

**Zeitschrift:** Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

**Band:** 93 (1995)

**Heft:** 4: ETHZ : Departement Geodätische Wissenschaften = EPFZ : Département des sciences géodésiques

**Artikel:** Vom Pixel zum Objekt : Strukturierung und Modellierung von Geo-Informationen

**Autor:** Stengele, R. / Nebiker, S. / Zanini, M.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-235141>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 13.10.2024

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

## Vom Pixel zum Objekt

### Strukturierung und Modellierung von Geo-Informationen

R. Stengele, S. Nebiker, M. Zanini

Die Scannertechnologie bietet die Grundlage, um analog vorliegende Karten- und Planwerke für Geo-Informationssysteme zu erschliessen. Eine über die Visualisierung hinausgehende Informationsverarbeitung setzt die Erkennung und Modellierung der abgebildeten Objekte im Rasterbild zwingend voraus. Im ersten Abschnitt werden verschiedene Möglichkeiten zur Strukturierung kartographischer Rasterdaten vorgestellt. Auf die Behandlung topographischer Karten durch rasterorientierte Ansätze wird detailliert eingegangen und es werden Resultate zur automatischen Erkennung der beiden Thematiken «Kartenschrift» sowie «Gebäude- und Siedlungsdarstellung» präsentiert. Der zweite Abschnitt beschreibt anhand des Themas «Gebäude» die Objektbildung und die Vektorisierung strukturierter Rasterdaten. Die Ermittlung der Gebäudekontur erfolgt durch ein robustes Schätzverfahren. Der dritte Abschnitt gibt einen Einblick, wie durch die Kombination strukturierter Rasterdaten mit Höheninformationen Objekte dreidimensional modelliert und daraus synthetische Landschaftsbilder generiert werden können.

*La technologie du scanner rend les cartes et plans, non disponibles sous forme numérique, accessibles aux Systèmes d'Informations Géographiques (SIG). Pour un traitement de telles informations, dépassant la simple visualisation, la reconnaissance et la modélisation des objets représentés dans l'image raster sont impérativement requises. Dans le premier paragraphe, diverses possibilités de structuration des données en format raster sont présentées, le traitement des cartes topographiques à l'aide de méthodes orientées raster est ensuite abordé en détail, à la suite de quoi des résultats relatifs à la reconnaissance automatique des thèmes «écritures cartographiques» et «représentation des bâtiments et des zones urbanisées» sont présentés. En prenant le thème «bâtiments» comme exemple, le second paragraphe décrit la formation d'objets et la vectorisation des données structurées en format raster. Des méthodes d'estimation robustes sont utilisées dans la définition des contours des bâtiments. Enfin, le troisième paragraphe donne un aperçu des possibilités de modélisation tridimensionnelle d'objets (par combinaison de données structurées en format raster et d'informations altimétriques) à partir desquelles des images synthétiques du terrain peuvent être générées.*

La tecnologia dello scanner rende le carte e i piani, non disponibili sotto forma numerica, accessibili ai Sistemi d'informazione geografica (SIG). L'elaborazione di informazioni di questo genere, che vanno oltre la semplice visualizzazione, presuppone il riconoscimento e la simulazione degli oggetti raffigurati sull'immagine raster. Il primo paragrafo presenta le diverse possibilità di strutturazione dei dati nel formato raster. In seguito, si provvede a esaminare in dettaglio il trattamento delle carte topografiche con metodi orientati sul raster e a presentare i risultati, relativi al riconoscimento automatico dei temi «nomenclatura delle carte» e «rappresentazione di edifici e insediamenti». Partendo dal tema «edifici», il secondo paragrafo descrive la vettorizzazione dei dati strutturati nel formato raster. Per la definizione dei contorni degli edifici si ricorre a solidi metodi di stima. Per concludere, il terzo paragrafo fornisce un esposto sulle possibilità di simulazione tridimensionale degli oggetti (combinando i dati strutturati in formato raster e l'informazione altimetrica) che, a loro volta, servono a generare delle immagini sintetiche del terreno.

## Erfassung von Geo-Daten durch Strukturierung topographischer Karten

R. Stengele

### Einleitung und Motivation

Digitale Daten sind das wertvollste Gut eines Geo-Informationssystems. Diese Erkenntnis hat sich mittlerweile auf breiter Front durchgesetzt und muss unumstritten akzeptiert werden. Entscheidendes Hindernis bei der Realisierung von GIS-Projekten stellt vielfach die fehlende Verfügbarkeit flächendeckender, digitaler Daten dar. Die Erfassung raumbezogener Informationen ist zeit-, personal- und damit kostenintensiv. Eine möglichst vielfältige Datennutzung gilt als Voraussetzung für den volkswirtschaftlichen Nutzen und nur in diesem Fall können die notwendigen Investitionen vertreten und politisch durchgesetzt werden.

Vielorts wurde dieses Problem erkannt, und es werden erhebliche finanzielle Mittel konzentriert, um die bestehende Lücke zwischen Angebot und Nachfrage an digitalen raumbezogenen Daten zu schliessen. Wesentliches Merkmal von Projekten wie ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem, Deutschland) oder TIS (Topographisches Informationssystem der Schweiz) ist der Aufbau landesweiter Datenbestände auf der Grundlage existierender Karten- und Planwerke. Aus mehreren Gründen kommt den amtlichen topographischen Kartenwerken, insbesondere des Massstabs 1:25 000, eine Schlüsselrolle zu (Abb. 1):

- Topographische Karten weisen eine neutrale Geometrie- und Sachaussage auf und eignen sich deshalb als Basisdaten für viele GIS-Anwendungen.
- Topographische Karten im Massstab 1:25 000 zeichnen sich generell durch einen hohen Informations- und Gebrauchswert aus.
- Vor allem in den Bereichen Planung und Umwelt werden GIS-Projekte mit Datenbeständen abgewickelt, die der Inhaltsdichte und der Genauigkeit von Karten des mittleren Massstabsbereichs (1:10 000 bis 100 000) entsprechen.

### Problemstellung

Die technische Grundlage zur Erschließung analoger Speichermedien bietet die Scannertechnologie: Karten und Pläne können schnell, günstig und hochqualita-

tiv in ein digitales Bild umgewandelt werden und stehen somit Informationssystemen grundsätzlich zur Verfügung. Das logische Informationsniveau von Rasterbildern beschränkt sich allerdings auf Grau- oder Farbwerte einzelner Pixel, die thematischen Inhalte bleiben dem Computer zunächst verborgen. Eine über die Visualisierung hinausgehende Informationsverarbeitung setzt deshalb die Erkennung der abgebildeten Objekte zwingend voraus.

Das Lesen und Interpretieren von Karten umfasst vorwiegend qualitative Vorgänge wie Identifizieren, Schätzen, Vergleichen und Deuten (HAKE, 1985). Gelingt es, diese Kombination aus optischer Sinneswahrnehmung und Denkleistung durch Computerprogramme zu simulieren, ist die Basis für eine automatische Auswertung bildhafter Informationen geschaffen. Diese Anstrengungen werden einer wissenschaftlichen Disziplin zugeordnet, die als Mustererkennung bezeichnet wird. Alle Tätigkeiten, die etwas voraussetzen, was gewöhnlich als Intelligenz bezeichnet wird, sind im Grunde Lebewesen vorbehalten. Simulationen werden deshalb allgemein unter dem Begriff Künstliche Intelligenz (KI) zusammengefasst. Es liegt auf der Hand, dass bei komplexen Aufgaben der Mensch einem Computersystem immer überlegen sein wird. Ein sinnvoller Einsatz sieht die Künstliche Intelligenz deshalb als beratendes und unterstützendes Medium oder zur Automatisierung gleichförmiger Tätigkeiten.

