

## Objektgesteuerte Segmentierung von Luftbildern

U. Bausch, W.-D. Groch, R. Schärf, D. Ernst

Forschungsinstitut für Informationsverarbeitung und Mustererkennung  
Breslauerstr. 48, 7500 Karlsruhe 1, FRG

### Zusammenfassung

Es wird ein System zur Segmentierung von Luftbildern vorgeschlagen. Dabei werden die Objekte sequentiell in einer objektgesteuerten und objektspezifischen Vorgehensweise mit interaktiver Unterstützung ermittelt.

#### 1. Bildsegmentierung

Die zeitaufwendige, detailgetreue Segmentierung von Luftbildern und anderen Fernerkundungsdaten erfordert bis heute den Einsatz erfahrener Bildinterpreten. Eine Unterstützung, Beschleunigung und Erleichterung dieser Tätigkeit wurde durch die Entwicklung teilautomatischer Verfahren erreicht.

Das Ziel der Segmentierung eines Bildes ist die Zerlegung des Bildes in semantisch sinnvolle Einheiten. Diese werden durch Bildteilbereiche gebildet, die bzgl. eines bestimmten Prädikates homogen sind /1/, /2/. Die Separierung der Bildteilbereiche kann mit Hilfe lokaler und regionaler Eigenschaften und unter Ausnutzung von Kenntnissen der semantischen Ebene vorgenommen werden. Ohne eine spezielle Anwendung zu berücksichtigen, lassen sich die für eine Bildsegmentierung interessierenden Objekte eines Luftbildes in drei Gruppen unterteilen:

- Flächenhafte Objekte; z.B. Wasserfläche, landwirtschaftliche oder forstwirtschaftliche Fläche, usw.. Die Beschreibung des Ortes eines flächenhaften Objektes erfolgt durch Angabe der das Objekt darstellenden Bildpunkte oder durch Angabe der Objektkontur.
- Linienhafte Objekte; z.B. Wasserweg, Schienenweg oder Straße. Die Beschreibung des Ortes erfolgt z.B. durch Angabe der Koordinatenfolge der Objektmittellinie.
- Punktförmige Objekte; z.B. Fahrzeuge, Gebäude usw.. Zur Ortsbestimmung genügt hier in der Regel die Angabe eines Koordinatenpaares.

Während linienhafte Objekte aufgrund ihres extremen Längen-Breiten-Verhältnisses intuitiv definiert werden können, ist die Trennung punktförmiger und

flächenhafter Objekte abhängig vom Maßstab der Wiedergabe und dem subjektiven Eindruck des Betrachters.

Je nach Aufgabenstellung ist es bei der Segmentierung durchaus sinnvoll, nicht jedes einzelne Objekte zu ermitteln, sondern Objekte aus einer Gruppe trotz unterschiedlicher Erscheinungsform zu einer übergeordneten Bedeutung zusammenzufassen.

Eine Bildsegmentierung kann einerseits durch Ermittlung der Objektkonturlinien erhalten werden, zum anderen können die Objekte über die von ihnen eingenommene Fläche im Bild ermittelt werden.

Grundsätzlich können zur Segmentierung beim Vorliegen eines Spektralbereiches

der Grauwert eines einzelnen Bildpunktes,  
der Kontrast bzgl. einer wenige Bildpunkte umfassenden Umgebung,  
die Texturierung bzgl. einer mäßig großen Umgebung und  
die Form oder Gestalt bzgl. der Betrachtung eines größeren Objektteiles,

sowie verschiedene Kombinationen davon als Merkmale herangezogen werden.

Beim Vorliegen von Farbbildern oder Multispektraldaten können die Merkmale bzgl. jedes Spektralbereiches gewonnen werden, und durch kombinierte Auswertung mehrerer Spektralbereiche können zusätzliche Merkmale erzeugt werden. In der Regel reichen bei realen Bilddaten Einzelmerkmale nicht zur Ermittlung befriedigender Ergebnisse aus, so daß mehrere geometrische und spektrale Eigenschaften herangezogen werden.

