

# Möglichkeiten und Grenzen der Bildverarbeitung bei der Charakterisierung von Vegetationsheterogenitäten mit Fernerkundungsmethoden

FRANZ KURZ, NEUHERBERG  
SVEN EHRICH, NEUHERBERG  
STEFAN HINZ, MÜNCHEN

## Abstract

*The modern techniques of precision agriculture require accurate soil maps. An important indicator are vegetation heterogenities which can be mapped on a large scale by remote sensing and image processing methods. In this paper, the potential and the limitations of standard image processing methods are discussed in this context.*

## 1. Einführung

Die Kenntnis der Bodenheterogenität auf der Feldskala ist eine wichtige Voraussetzung für die modernen und umweltschonenden Methoden der Teilschlagbewirtschaftung (Precision Agriculture). Fernerkundungsmethoden bieten die Möglichkeit, diese Heterogenität mit vergleichsweise geringem Aufwand flächenhaft abzubilden. Eine wesentliche Rolle spielen dabei schlaginterne Heterogenitäten in der spektralen Reflexion der Vegetation, die mit Hilfe optischer (multispektraler) Fernerkundungssensoren gemessen werden können. Zur Analyse dieser Daten stehen mittlerweile mächtige Standard-Softwarepakete zur Verfügung, etwa HALCON (MVTEC), ERDAS-IMAGINE, GRASS. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den Möglichkeiten und Grenzen dieser Standard-Bildverarbeitungsmethoden. Dabei konzentriert sich die Darstellung auf diejenigen Methoden, die erfahrungsgemäß von wesentlichem Interesse sind. Für mehr Details und weiterführende Literatur siehe z.B. ABMAYR 1994, JAHNE 1997, RADIG 1993, und HARALICK&SHAPIRO 1992. Als Datengrundlage dienen multispektrale Fernerkundungsdaten mit einer Bodenauflösung von 1.3 Metern. Diese liegen in radiometrisch korrigierter und geometrisch referenzierter Form vor.

## 2. Lokale Operatoren und Transformationen

Mittels lokaler Operatoren (Filter) läßt sich Bildinformation mit begrenzter räumlicher Ausprägung hervorheben, unterdrücken oder verändern. Beispielsweise können Linien, Kanten oder Texturen aus Bildern extrahiert, unerwünschte Rauscheffekte unterdrückt oder radiometrische Eigenschaften lokal angepaßt werden.

### a) Glättungsfilter (Tiefpaßfilter):

Die Anwendung von Glättungsfiltern hat meist zum Ziel, Effekte durch hochfrequentes Rauschen im Bild zu verringern oder kleine Bildstrukturen zu unterdrücken, die für die jeweilige Anwendung als unbedeutend oder störend angesehen werden. In der hier betrachteten Anwendung sind dies vor allem Bewirtschaftungsspuren sowie gegebenenfalls Verunkrautungen auf den Schlägen (siehe Abb. 1). Die Stärke der Glättung kann über Größe und Gewichte des Filters gesteuert werden. Ein oft verwendeter Glättungsfilter ist der Mittelwertfilter, bei dem ein Grauwert des neuen Bildes als ungewichtetes Mittel seiner benachbarten Grauwerte im Ausgangsbild berechnet wird. Die Stärke der Glättung ist beim Mittelwertfilter allerdings richtungsabhängig (keine Isotropie), und die Unterdrückung bei höheren Frequenzen nimmt nicht stetig zu, sondern oberhalb einer gewissen Frequenz wieder ab (schlechtes Sperrverhalten). Diese Nachteile überwindet der Gaußfilter, bei dem ein Grauwert des neuen Bildes als gewichtetes Mittel der benachbarten Grauwerte des Ausgangsbildes berechnet wird. Als besonders nützlich zur Eliminierung von Fahrspuren und gegebenenfalls auch von Sensorfehlern hat sich der (nichtlineare) Medianfilter erwiesen. Ein Grauwert des neuen Bildes wird hierbei als der mittlere der sortierten Grauwerte des Ausgangsbildes festgelegt, die im Bereich der

Filtermaske liegen. Mit Medianfiltern können lokale Ausreißer eliminiert werden, wobei im Gegensatz zu linearen Filtern ausgeprägte Kanten nicht geglättet werden.