## Anwendungen und Verfahren

Gebiete, in denen die Informationsverarbeitung durch Mustererkennung unter bestimmten Voraussetzungen erfolgversprechend sein kann, sind vor allem die Dokumentenanalyse (Belegleser, Texterkennung), die Medizinische Diagnostik (Röntgen, Tomographien, EKG), die Qualitätskontrolle in der Fertigungsindustrie, verschiedenste Steuerungsapplikationen (Roboter, Verkehr, Sicherheitstechnik, Zielerfassung und -verfolgung für militärische Anwendungen), Prognostik (Wetter, Finanzmarkt, Wahlen etc.) und die Spracherkennung.

Diese Vielfalt bringt zwangsläufig ein nahezu unüberschaubares Spektrum von Techniken und Methoden mit sich. Die Palette umfasst verschiedenste numerisch-statistische Verfahren zur Behandlung von Objekt-Merkmalen oder strukturelle Verfahren, meistens basierend auf syntaktischen oder relationalen Ansätzen. Wissensbasierte Systeme rücken den Umgang mit Wissen in den Mittelpunkt und deren stark expandierender Zweig der Expertensysteme versucht, das problemlösende Verhalten menschlicher Experten zu kopieren. Durch die in jüngster Zeit

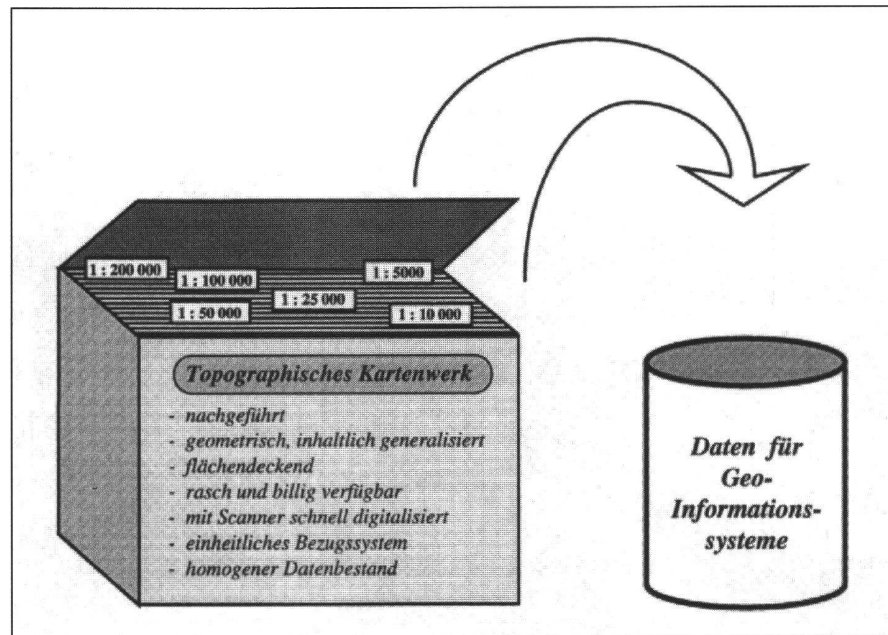


Abb. 1: Topographische Kartenwerke als GIS-Datenquelle.

stark propagierten Neuronalen Netze wird die Anatomie und Funktionsweise des menschlichen Gehirns nachgeahmt. Primitive Prozessoren ersetzen die Gehirnzellen (= Neuronen) und durch netzartige Verbindungen wird deren biologische Aktivierung und die Reizübertragung modelliert.

Allzu häufig wird die Diskussion um Niveau und Qualität dieser ganz unterschiedlichen Strategien zu sehr in den Vordergrund gerückt. Aus dem Blickwinkel eines technisch-rationell orientierten Ingenieurs sind die eingesetzten Hard- und Softwaremittel von sekundärer Bedeutung. Entscheidend ist, ob eine Aufgabe zweckmässig und wirtschaftlich erfüllt werden kann oder nicht.

## Kartographische Mustererkennung

Die Eignung einer Methode wird stets durch die Charakteristik der jeweiligen Anwendung beeinflusst, die bei der Interpretation kartographischer Vorlagen – in der Folge als Kartographische Mustererkennung bezeichnet – durch Inhalt und Graphik des jeweiligen Kartenwerks geprägt wird. In vier wichtigen Aspekten sind markante Unterschiede zu vielen anderen Anwendungen erkennbar:

- Karten sind in der Regel gross dimensionierte Vorlagen, die Datenmengen enorm. Eine Scannerauflösung von 20 Linien/mm (= 508 dpi) ergibt für ein Kartenblatt der Grösse 70 x 48 cm über 134 Mio. Pixel. In der Texterkennung sind maximal 3 Mio. Pixel zu verarbeiten und oft beschränken sich Bildgrössen auf 512 x 512 Pixel.

- Topographische Karten sind komplexe graphische Gebilde, der Signaturen- und Objektumfang ist entsprechend gross. Alleine für die Kartenschrift müssen einige Hundert Musterklassen unterschieden werden.

- Die zu erfassende graphische Information ist deterministischer Art. Die abgebildeten Objekte sind gemäss einem kartographischen Zeichensystem wohldefiniert und a priori bekannt («Legende»). Es besteht oft keine Notwendigkeit, mehr oder weniger veränderliche, stochastische Ausprägungen von Vertretern derselben Objektklasse als identisch erkennen zu müssen (Weber, 1988).

- Kartographische Vorlagen sind für einzelne Druckfarben stets binäre Bilder.

Der eng begrenzte Markt lässt ein breites Angebot an kommerzieller Software zur Kartographischen Mustererkennung nicht zu. Die wenigen anwendungsreifen Produkte eignen sich für die Strukturierung grossmasstäblicher, strichorientierter Vorlagen (z.B. Kataster-, Grundbuch-, Leitungspläne, Strassenkarten), deren Komplexität nicht mit topographischen Karten vergleichbar ist. Da die Erkennung und Klassifikation der Kartenobjekte in aller Regel auf der Basis von Vektordaten erfolgt, ist stets eine vorgängige Raster-Vektor-Konversion erforderlich. Topologische und geometrische Störungen sind in vielen Fällen unvermeidbar und der Musteranalyseprozess erfolgt mit unsicheren Daten. Nicht zuletzt deshalb zeichnet sich neuerdings ein Trend zur Integration von Rasterdatenstrukturen in den Erkennungsprozess ab. Weitere Kennzeichen der Kartographischen Mustererkennung sind der überwiegende Einsatz klas-

sischer Techniken, die gezielte Ausrichtung von Lösungen auf spezifische Teilaufgaben und die Konzentration auf prozedurale Strategien mit einer festen Abfolge einzelner Verarbeitungsschritte. Die Möglichkeit zur automatischen Erfassung aller Inhalte einer topographischen Karte muss zur Zeit als unrealistisch beurteilt werden. Programmsysteme, die in der Lage sind, Karten weitgehend selbständig zu lesen, zu interpretieren und die Resultate einem Informationssystem zur Verfügung zu stellen, bleiben wohl zumindest mittelfristig Wunschdenken. Zur Zeit wird versucht, den Einsatz automatischer Verfahren auf die Extraktion gewisser Karteninhalte zu beschränken und Automatismen in halb-automatische Erfassungskonzepte einzugliedern.

Das geschilderte Umfeld war Motivation und Grundlage für die Entwicklung eines rasterorientierten Programmsystems, das zur automatischen Digitalisierung topographischer Karten eingesetzt werden kann. Das Hauptaugenmerk galt den Themen «Kartenschrift» sowie «Gebäude- und Siedlungsdarstellung» in den amtlichen Kartenwerken des Bundesamtes für Landestopographie.

## Rasterorientierte Methoden der Mustererkennung

### Bildvergleich durch Korrelation

Eine der traditionellsten Formen der rasterorientierten Mustererkennung ist das bewährte Template Matching: Ein als Rasterbild vorliegender Prototyp eines Musters wird pixelweise über das Suchbild geschoben und an jeder Stelle wird die Ähnlichkeit des Prototyps mit dem von ihm überdeckten Teil des Suchbildes ermittelt. Ein Muster gilt als erkannt, sobald die Ähnlichkeit einen vorgegebenen Schwellwert übersteigt. Template Matching beruht also auf dem Vergleich zweier Bilder, der in der Digitalen Bildverarbeitung durch Korrelationsberechnungen realisiert wird. Die Beurteilung der Ähnlichkeit erfolgt anhand von Korrelationskoeffizienten, die aus den Grauwerten korrespondierender Pixel berechnet werden. Grundsätzlich sind verschiedenste Korrelationsmodelle denkbar, in der Praxis wird man sich auf mathematisch und rechentechnisch leicht zu behandelnde Modelle beschränken.