## 2. Vorgehensweise

Nachfolgend wird eine interaktiv unterstützte, objektgesteuerte und objekt-spezifische Vorgehensweise für ein System zur Bildsegmentierung vorgestellt. Bei einem interaktiv unterstützten Vorgehen können die globale Übersicht und die Erkennungsfähigkeit des Menschen voll genutzt werden. Dies bedingt, daß der automatische Ablauf sich an der Vorgehensweise des Menschen orientiert.

Die Einbeziehung des Interpreten verlangt, daß die Ergebnisse sequentiell ermittelt werden, was durch die objektgesteuerte Vorgehensweise erreicht wird. Hierbei wird bei allen Berechnungen auf früher ermittelte Zwischenergebnisse aufgebaut (Prädiktion und Verifikation). Ein Objektinkrement wird

stets nur dort gesucht, wo die bislang ermittelten Objektteile es erwarten lassen. Mit Hilfe der Kenntnisse über das Objekterscheinungsbild an der zuletzt ermittelten Objektstelle können die Berechnungen stets objektspezifisch an die Gegebenheiten im Bild adaptiert werden.

Eine objektgesteuerte Vorgehensweise ist z.B. durch Verfahren zur Verfolgung von Linien und Konturen und durch Flächenwachstumsverfahren gegeben. Beide Arten von Verfahren haben folgende Teilaufgaben gemein:

- Entdeckung von Ansatzstellen auf der Kontur bzw. innerhalb der zu ermittelnden Objekte,
- Auswertung lokaler und regionaler Merkmale bei der objektgesteuerten und objektspezifischen Ermittlung von Objektinkrementen,
- Berücksichtigung von Endkriterien zum Abbruch der Verfolgung bzw. des Wachstums.

Bei der Ansatzstellensuche als dem ersten Schritt zur Bildsegmentierung wird ein Unterschied zu üblichen Vorgehensweisen deutlich: im allgemeinen wird die Bildsegmentierung durch eine systematische und flächendeckende Anwendung möglichst einfacher Operatoren eingeleitet. Dadurch entstehen an vielen Stellen im Bild Zwischenergebnisse, die als Ansatzstellen zu zahlreich und zu unsicher sind. Hier werden statt dessen durch den Einsatz spezialisierter, komplexer Operatoren an wenigen Stellen im Bild zuverlässige Ansatzstellen für die sich anschließende objektgesteuerte Vorgehensweise gesucht.

Ein weiteres Grundprinzip der gewählten Vorgehensweise ist der hierarchische Aufbau der Einzelverfahren und des Gesamtsystems. Bei den Einzelverfahren wird die Ermittlung neuer Ergebnisse stets auf unterstem Entscheidungsniveau eingeleitet und nur bei einem Mißerfolg folgen umfangreichere und kompliziertere Berechnungen auf höheren Entscheidungsebenen. Auch innerhalb des Systems wird versucht, den Aufruf der einzelnen Verfahren so zu ordnen, daß die Ergebnisse aufeinander aufbauend mit möglichst geringem Aufwand erzielt werden. Der Gesamtaufwand hängt also von den Gegebenheiten im Bild, d.h. der Anzahl, Anordnung und Erkennbarkeit der Objekte ab.

Die Ermittlung punktförmiger Objekte kann objektgesteuert durch die Ergebnisse der Linien- bzw. Konturverfolgung und des Flächenwachstums erfolgen. So ist es z.B. sinnvoll, Gebäude und Fahrzeuge nur in der Nähe von Straßen bzw. in bestimmten Flächen, wie Siedlungsflächen oder Parkplätzen, zu suchen.

### 3. Systemkomponenten

Abb. 1 zeigt den Aufbau des hierarchischen und objektgesteuerten Systems zur Segmentierung von Luftbildern. Zunächst sollen die drei Hauptbestandteile des Systems beschrieben werden: Ermittlung linienhafter Objekte mit Hilfe der Linienverfolgung, Ermittlung flächenhafter Objekte mit Hilfe der Konturverfolgung und Ermittlung flächenhafter Objekte mit Hilfe eines Flächenwachstumsverfahrens. Anschließend werden die gestrichelt eingezeichneten Querverbindungen erläutert, die angeben, wo Ergebnisse aus einem Teil des Systems an anderen Stellen zur Gewinnung neuer Ergebnisse herangezogen werden können.