**b) Kantenfilter (Hochpaßfilter):**

Grauwertkanten kommen bei der Auswertung von digitalen Bildern eine hochrangige Bedeutung zu. Dies liegt vor allem an der Tatsache, daß Grauwertkanten in Bildern häufig physikalischen Kanten in der realen Welt entsprechen, die z.B. Abgrenzung und Struktur von Objekten vorgeben (siehe Wegränder in Abb. 1). Die Bestimmung der Grauwertkanten erfolgt i. d. R. in zwei Schritten: Zunächst werden Kantenpunkte aufgefunden, die anschließend zu vektoriellen Strukturen verkettet werden. Häufig verwendete Filter sind der Prewitt- und der Sobel-Operator. Besonders der Prewitt-Operator, jedoch auch der Sobel-Operator, zeigen aber Defizite hinsichtlich Isotropie und Sperrverhalten der Frequenzen. Daher sind Kantenfilter vorzuziehen, denen die Canny'schen Filterkriterien *Detektionsgüte, Lokalisierungsgüte und Antwortgüte* zugrunde gelegt sind. Analytische Untersuchungen zeigen, daß der Gaußfilter in erster Ableitung diese Kriterien in ausreichendem Maße erfüllt. Weitere Verbesserungen stellen die rekursiven Filter von Deriche und Lanser (LANSER 1991) dar. Kantenfilter dienen vor allem zur Extraktion der Schlaggrenzen. Sie liefern damit wichtige Informationen zur Segmentierung (s.u.). Für die Charakterisierung bodenbedingter Vegetationsheterogenitäten eignen sich Kantenfilter nur bedingt, da diese oft keine scharfen Kanten besitzen.

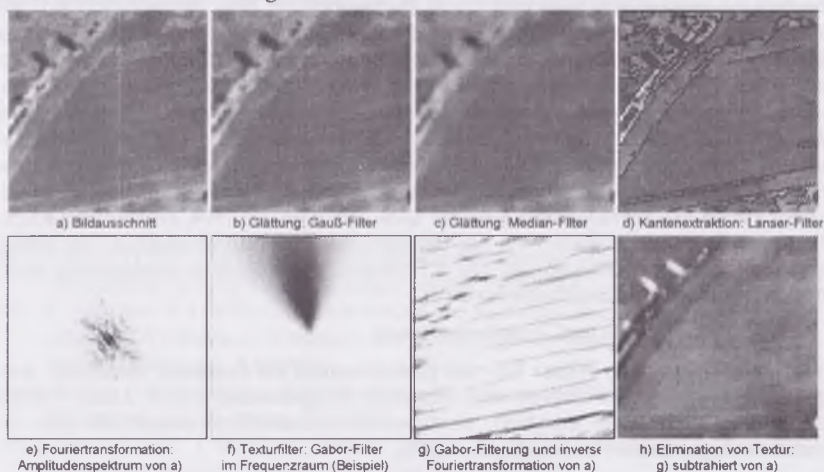


Abbildung 1

**c) Texturfilter:**

Eine der auffälligsten Eigenschaften von Objekten ist für den Betrachter die Textur. Textur ist ein maßstabsabhängiges flächenhaftes Phänomen, das strukturelle Eigenschaften wie die Wiederholung bestimmter Grundmuster mit statistischen Eigenschaften wie Energie, Mittelwert und Varianz verbindet. Dies gilt vor allem für Objekte der realen Welt wie Felder, Wald und Siedlungsgebiete. Auch Bewirtschaftungsspuren lassen sich zur Textur zählen (siehe Abb. 1). Neben einer Reihe von Verfahren zur texturbasierten Segmentierung gibt es auch Ansätze, Textur mit Hilfe von Filtern zu extrahieren. Die sog. Laws-Filter eignen sich vor allem für die Erfassung struktureller Textureigenschaften. Textureigenschaften wie Maßstabsabhängigkeit und Regelmäßigkeit sowie statistische Grauwertmerkmale legen eine Analyse des Frequenzverhaltens nahe, wie sie z.B. mit dem Gabor-Filter durchgeführt werden kann. Hiermit lassen sich Frequenzen in Abhängigkeit ihrer Entfernung und Orientierung von der Null-Frequenz filtern, wodurch im Ortsraum nicht nur Bildbereiche detektiert werden, die die spezifizierten Frequenzen beinhalten, sondern die zusätzlich nach der im Frequenzraum vorgegebenen Orientierung ausgerichtet sind. Die Kombination verschiedener Gaborfilter

erlaubt, komplexere Texturen zu detektieren (siehe Abb. 1).