Die Vorteile dieser Methode liegen auf der Hand: Das Konzept und die Algorithmik sind einfach und überschaubar. Vor allem aber kann die Ähnlichkeitsermittlung direkt im gescannten («originalen») Rasterbild erfolgen; eine vorgängige Transformation oder Konversion ist nicht notwendig. Nachteile dieser Methode sind der enorme Rechenaufwand auch bei einfachen Korrelationsmodellen und die Tatsache, dass die Orientierung und die Grösse der gesuchten Muster a priori bekannt sein

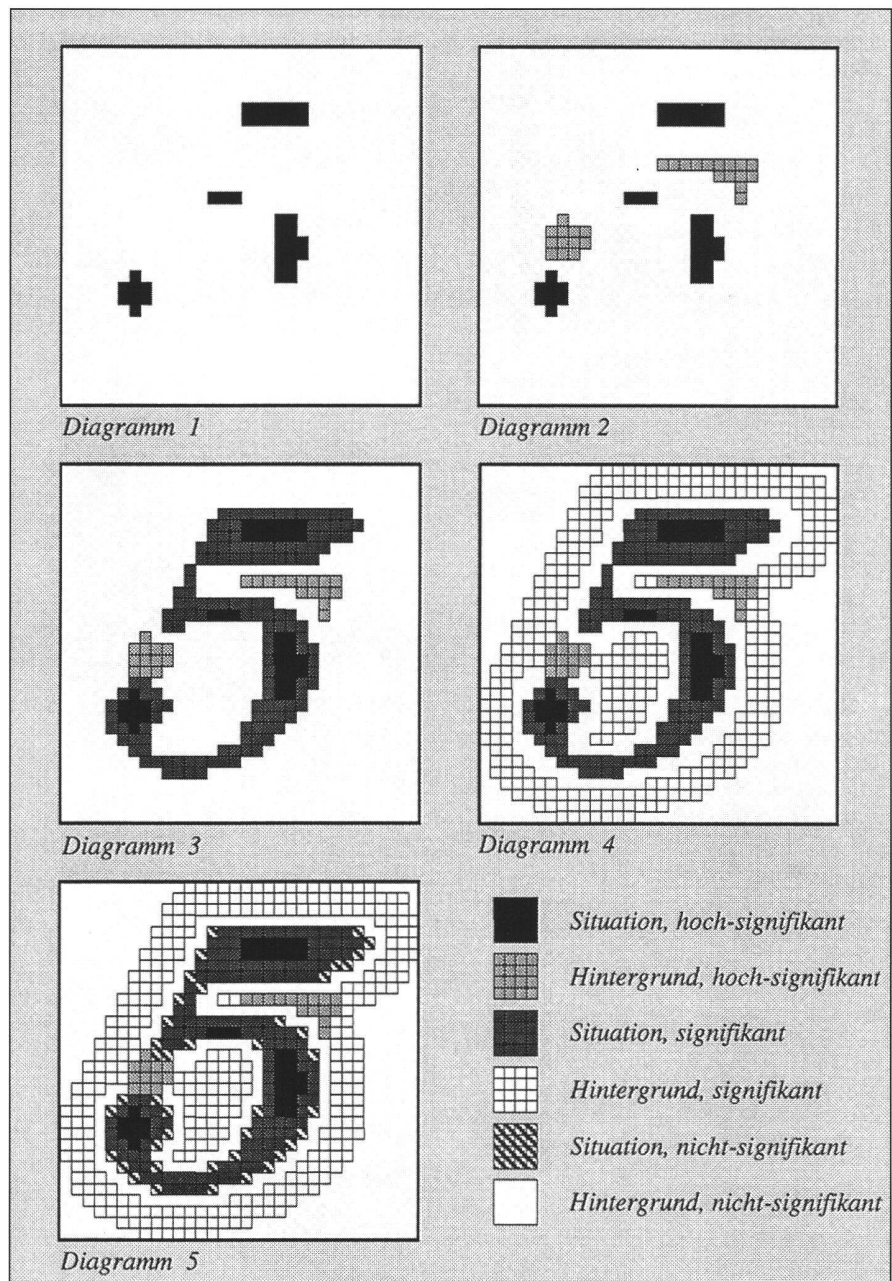


Abb. 2: Hierarchische Template-Definition.

muss. Der Einfluss von Rotation und Massstab bewirkt, dass bereits eine Drehung von 3 Gon oder eine Grössenänderung von 5% zum Versagen der Korrelation führen kann.

Um das Potential von Template Matching für die Kartographische Mustererkennung freizulegen, muss die Methode vor allem in zweierlei Hinsicht optimiert werden: Die Robustheit gegenüber Variationen in Grösse und Orientierung muss verbessert und die Effizienz der Korrelationsberechnung muss gesteigert werden. Eine zentrale Entwicklung, die beide Optimierungsziele verfolgt, wird durch Abb. 2 illustriert: Die Optimierung basiert auf dem Grundgedanken, dass die einzelnen Pixel eines Templates von unterschiedlicher Bedeutung für die Form eines Kartenobjektes

sind. Die Diagramme 1 und 2 zeigen diejenigen Pixel, die für das dargestellte Schriftzeichen hoch-signifikant sind. Die Diagramme 3 und 4 enthalten zusätzlich alle anderen relevanten Pixel. Nicht-signifikante Bildelemente (im wesentlichen vom Kartenobjekt entfernt liegende Bildteile und Objektränder) sollen den Bildvergleich nicht beeinflussen und werden deshalb ausgeblendet (Diagramm 5). Die Signifikanz der einzelnen Pixel wird numerisch durch unterschiedliche Gewichtung bei der Korrelationsberechnung berücksichtigt.

Wird die Definition der Templates geschickt vorgenommen (also die Betonung signifikanter und das Ausblenden unwichtiger Bildteile), können mit diesem Verfahren weitaus höhere Erkennungsraten

als mit herkömmlichen Korrelations-techniken erzielt werden. Plausible Korrelationswerte ergeben sich auch dann, wenn die Strichstärke variiert und andere Kartenelemente in unmittelbarer Nähe liegen oder das gesuchte Kartenobjekt berühren. Ausserdem kann ganz gezielt auf die wenigen aber entscheidenden Unterschiede ähnlicher Muster (z.B. die Ziffern 3 und 8) eingegangen und somit die Anzahl von Verwechslungen reduziert werden.

Die spezielle Template-Definition bildet auch die Basis für eine wesentlich bessere Effizienz des Verfahrens. Die Korrelationsberechnung erfolgt nicht gemäss der Zeilen-/Spalten-Anordnung im Rasterbild, sondern entsprechend der Pixel-Bedeutung. Der Bildvergleich erfolgt stufenweise, von Diagramm 1 bis Diagramm 4, wobei nach jeder Stufe geprüft wird, ob die Ähnlichkeit genügend ist. Nur in diesem Fall wird die Korrelationsberechnung fortgesetzt. Die Konzentration gilt folglich zuerst den signifikanten Bildelementen, auf Details wird zunächst bewusst verzichtet. Die aufwendige Korrelationsberechnung kann in sehr vielen Fällen nach dem Vergleich nur sehr weniger Pixel abgebrochen werden, wodurch sich der Rechenaufwand erheblich reduziert.