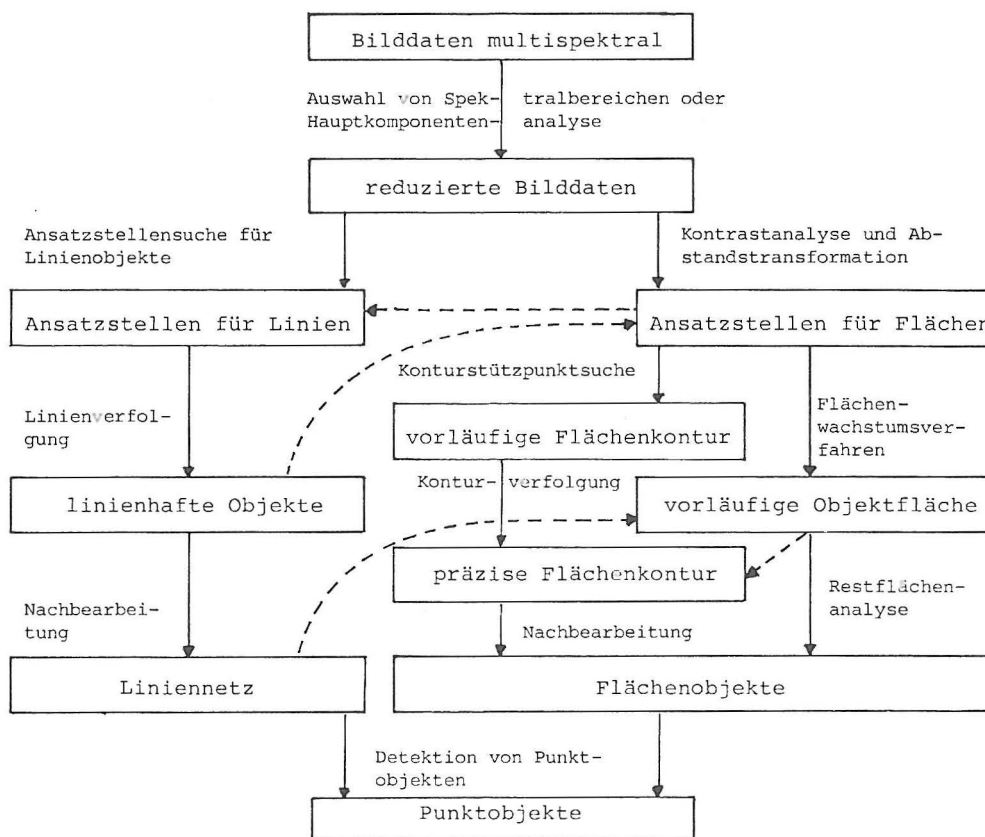


Abb. 1: Schema eines Systems zur Segmentierung von Luftbildern

Die Verfahren zur Linien- und Konturverfolgung beschränken sich auf die Auswertung eines Farbauszuges. Der "beste" Farbauszug kann durch eine versuchsweise Linien- oder Konturermittlung in allen Spektralbereichen und eine Beurteilung der Ergebnisse automatisch ausgewählt werden /3/. Die Flächenwachstumsverfahren verwenden in der Regel Multispektraldaten. Aus Aufwandsgründen beschränkt sich das verwendete Flächenwachstumsverfahren auf die informationstragenden Kanäle, die aus den Multispektraldaten durch eine Hauptkomponentenanalyse /4/ gewonnen werden.

