitale Rasterdatenverarbeitung. NKV, Reihe I, Heft 92 1983, S. 61-71.

[5] Meurisch, H.; Weber, W.: Erfahrungen bei der Reproduktion der Topographischen Übersichtskarte 1:200 000 in verkürzter Skala mit einem digitalen Rasterdatenverarbeitungssystem. NKV, Reihe I, Heft 92 1983, S. 109-141.

[6] Schmidt, H.: Ein Beitrag zur mehrfarbigen Rasterreproduktion unter besonderer Berücksichtigung grossformatiger Kopierraster und einer optimalen Kombination zwischen Rasterwinkelung und Rasterweiten. Dissertation Universität Bonn, 1975.

[7] Schweinfurth, G.: Digitale Bildverarbeitung am Institut für Photogrammetrie und Topographie der Universität Karlsruhe - Kartographische Anwendungen. NKV, Reihe I, Heft 85 1981, S. 117-135.

[8] Volkert, J.: Algorithmen zur Generalisierung. NKV, Reihe I, Heft 75 1978, S. 111-132.

[9] Weber, W.: Rasterdatenverarbeitung in der Kartographie. NKV, Reihe I, Heft 88 1982, S. 111-190.

[10] Weber, W.: Konzept zur automationsgestützten Fortführung der Topographischen Übersichtskarte 1:200 000 im Rastermodus. Reihe I, Heft 91 1983, S. 55-75.

[11] Weber, W.: Ein Datenverwaltungssystem für digitale Rasterkarten. NKV, Reihe I, Heft 91 1983, S. 77-95.

[12] Weber, W.: Vorschlag für ein System zur kartographischen Mustererkennung nach Methoden der digitalen Rasterdatenverarbeitung. NKV, Reihe I, Heft 92 1983, S. 177-189.

Adresse des Verfassers:

Dr. Wigand Weber
Institut für Angewandte Geodäsie
Richard-Strauss-Allee 11
D-6 Frankfurt a. M. 70

Mobile Datenerfassung

R. Wenk

Einleitend wird auf die Vorteile der elektronischen Datenerfassung eingegangen. Es werden verschiedene Speichermedien vorgestellt, die sich für die mobile Datenerfassung eignen. Analysiert man die Anforderungen, die an mobile Datenerfassungsgeräte gestellt werden, so ist leicht erkennbar, dass die Erfassung von Daten und ihre Speicherung immer im Zusammenhang mit der gesamten Datenverarbeitung betrachtet werden müssen.

Abschliessend wird anhand des Datenerfassungsgerätes Wild-GRE3 gezeigt, wie die mobile Datenerfassung optimal realisiert werden kann.

Dans la première partie de ce travail, nous insistons sur les avantages de la saisie électronique des données et présentons divers types de mémoires pouvant convenir à la saisie mobile des données. L'analyse des exigences posées à des appareils mobiles de saisie des données et la mise en mémoire doivent être considérées en fonction de l'ensemble du traitement informatique des données.

Dans la seconde partie du travail, nous expliquons la façon optimale de réaliser la saisie mobile des données au moyen d'un appareil récent, le terminal de terrain Wild-GRE3.

fassen der Daten oder beim Eintippen in den Computer zur Datenweiterverarbeitung auftreten.

Es sind heute schon verschiedene Systeme für die mobile Datenerfassung verfügbar. Die meisten sind jedoch nicht feldtauglich. Sie sind daher bei extremen Umweltbedingungen wie Kälte, Wärme, Regen oder hoher Feuchtigkeit nicht mehr funktionstüchtig. Oft fehlt solchen Geräten außerdem eine ausreichende Flexibilität, die es erlaubt, die Daten bereits am Ort der Erfassung aufzubereiten, zu kontrollieren oder das Erfassungsprogramm der Aufgabe anzupassen.

1. Elektronische Datenerfassung – warum?

Datenerfassung und Datenverarbeitung mittels Computer sind im Zeitalter der Personalcomputer aktueller denn je. Dabei spielt die Erfassung der Daten in computergerechter Form eine wesentliche Rolle. Damit können die Möglichkeiten der EDV vollständig genutzt werden. Nun steht aber der Computer nicht immer dort, wo die Daten anfallen. In solchen Fällen kommt die mobile Datenerfassung zum Zuge, die eine Erfassung der Daten unter Einsatz besonderer Systeme nicht erst im

Rechenzentrum, sondern am Ort ihres Entstehens ermöglicht. Die Übertragung der Daten zur Weiterverarbeitung erfolgt über eine entsprechende Schnittstelle, über Modem, über Telefon oder über einen Datenträger, der zum weiterverarbeitenden Computersystem passt.

Auf diese Weise wird ein kontinuierlicher Datenfluss vom Entstehungsort der Daten bis zur Weiterverarbeitung erreicht. Der subjektive Einfluss des Menschen auf die Erfassung der Daten wird damit vermieden. Es entfallen Fehlerquellen, die beim manuellen Er-

2. Speichermedien für die mobile Datenerfassung [1]

Als digitaler Speicher eines Systems wird im allgemeinen ein Speichermedium bezeichnet, das die kleinste Einheit der Information, also ein Bit, zu beliebigem Zeitpunkt aufnehmen und zu einem anderen Zeitpunkt wieder abgeben kann. Es muss dabei zwei physikalische Zustände besitzen, die den beiden binären Werten 0 und 1 zugeordnet werden. Für die mobile Datenerfassung eignen sich als Speichermedien vorwiegend Halbleiterspeicher und Speicher, die auf magnetischen Eigenschaften beruhen.