Der Erfolg der beschriebenen Technik des Template Matchings hängt ganz entscheidend von der Template-Definition ab. Durch die Festlegung unterschiedlicher

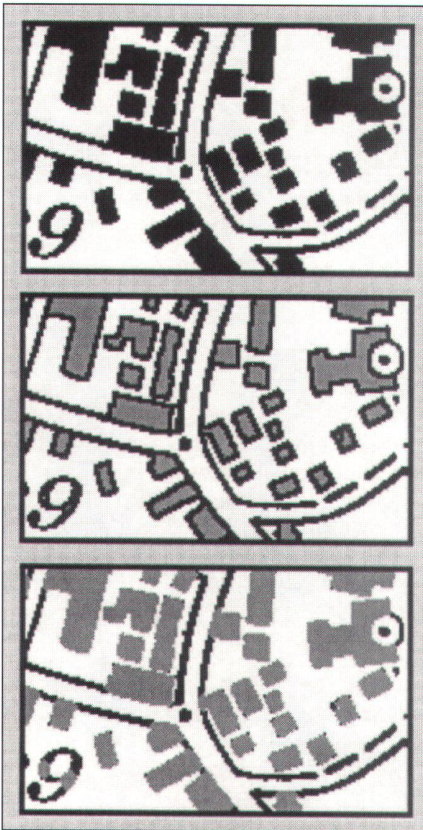


Abb. 3: Grundprinzip der Flächen-Linien-Trennung durch lokale Rasteroperationen.

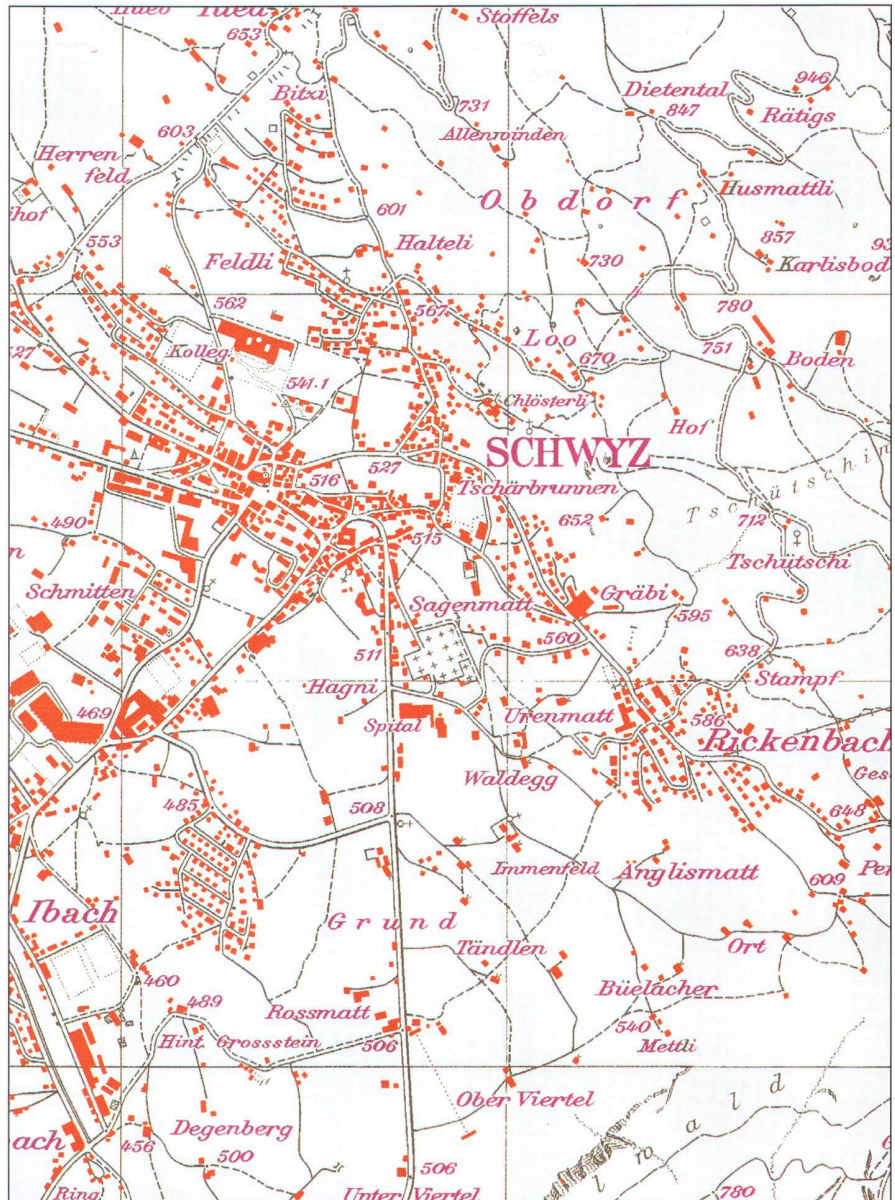


Abb. 4: Automatisch erkannte Kartenschrift und Gebäudedarstellung.

Gewichte wird das Informationsniveau des ursprünglich zweifarbigen Rasterbildes verbessert. Ein durch Fakten und Regeln nur schwer formalisierbares, «graphisches» Wissen (unterschiedliche Grauwerte bedeuten unterschiedliche Gewichte) kann auf diese Art in das Erkennungssystem eingebracht werden. Im KI-Umfeld wird allgemein von Wissen gesprochen, wenn ein Datenbestand mit spezifischem Wissen über die Bedeutung der Daten angereichert wird. Ein auf dieser speziellen Definition basierendes Korrelationsverfahren wird konsequenterweise als wissensbasiertes Template Matching bezeichnet.

### Lokale Rasteroperationen

Die Berechnung eines Grauwerts aus mehreren Grauwerten seiner lokalen Umgebung wird als lokale Rasteroperation bezeichnet. In der Digitalen Kartographie

haben lokale Operationen, wie z.B. Flächenfüllung, Abstandstransformation, Skelettierung, Erosion («Verdünnen») und Dilatation («Verdicken») etc. grosse Bedeutung erlangt. Es ist naheliegend, diese Operationen auch zur Strukturierung kartographischer Rasterdaten einzusetzen. In den seltensten Fällen wird aber durch eine einzige Operation das gewünschte Ergebnis erzielt. Der Schlüssel zum Erfolg liegt vielmehr in der geeigneten Kombination mehrerer Operationen, die in einer fest vorgegebenen Abfolge nacheinander ausgeführt werden. Abb. 3 zeigt, wie zum Beispiel durch eine Abfolge von Erosion und Dilatation flächenhafte von linienartigen Kartenobjekten getrennt werden können. Dieses Prinzip kann in Kombination mit anderen Operationen zu einer leistungsfähigen Prozedur erweitert werden, mit der erstaunliche Resultate erreichbar sind.

## Beispiele und Resultate

Die Behandlung der beiden Thematiken «Kartenschrift» sowie «Gebäude- und Siedlungsdarstellung» belegt die Leistungsfähigkeit der beschriebenen rasterorientierten Mustererkennung. Ziel ist die automatische Extraktion in der Schwarzfolie der topographischen Karte 1:25000 des Bundesamts für Landestopographie. Die 70 x 48 cm ( $\cong 17.5 \times 12$  km) grossen Kartenblätter wurden mit einer geometrischen Auflösung von 20 L/mm (= 508 dpi) gescannt. Die Extraktion der Kartenschriftelemente erfolgt mit der Methode des wissensbasierten Template Matchings, die Gebäude- und Siedlungsdarstellung wird im wesentlichen durch eine Prozedur lokaler Rasteroperationen extrahiert.