Für die Ermittlung von Ansatzstellen auf linienhaften Objekten stehen zwei vollautomatische, zweistufige Verfahren zur Verfügung /5/. Beide Verfahren ermitteln mit einfachen Analysen von Grauwertdiagrammen Verdachtsstellen, die möglicherweise zu einem linienhaften Objekt gehören. Im Rahmen des hierarchischen Aufbaus werden diese Verdachtsstellen objektgesteuert mit einem für die beiden Verfahren unterschiedlichen Liniendetektor untersucht, der gegebenenfalls eine Ansatzstelle verifiziert.

Von den Ansatzstellen ausgehend können zwei Verfahren zur Linienverfolgung eingesetzt werden /6/, /7/. In ihrem Kern beruhen beide Verfahren auf einer lokal oder regional begrenzten Analyse des Grauwertverlaufes. Die objektgesteuerte Vorgehensweise ermöglicht die Beachtung einer Erwartungsrichtung für die Objektfortsetzung, so daß anstelle einer zweidimensionalen Grauwert-Untermatrix jeweils nur eindimensionale Grauwertdiagramme orthogonal zur momentanen Fortschreitungsrichtung analysiert werden.

Das lokale Verfahren folgt dem Verlauf eines linienhaften Objektes schrittweise und untersucht einen lokal eng begrenzten Bereich des Bildes. Das Verfahren ist besonders gut zur Ermittlung von Objekten mit einem nur geringfügig beeinträchtigten Erscheinungsbild geeignet, wobei scharfe Biegungen, Kreuzungen und Änderungen des Erscheinungsbildes das Verfahren nicht behindern.

Das regionale Verfahren ermittelt mit Hilfe eines regionalen Liniendetektors stets einen ganzen Abschnitt eines linienhaften Objektes und ist besonders zur Überbrückung von Stellen mit beeinträchtigtem Erscheinungsbild geeignet. Eine Kombination der beiden Verfahren, die die besonderen Eignungen der Verfahren berücksichtigt, ist in der Lage, das gesamte Liniennetz eines Bildes zu ermitteln.

Für die vollautomatische Bestimmung von Ansatzstellen in flächenhaften Objekten werden zunächst Konturelemente zur Kennzeichnung starker Kontraste in dem zu bearbeitenden Bild mit einem Verfahren der Bildvorverarbeitung (z.B. Gradientenberechnung mit nachfolgender Liniensuche) ermittelt. Eine nachfolgende Abstandstransformation der Konturinformationen markiert in den Bildbereichen mit weitgehend homogener Merkmalverteilung Bildelemente, die als Ansatzstellen geeignet sind /4/.

Durch eine Analyse des Grauwertdiagrammes von Strahlen, die von diesen Ansatzstellen ausgehen, werden durch das Verfahren zur Konturstützpunktsuche Punkte auf der Flächenkontur ermittelt. Mit Hilfe der durch diese Punkte festgelegten vorläufigen Flächenkontur wird das Verfahren zur Konturverfolgung objektgesteuert zur Ermittlung der präzisen Flächenkontur eingesetzt /6/. Das Verfahren zur Konturverfolgung unterscheidet sich vom regionalen Verfahren zur Linienverfolgung nur dadurch, daß bei den Grauwertdiagramm- auswertungen das Profil "Querschnitt durch eine Flächenkontur" statt des Profils "Querschnitt durch ein linienhaftes Objekt" gesucht wird.

Das Flächenwachstumsverfahren /4/ beginnt bei einer Ansatzstelle für Flächen und lagert spiralförmig neue Objektinkremente an, solange bestimmte Einheitlichkeitskriterien erfüllt sind. Die Operatoren werden sowohl vom Objekt als auch von den zuvor ermittelten Linienstrukturen gesteuert. Der Abbruch des Wachstums erfolgt ebenfalls unter Ausnutzung der Linienstrukturen. Mit dem Verfahren werden die gesicherten Kernbereiche der Objekte mit vorläufiger Kontur extrahiert. Die Zuordnung der Randbezirke zu den Objekten und die Ermittlung der Objekt-Feinkontur erfolgt in einem weiteren Verarbeitungsschritt. Sie wird durch die Möglichkeit der Abgrenzung und getrennten Untersuchung einzelner, je zwei Objekten zugeordneter Zwischenbereiche, die Kenntnis der regionalen Topologie dieser Gebiete und der Merkmale der zugeordneten Objekte wesentlich erleichtert.