Abb. 4 zeigt für einen Kartenausschnitt der Grösse 2300 x 3100 m (Blatt Nr. 1152-Ibergereg) das vollständig automatisch abgeleitete Strukturierungsergebnis: Die erkannten Kartenschriftelemente, Gebäude- und Siedlungsflächen sind farblich gekennzeichnet. Bei 362 klassifizierten (horizontalen) Schriftzeichen wurden neun fehlerhaft und vier nicht erkannt (= Rückweisungen). Daraus leitet sich eine Erkennungsrate von 96.4% ab. Bei über 1400 Gebäuden (6 Fehlklassifikationen, 25 Rückweisungen) ergibt sich eine Erkennungsrate von 97.8%. Mit einem Rechenaufwand von 16 Minuten auf einer konventionellen Workstation (IBM RISC-System/6000, Modell 390) konnten 59% der ca. 680000 schwarzen Pixel eine thematische Bedeutung zugeordnet werden. Aus einer mehrere Kartenblätter umfassenden Stichprobe können für ein repräsentatives Kartenblatt («average case») die folgenden Resultate geschätzt werden:

### Kartenschrift:

In der Schwarzfolie einer topographischen Karte werden über 85% des gesamten Schriftgutes durch ca. 650 zu unterscheidende Schriftzeichen (3 Fonts, 10 verschiedene Schriftgrössen) abgedeckt. Sind z.B. in einem Kartenblatt 8500 dieser Schriftzeichen enthalten, muss mit je 200 Fehlklassifikationen und Rückweisungen gerechnet werden. Für 25700 Schriftzeichen in drei Kartenblättern 1:25000 wurde eine Erkennungsrate von 95.8% erzielt. Bei eingeschränkter graphischer Qualität des Schriftbildes muss ein schlechteres Klassifizierungsergebnis einkalkuliert werden. Für einen 650 Zeichen umfassenden Satz ist von einem Rechenaufwand von 5 bis 6 Stunden pro Kartenblatt auszugehen. An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass die Kartenschrifterkennung im Vergleich zur herkömmlichen Texterkennung in Schriftdokumenten ein weitaus komplexeres Problem darstellt. Die Voraussetzungen

und die Anforderungen sind zu unterschiedlich, als dass die hier präsentierten Resultate mit OCR («Optical Character Recognition»)-Anwendungen verglichen werden könnten.

### Gebäude- und Siedlungsdarstellung:

Bei einer «mittleren» Besiedlungsdichte mit 10000 Gebäuden pro Kartenblatt werden 9800 Gebäude (Erkennungssicherheit = 98%) korrekt erkannt. Zusätzlich werden ca. 500 andere Kartenelemente als Gebäude klassifiziert («Fehlklassifikationen»), sofern die Kartenschrift in der Schriftgrösse über 2.0 mm vorgängig eliminiert wurde. Zu beachten ist, dass Erkennungsraten die Fehleranzahl in Relation zur Anzahl klassifizierter Muster ausweisen. Aus diesem Grund berechnet sich für dünn besiedelte Gebiete (v.a. Gebirgsblätter, mit wenigen Gebäuden) eine ungünstige Erkennungsrate, obwohl die absolute Fehleranzahl kleiner ist. Der Aufwand für die manuellen Korrekturarbeiten kann aufgrund der Erkennungsrate somit nur sehr bedingt abgeschätzt werden. Der Rechenaufwand für die automatische Extraktion liegt bei weniger als 2 Stunden, die Fehlerkorrektur erfordert maximal 4 Stunden.

## Anwendungen

Die Kartographische Mustererkennung kann für viele Anwendungen eine geeignete Methode zur Datenerfassung sein. Drei bedeutende Einsatzgebiete sind hervorzuheben:

- Automatische Datenerfassung zum sukzessiven Aufbau landesweiter topographischer und kartographischer Datenbanken.
- Strukturierung kartographischer Rasterdaten mit dem Ziel, einzelne Arbeitsschritte in der Produktion und in der Nachführung von Kartenwerken zu rationalisieren.
- Extraktion strukturierter, topographischer Informationen als Grundlage für eine dreidimensionale Modellierung der abgebildeten Objekte. In Kombination mit Digitalen Geländemodellen können daraus 3-dimensionale Landschaftsbilder generiert werden.

Immer dann, wenn der Kompromiss zwischen Wirtschaftlichkeit und Perfektion in den Vordergrund rückt, werden automatische Verfahren konkurrenzfähig. Sehr häufig können Anwenderbedürfnisse befriedigt werden, wenn mit einem Aufwand, der nur 10% herkömmlicher Methoden ausmacht, Erkennungserfolge von 95% erreichbar sind.

## Automatische Vektorisierung und Strukturierung von Gebäuden

S. Nebiker

### Einleitung und Motivation

Räumliche Informationen, welche wie oben beschrieben aus Rasterdaten extrahiert wurden (z.B. flächenförmige Objekte), liegen in einer ersten Phase zumeist noch in Rasterform vor. Solche Daten haben zwar einen wertvollen Informationsgehalt, sind aber ohne eine zusätzliche logische Strukturierung und eine Umwandlung in Vektorform für die meisten GIS-Projekte nur bedingt einsetzbar. In der Folge soll ein spezifisches Verfahren zur automatischen Vektorisierung von Gebäuden auf der Basis von digitalen topographischen Karten vorgestellt werden. Dieses wurde mit den folgenden Zielsetzungen entwickelt:

- Möglichst grosser Automationsgrad bedingt durch grosse Datenmengen (>10000 Gebäude pro Kartenblatt)
- Erzielung einer optimalen Genauigkeit bei relativ geringer geometrischen Auflösung (Pixelkarte: 20 Linien/mm)
- Massstabsunabhängigkeit
- Ausnützung von kartographischen Regeln: Minimaldimensionen, Parallelität, Rechtwinkligkeit.

### Ausgangsdaten

Als Ausgangsdaten dienen topographische Rasterdaten, im speziellen Fall gescannte Landeskarten 1:25'000 (Pixelkarten) der Eidg. Landestopographie. Diese Daten sind zwar generalisiert und teilweise geometrisch verdrängt, sie sind jedoch flächendeckend verfügbar und haben zumeist einen guten Nachführungsstand. Auf der Basis der Pixelkarte werden die flächenförmigen Objekte mittels der von R. Stengele beschriebenen Methode der Kartographischen Mustererkennung erkannt und als eigene Farbe extrahiert



Abb. 5: Pixelkarte mit erkannten flächenförmigen Objekten (dunkel).

(Abb. 5). Dieser separierte Farblayer bildet die Grundlage für die nachfolgend beschriebene Vektorisierung.

## Vektorisierungsverfahren

Das entwickelte Verfahren setzt sich aus mehreren Verarbeitungsschritten zusammen:

- Aufbereitung der Rohdaten
- Schätzung der Kontursegmente
- Segmentausgleichung
- Qualitätskontrolle
- Ausgabe der Resultate.

### Aufbereitung der Rohdaten

In einem ersten Schritt werden die Konturen der einzelnen flächenförmigen Objekte ermittelt (Abb. 6). Im Gegensatz zu den meisten Standardverfahren, welche auf einer Verbindung der Randpixel beruhen, wird mit der Verwendung der eigentlichen Pixelkonturen eine flächen-invariante Konturextraktion gewährleistet. Diesem Aspekt kommt bei relativ geringen Scannerauflösungen eine besondere Bedeutung zu. Als Resultat liegen nun identifizierte Objekte bestehend aus einem oder – im Fall von Innenhöfen – mehreren geschlossenen Konturpolygonen vor. Diese bilden die eigentlichen Rohdaten für die weiteren Verarbeitungsschritte.

### Robuste Segmentschätzung

In einem zweiten Arbeitsschritt erfolgt die Schätzung der einzelnen Geradensegmente eines Objekts mit Hilfe einer robusten linearen Regression. Dabei wurde ein Schätzer gewählt, welcher die Summe der absoluten Verbesserungen minimiert. Die Verwendung eines robusten Schätzers hat die folgenden Vorteile:

- Simultane Bestimmung des Datenintervalls und der Geradenparameter für jedes einzelne Segment. Bedingt durch die Robustheit des Schätzers müssen dazu die Eckpunkte in den Datensätzen nicht pixelscharf bestimmt werden.
- Erzielung optimaler Resultate bei geringer Scannerauflösung und damit beschränkter graphischer Qualität.

### Segmentausgleichung

Im Anschluss an den eigentlichen Vektorisierungsvorgang folgt im Normalfall eine Ausgleichung aller Kanten eines Objekts unter Berücksichtigung von geometrischen Bedingungen (Rechtwinkligkeit, Parallelität) (Abb. 7). Dazu werden Gruppen von möglichen parallelen und rechtwinkligen Geraden gebildet und ausgeglichen, wobei die einzelnen Segmente in Funktion von deren Länge gewichtet werden. Schliesslich werden die Schnittpunkte der ausgeglichenen Geradensegmente bestimmt.

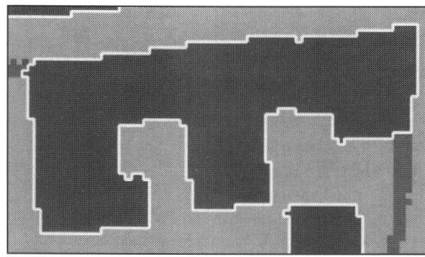


Abb. 6: «Rohes» Konturpolygon.

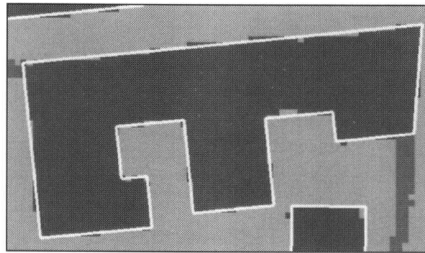


Abb. 7: Ausgegliche Gebäudekanten.

### Qualitätskontrolle

Im letzten Arbeitsschritt wird die Qualität der ausgeglichenen Gebäudekanten durch einen rechnerischen Vergleich mit den Rohdatenpunkten überprüft. Bei Überschreitung eines wählbaren Toleranzwertes wird das Objekt für eine allfällige manuelle Bearbeitung auf die ursprünglichen «rohen» Konturdaten (Abb. 6) zurückgesetzt.

### Datenausgabe

Die Resultate können in einer Auswahl von Vektorformaten (z.B. DXF) ausgegeben werden. Da Typ bzw. Qualität eines Objek-

tes als Attribut ständig mitgeführt werden, können beispielsweise auch nur solche Gebäude ausgegeben werden, welche eine manuelle Nachbearbeitung benötigen.

## Implementierte Lösung

Das beschriebene Verfahren wurde als Programmpaket AUTOVEC unter UNIX auf IBM RS/6000 und SUN implementiert. Ausführliche Tests haben Bearbeitungszeiten – inkl. Vorverarbeitung der Rasterdaten – von total ca. 1 Tag pro Kartenblatt ergeben (System und Operateur). Der Anteil vollautomatisch vektorisierter Gebäude beträgt über 99.5%. Die erzielten Genauigkeiten liegen im Sub-Pixel-Bereich und übertreffen damit die manuelle Digitalisierengenauigkeit.

## Anwendungen

Mögliche – und zum Teil bereits realisierte Anwendungen umfassen:

- Kartographie: Vektorisierung bestehender Kartenwerke (z.B. Projekt VECTOR25 der L+T)
- Telecom: Modellierung der Signalausbreitung in neuen Mobilfunknetzen (Telecom PTT)
- 3D-Visualisierungen in Planung, Architektur, Militär, etc. (Abb. 8)
- Digitale Photogrammetrie: Unterstützung bei der semi-automatischen Extraktion von 3-D-Objekten aus digitalen Orthophotos.

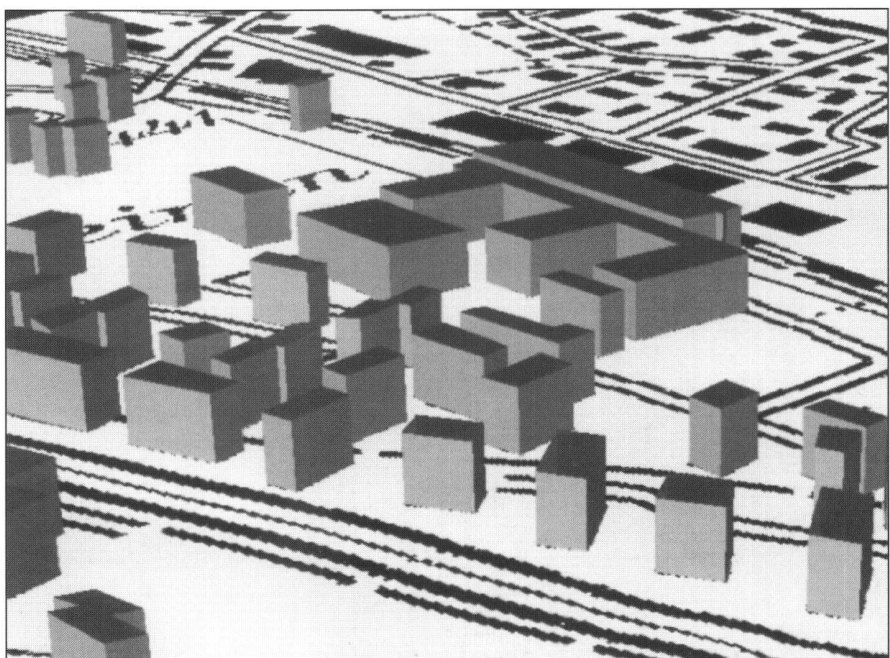


Abb. 8: 3D-Visualisierung von automatisch erkannten Gebäuden (Vordergrund), Pixelkarte und DHM25.

## Modellierung und Visualisierung 3-dimensionaler Landschaftsbilder

M. Zanini

### Einleitung

Mit dem Bedürfnis nach 3-dimensionalen raumbezogenen Informationen steigt auch die Nachfrage nach 3-dimensionalen Geographischen Informationssystemen. Die kombinierte Verwaltung, Auswertung, Analyse und Darstellung von Lage und Höhe gewinnt zum Beispiel in den Bereichen der Raum- und Stadtplanung, der Wasserwirtschaft, der Umweltforschung und -überwachung sowie der Geologie zunehmend an Bedeutung. Die Realisierung eines 3D-GIS ist einerseits aufgrund der hohen Anforderungen an die Datenerfassung, andererseits wegen der Komplexität der Datenmodellierung mit einem grossen wirtschaftlichen und zeitlichen Aufwand verbunden. Es ist daher notwendig, Hilfsmittel bzw. Übergangslösungen zu finden, die die genannten Bedürfnisse teilweise oder vollständig abdecken. Ein Lösungsansatz besteht zum Beispiel darin, konventionelle 2-dimensionale raumbezogene Informationen mit Unterstützung impliziter oder expliziter Höhenangaben 3-dimensional zu modellieren und darzustellen. Diese Methode erlaubt es, komplexe Zusammenhänge in eine für den Menschen besser verständliche und interpretierbare Form zu bringen.

### 3D-Landschaftsbilder

In diesem Artikel soll ein Verfahren zur automatischen und rationellen Generierung von 3-dimensionalen synthetischen Landschaftsbildern vorgestellt werden. Als Grundlage dienen die digitalen Landeskarten (Pixelkarten) und die digitalen Höhenmodelle (RIMINI, DHM25) des Bundesamtes für Landestopographie. Der Ablauf lässt sich folgendermassen gliedern:

- Extraktion 2-dimensionaler logischer Bildinhalte aus der digitalen Karte mittels Kartographischer Mustererkennung
- Vektorisierung flächenförmiger Objekte
- Zentralperspektivische Darstellung der Landeskarte durch Kombination der digitalen Karte mit dem digitalen Höhenmodell
- 3-dimensionale Modellierung der logischen Bildinhalte
- Darstellung der 3D-Modelle in Kombination mit der zentralperspektivischen Ansicht der Landeskarte.