Die Suche nach punktförmigen Objekten baut objektgesteuert auf den Ergebnissen der Suche nach linienhaften und/oder flächenhaften Objekten auf. Zunächst werden durch Analyse eindimensionaler Grauwertdiagramme Verdachtsstellen für punktförmige Objekte ermittelt. An diesen Stellen wird mit der Kenntnis der Ergebnisse der Grauwertdiagrammanalyse die Objektgrenze durch Binärisierung gewonnen. Die Auswahl der Punktobjekte erfolgt hinsichtlich der Objektgröße und verschiedener Formparameter.

Die Ergebnisse der Ansatzstellensuche in Flächen können bei der Ansatzstellensuche für Linien genutzt werden. Die Suche nach Verdachtsstellen und die Verifikation kann sich auf Bildbereiche beschränken, in denen die Kontrastanalyse deutliche Kontraste ermittelt hat.

Umgekehrt können die ermittelten linienhaften Objekte die Suche nach flächenhaften Objekten beeinflussen. Die Linien bilden eine Grobsegmentierung des Bildes, so daß vorläufige Objektflächen gegeben sind. Die Suche nach Ansatzstellen in Flächen kann sich auf die Bereiche zwischen den Linien beschränken; z.B. können die Ergebnisse der Liniensuche und der Kontrastanalyse konjunktiv verknüpft werden.

Abschließend sei bemerkt, daß die mit Hilfe des Flächenwachstumsverfahrens gewonnene vorläufige Objektfläche den objektgesteuerten Einsatz des Konturverfolgungsverfahrens zur Ermittlung der präzisen Flächenkontur ermöglicht.

#### 4. Ergebnisse

Die folgenden Abbildungen zeigen Testergebnisse der einzelnen Verfahren in Luftbildern mit einem Maßstab zwischen 1:25.000 und 1:75.000. Dazu wurden 6cm x 6cm große Bildausschnitte mit einem DICOMED-Scanner in Bildmatrizen von  $512^2$ ,  $1024^2$  oder  $2048^2$  Bildpunkten überführt. Die Abbildungen zeigen Verkleinerungen der Bildmatrizen auf  $512^2$  Bildpunkte, die von einem COMTAL-Farbdisplay abphotographiert wurden.



Abb. 2: Zwischenschritt des lokalen Linienvollzugsverfahrens

Abb. 3: Zwischenschritt des regionalen Linienvollzugsverfahrens

Abb. 4a: Ergebnis eines Verfahrens zur Ansatzstellensuche

Abbildung 2 zeigt einen Zwischenschritt des lokalen Linienverfolgungsverfahrens. Von einer Ansatzstelle ausgehend wird von links nach rechts fortschreitend ein Teil der oben quer verlaufenden Straße ermittelt. Am rechten Ende des Straßenstückes ist der Kreisbogen eingeblendet, der zur Suche nach der Straßenfortsetzung verwendet wird. In Bildmitte links ist das Grauwertdiagramm entlang des 19 Bildpunkte langen Kreisbogens dargestellt. Abbildung 3 zeigt einen Zwischenschritt des regionalen Verfahrens. Der bereits ermittelte Teil des gesuchten Flusses und der Bildteilbereich, in dem die Objektfortsetzung gesucht wird, sind hell eingeblendet.

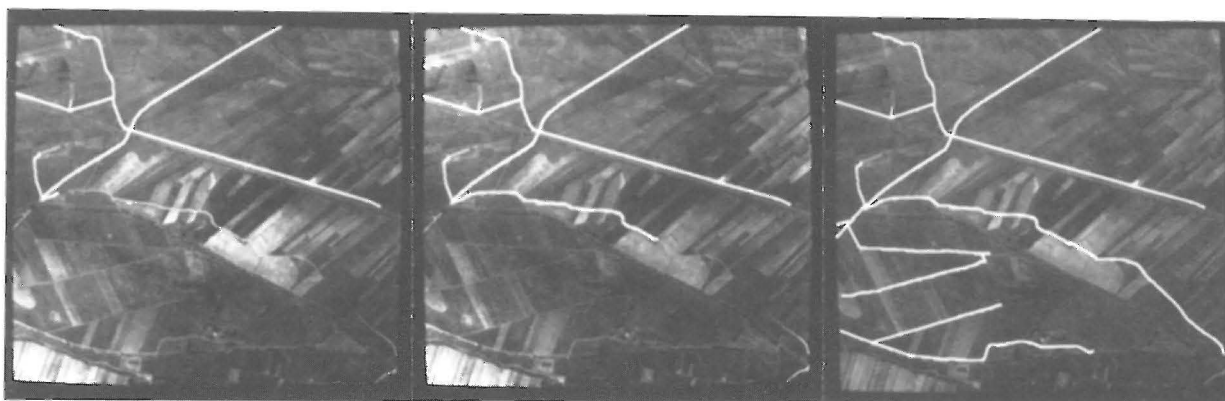


Abb. 4b-d: Ermittlung eines Liniennetzes durch Kombination der Verfahren zur Liniensuche

Abb. 4 zeigt die Ermittlung eines Liniennetzes durch eine Kombination des lokalen und des regionalen Verfahrens. In Abb. 4a sind die gefundenen Ansatzstellen hell eingeblendet. Ausgehend von einer Ansatzstelle werden vom lokalen Verfahren die in Abb. 4b eingeblendeten Straßenstücke gefunden.

Nach Überbrückung der Störung (Bildmitte links) kann das regionale Verfahren die Straße extrahieren, bis sie zwischen hellen Feldern verschwindet (siehe Abb. 4c). Diese Lücke wird nach Extraktion aller von den übrigen Ansatzstellen aus erreichbaren Straßen linear interpoliert (vgl. Abb. 4d).

Abb. 5a zeigt eine Grobkontur eines Waldgebietes. In Abb. 5b ist die mit Hilfe der Grobkontur ermittelte Feinkontur zu sehen. Die noch bestehenden Lücken können in einer Nachbearbeitung geschlossen werden.