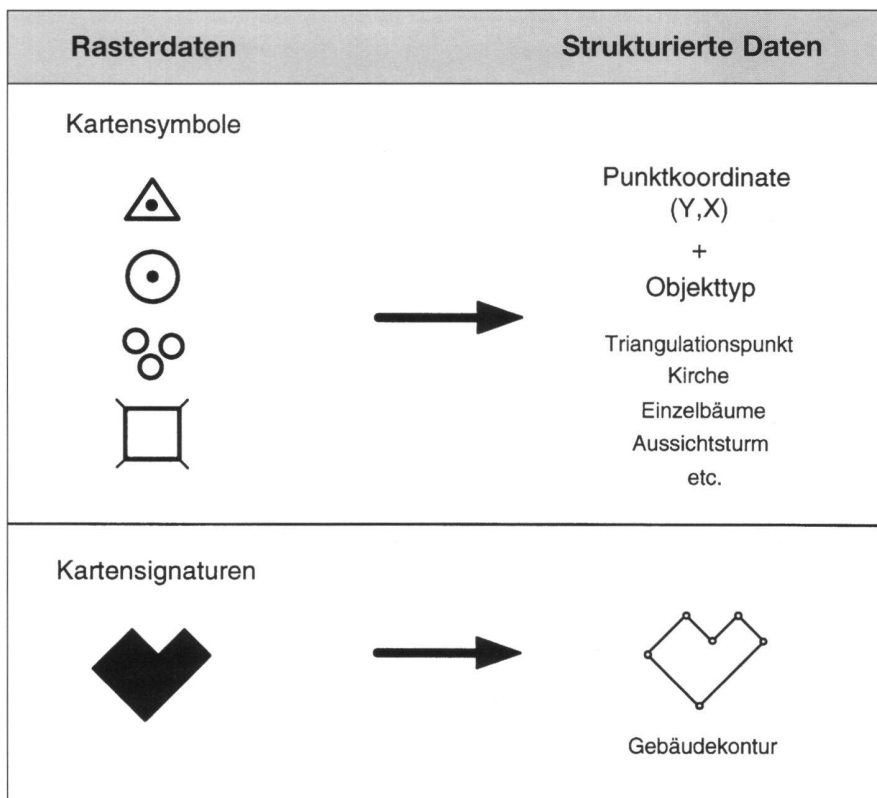


Abb. 9: Extraktion raumbezogener Informationen aus digitalen topographischen Karten.

### Extraktion logischer Bildinhalte und Vektorisierung

Die Landeskarte spielt für das Verfahren eine zentrale Rolle. Karten entsprechen abstrakten Modellen der Wirklichkeit und enthalten strukturierte Informationen in Form von kartographischen Zeichen. Dank dieser Eigenschaften können in Rasterform vorliegende topographische Karten mit der von R. Stengele vorgestellten Methode der Kartographischen Mustererkennung automatisch in logische Bildinhalte strukturiert werden. Dabei bildet das wissensbasierte Template-Matching die Grundlage, um Kartensymbole (z.B. Kirchen, Bäume, Triangulationspunkte) und Kartensignaturen (z.B. Gebäude) extrahieren zu können (Abb. 9). Die Kartensymbole liegen anschliessend als punktuelle raumbezogene Informationen vor, wobei von jedem Symbol die Lagekoordinate und der Objekttyp bekannt sind. Die Gebäude werden hingegen mit robusten Vektorisierungsansätzen und geometrischen Zusatzbedingungen vektorisiert (vgl. Abschnitt von S. Nebiker).

### Zentralperspektivische Darstellung der Landeskarte

Die Verbindung der digitalen Landeskarte mit einem digitalen Höhenmodell erlaubt eine zentralperspektivische Ansicht der Landschaft (Abb. 10 und 12). Dabei werden jedem Pixel vier Höhenwerte zugewiesen (jeder Pixelecke ein Höhenwert).

Das daraus resultierende räumliche Polygon wird anschliessend perspektivisch dargestellt. Um eine realistischere Darstellung erreichen zu können, werden Schattierungsmodelle verwendet, die die Lichtverhältnisse und Oberflächenbeschaffenheit nachbilden.

### 3D-Modellierung und Darstellung

Durch die Extraktion raumbezogener Informationen aus topographischen Karten können 2-dimensionale strukturierte

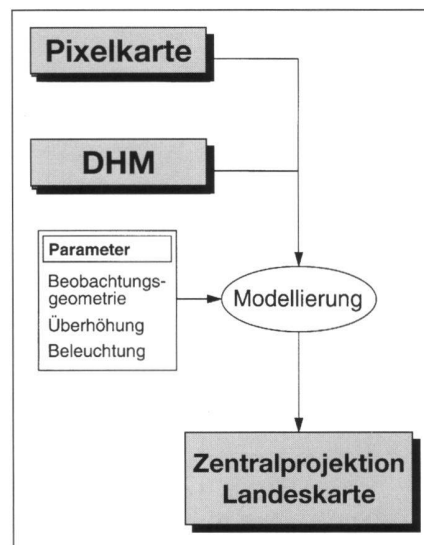


Abb. 10: Zentralperspektivische Darstellung einer digitalen Landeskarte.



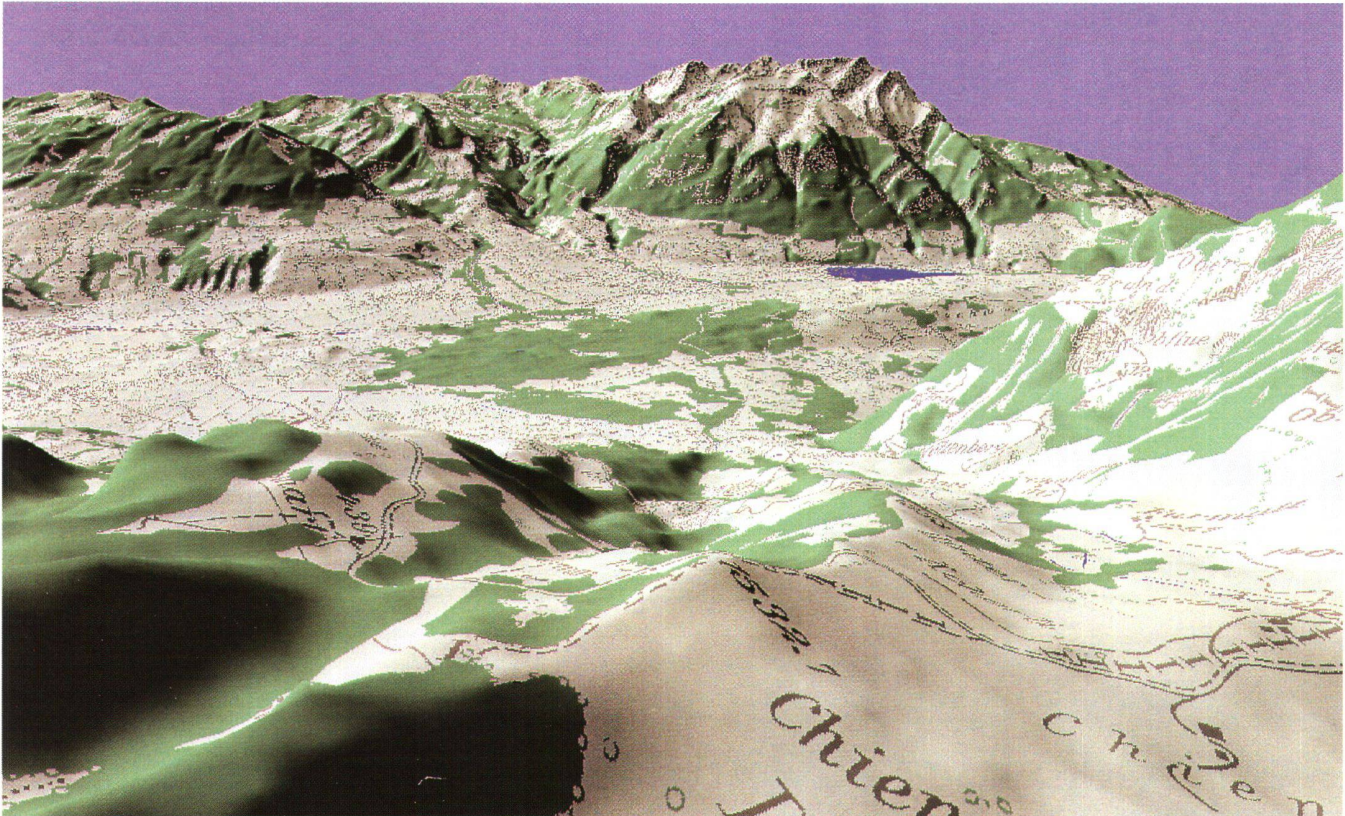


Abb. 12: Zentralperspektivische Darstellung des Kartenblattes «Alpnach» (1:25000, LK1170, Blickrichtung Pilatus).