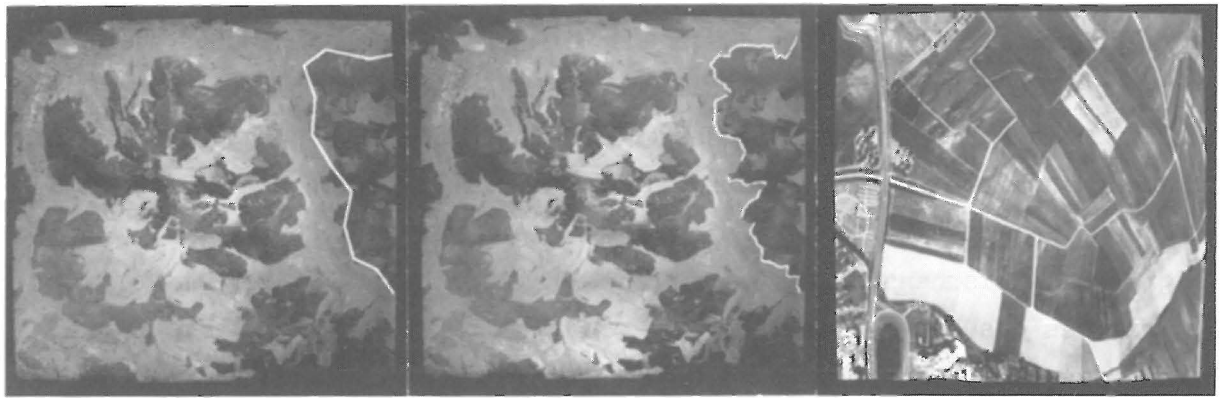


Abb. 5a+b: Vorläufige Kontur und präzise Kontur eines Waldes

Abb. 6a: Ausschnitt aus einem Luftbild

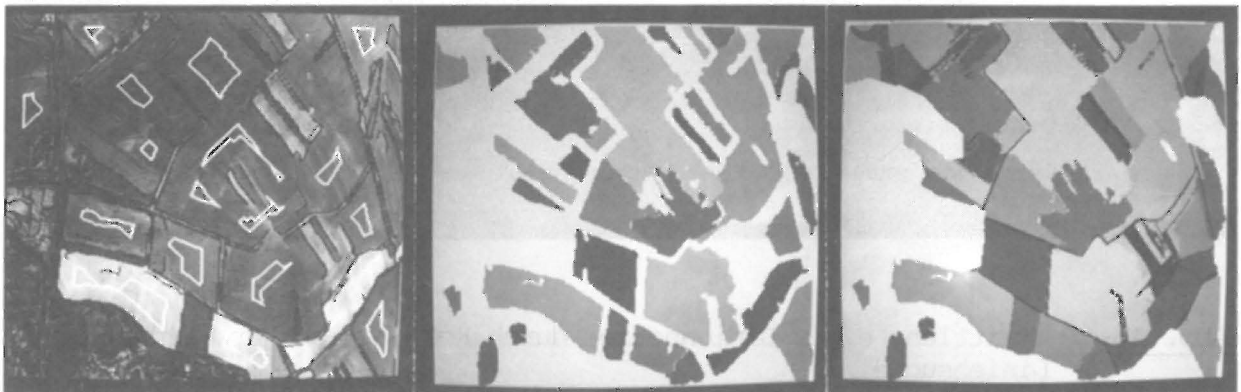


Abb. 6b-d: Ermittlung von flächenhaften Objekten mit dem Flächenwachstumsverfahren

Abb. 6 zeigt mehrere mehrere Zwischenschritte bei der Ermittlung flächenhafter Objekte mit dem Flächenwachstumsverfahren. In Abb. 6b sind die mit Hilfe der Gradientenberechnung ermittelten Linienstrukturen (schwarz) und die Ansatzstellen für Flächen (weiß) eingeblendet. Die Abbildungen 6c und d zeigen Ergebnisse des Flächenwachstumsverfahrens vor und nach der Randbereichszuordnung.

## 5. Literaturverzeichnis

- /1/ Feldmann, J.A.  
Yakimowsky, Y.                      Decision Theory and Artificial Intelligence:  
I. A Semantics-Based Region Analyzer  
Artificial Intelligence 5, 1974, pp 349-371
- /2/ Zucker, S.W.                      Region Growing: childhood and adolescence  
Comp. Graphics a. Image Processing 5, 1976  
pp 382-399
- /3/ Henger, A.                      Entwicklung spezieller Vorverarbeitungs-  
methoden zur Unterstützung der Objektex-  
traktion aus Luftbildern  
Diplomarbeit, Universität Karlsruhe, 1979
- /4/ Schärf, R.                      Untersuchungen zur mehrkanaligen Bildverar-  
beitung und Objektseparierung  
Informatik-Fachbericht, Band 8, Springer-  
Verlag, 1977, S. 280-294
- /5/ Groch, W.-D.                      Zwei Verfahren zur vollautomatischen Suche  
von Startpunkten für die Extraktion linien-  
hafter Objekte aus Grauwertbildern  
in: Angewandte Szenenanalyse, Springer-Ver-  
lag, 1979, S. 43-49
- /6/ Bausch, U.,  
Kestner, W.,  
Obermöller, U.,  
Sties, M.                      Extraktion von Objekten aus Luftbildern  
durch objektspezifische Verfahren mit stu-  
fenweiser Verbesserung der örtlichen Ge-  
nauigkeit  
in: Angewandte Szenenanalyse, Springer-  
Verlag, 1979, S. 50-62
- /7/ Bausch, U.,  
Kestner, W.                      Auswertung lokaler Zusammenhänge zur Be-  
stimmung von Objektgrenzen in Luftbildern  
in: Angewandte Szenenanalyse, Springer-  
Verlag, 1979, S. 63-70