Abb. 13: 3D-Landschaftsbild. Im Vordergrund automatische extrahierte Landschaftselemente (Region Seelisberg, Kartenblatt «Beckenried», 1:25 000, LK1171).

Bildinhalte gewonnen werden. Ersetzt man diese Datenbestände durch 3-dimensionale Modelle und kombiniert sie mit der Zentralperspektivischen Darstellung der Landeskarte, erhält man als Resultat ein 3-dimensionales Landschaftsbild (Abb. 11 und 13). Dabei werden die erkannten Kartensymbole durch 3-dimensionale CAD-Modelle und die Gebäude durch vereinfachte Häuserdarstellungen (Blöcke) ersetzt. Die Höhenwerte dieser Modelle entsprechen entweder Standardwerten oder sind aus anderen Verfahren (z.B. Photogrammetrie) bzw. Angaben (z.B. Attribute, Anzahl Stockwerke usw.) abgeleitet. Bei der 3-dimensionalen Modellierung der extrahierten Kartensymbole ist, soweit der Höhenwert nicht bekannt ist, die Höhe des Objekts implizit aus dem 2-dimensionalen Kartensymbol ableitbar; die Kenntnis des Objekttyps erlaubt es, allgemeine Regeln für die Schätzung des Höhenwertes zu formulieren. So kann zum Beispiel angenommen werden, dass Kirchtürme etwa 50 m oder Bäume ca. 10 bis 30 m hoch sind.

## Softwarelösung

Die Zentralperspektivische Darstellung der Landeskarte sowie die 3-dimensionale Modellierung und Darstellung der Landschaftselemente sind im Programmpaket RaVis implementiert. Dieses 2D- und 3D-

Visualisierungsprogramm wurde vollständig am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie entwickelt. Durch die Eingabe der Parameter für die perspektivische Ansicht (Standort, Blickpunkt, Blickwinkel usw.) und der Beleuchtung (Position der Lichtquelle, Licht- und Materialeigenschaften) können beliebige synthetische Landschaftsbilder erstellt werden.

## Anwendungen

3-dimensionale Landschaftsbilder können folgende Anwendungen finden:

- Optische Kontrolle von «Verträglichkeit» und Rückwirkungen einer Planungsmassnahme auf das Landschaftsbild (Umwelt- und Raumplanung, Architektur, Bauwesen usw.)
- Ausbreitungs- und Sichtbarkeitsanalysen in der Kommunikationstechnik
- Herstellung von Reliefbildern, Panoramakarten, 3D-Stadtpläne
- Kartographische Anwendungen.

### Literatur:

- Barwinski K., 1993: Geoinformation und Kartographie in Europa. Kartographische Nachrichten, Nr. 6, pp. 213-220.
- Brennecke J., 1987: Versuche zur automatischen Mustererkennung von Gebäude-

flächen der TK50. Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen I, Nr. 99, pp. 57-77.

Carosio A., Stengele R., 1993: Automatic Pattern Recognition for Economic Map Revision. Proceedings, 16th International Cartographic Conference Köln, pp. 518-526.

Carosio A., Stengele R., 1994: Cartographic Raster Data and their Use by GIS. Proceedings Commission 3, XX. FIG Congress Melbourne, pp. 550-559.

Grünreich D., 1992: Welche Rolle spielt die Kartographie beim Aufbau und Einsatz von Geo-Informationssystemen? Kartographische Nachrichten, Nr. 1, pp. 1-6.

Hake G., 1985: Kartographie I und II. de Gruyter Verlag, Berlin New York.

Illert A., 1990: Automatische Erfassung von Kartenschrift, Symbolen und Grundrissobjekten aus der DGK5. Wissenschaftliche Arbeiten Universität Hannover, Nr. 166

Kuhn H., 1989: Digitale Erzeugung von Perspektivbildern, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft Nr. 347, München.

Nebiker S., Carosio A., 1994: Automatic Extraction and Structuring of Objects from Scanned Topographical Maps. International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 30, Part 1, pp. 180-187.

Stengele R., 1993: Kartographische Mustererkennung durch Template Matching. Berichte des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, Nr. 230.

Weber W., 1988: Kartographische Mustererkennung. Kartographische Nachrichten, Nr. 3, pp. 113-120.

Zanini M., 1994: Automatische Erstellung 3-dimensionaler Landschaftsbilder aus digitalen topographischen Karten, Manuskript zum Workshop «Erdbbeobachtung und Geoinformatik», Monte Verità, Ascona.

**Abbildungen 4, 5, 6, 7, 8, 12 und 13:** Datenquelle PK25 und DHM25 © Bundesamt für Landestopographie (Bewilligung D-2230, 16.1.95).

Adresse der Verfasser:

Roland Stengele  
Stephan Nebiker  
Marc Zanini  
Institut für Geodäsie und  
Photogrammetrie  
Professur Geo-Informationssysteme  
und Fehlertheorie  
ETH Höngerberg  
CH-8093 Zürich

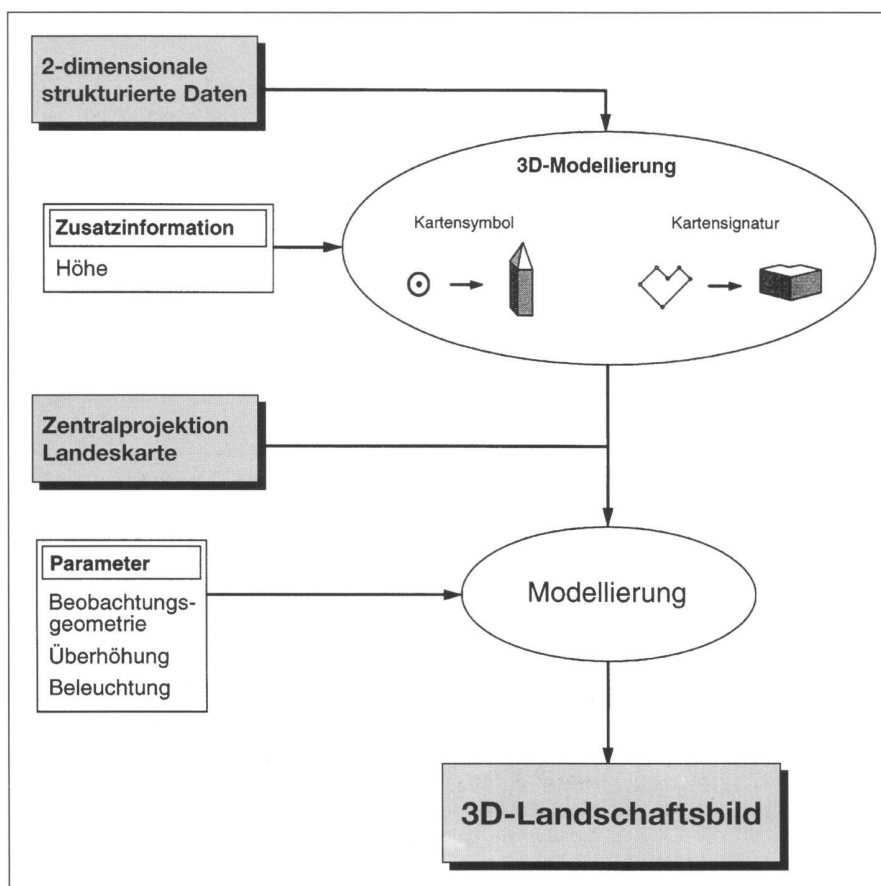


Abb. 11: 3D-Modellierung und Darstellung von Landschaftselementen.