#### *d) Hauptachsentransformation*

Die Hauptachsentransformation ist eine Standardmethode zur Datenvisualisierung und Datenreduktion. Gewöhnlich sind bei einem Multi- oder Hyperspektraldatensatz einzelne Kanäle miteinander korreliert. Die abgebildeten Merkmale der jeweiligen Klassen liegen somit teilweise redundant vor. Durch eine Hauptachsentransformation läßt sich die Kovarianzmatrix aller Merkmale in das Hauptachsensystem drehen, in dem die Merkmale miteinander unkorreliert sind. Jede dieser Hauptachsen repräsentiert einen neuen Kanal, der sich letztlich durch eine Linearkombination der Ausgangskanäle berechnet. Hierbei wird die Reihenfolge der Achsen nach dem Informationsgehalt (Varianz) bestimmt. Oft reichen die transformierten Kanäle mit der höchsten Varianz aus, um einen Datensatz relativ genau zu beschreiben. Das Datenaufkommen kann so bei geringfügigem Informationsverlust reduziert werden. Allerdings verlieren die Kanäle durch die Transformation den direkten Bezug zum jeweiligen Spektrum. Experimentelle Untersuchungen deuten darauf hin, daß die Hauptachsentransformation gut geeignet ist, die interessanten Vegetationsheterogenitäten von anderen Phänomenen im Bild zu trennen (siehe Abb. 2e-h).

### **3. Segmentierung**

Eine Bildsegmentierung ist die Aufteilung eines Bildes in eine Menge von sich nicht überlappenden Teilbereichen (flächenhafte Segmente), die im Idealfall realen Objekten entsprechen. Segmentierungsverfahren werden danach unterschieden, wie sie benachbarte Pixel berücksichtigen: pixelorientiert (ohne Nachbarschaft), kanten- und flächenorientiert. Für die Segmentierung können je nach Art einzelne Merkmale wie Grauwert, Form und Größe des Segments, die Nachbarschaftsrelationen der einzelnen Pixel, Textur oder die Lage im Bild verwendet werden. Bei der einfachsten Form der pixelorientierten Segmentierung wird aufgrund eines Schwellwerts entschieden, ob das jeweilige Pixel zum Objekt gehört. Dies setzt voraus, daß sich die Objekte anhand der Grauwerte vom Hintergrund bzw. voneinander unterscheiden lassen. Der jeweilige Schwellwert kann z.B. beim dynamischen Schwellwertverfahren auch an einen sich ändernden Hintergrund angepaßt werden. Oft werden die Grauwerte des stark geglätteten Ausgangsbildes, in dem die zu segmentierenden Objekte eliminiert sind, als dynamische Schwellwerte verwendet. Ein wichtiges flächenorientiertes Verfahren ist das Regiongrowing (siehe Abb. 2b), bei dem ausgehend von einem einzelnen Pixel als Vertreter des jeweiligen Objekts die umliegenden Pixel auf Zugehörigkeit zu diesem Objekt überprüft werden. Mit Standard-Segmentierungsverfahren können Bereiche homogener Fruchtarten meist gut getrennt werden. Hierbei kann oft auch Vorwissen aus Schlagkarteien verwendet werden. Informationen über die vorhandenen Fruchtarten und die Schlagstruktur sind wichtige Ausgangsdaten für problemspezifische Modelle und Methoden zur Untersuchung der schlaginternen Differenzierung der Vegetation.

### **4. Klassifizierung**

Eine Klassifizierung (Classification) ist die Zuweisung eines Pixel oder Segments aufgrund des Merkmalsvektors zu einer Klasse. Sie setzt voraus, daß sich das Bild in wohldefinierte und u.U. auch hierarchisch strukturierte Klassen von Objekten einteilen läßt. Die Klassifizierung kann auch als Strukturanalyse des Merkmalsraums aufgefaßt werden. Dabei wird zwischen überwachter und unüberwachter Klassifizierung unterschieden. Bei einer unüberwachten Klassifizierung werden mittels Clustering (siehe Abb. 2d) alle Pixel aufgrund der Nähe ihrer Merkmale im Merkmalsraum zu einzelnen Gruppen (Cluster) zusammengefaßt, während bei einer überwachten Klassifizierung die Cluster durch Trainingsgebiete festgelegt werden. Die gängigsten Klassifizierungsmethoden sind Minimum Distance Classification, bei der im Merkmalsraum die euklidische Distanz eines Merkmalsvektors zu den Schwerpunkten der einzelnen Clusters als Maß für die Zugehörigkeit zu einer Klasse herangezogen wird, und Maximum Likelihood Classification, die die einzelnen Cluster als Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung modelliert. Entscheidungskriterium für die Zugehörigkeit zu einer Klasse ist somit

die bedingte Wahrscheinlichkeit, daß ein Merkmalsvektor zu einem Cluster gehört. Dabei kann als Merkmal neben Grauwert auch die lokale Nachbarschaft der Pixel zueinander berücksichtigt werden. Im Unterschied zu den flächenorientierten Segmentierungsverfahren, die in der Regel einen oder wenige Kanäle verwenden, basieren Klassifizierungsmethoden auf vielen u.U. sehr heterogenen Merkmalen und schließen meist an eine vorhergehende Segmen-

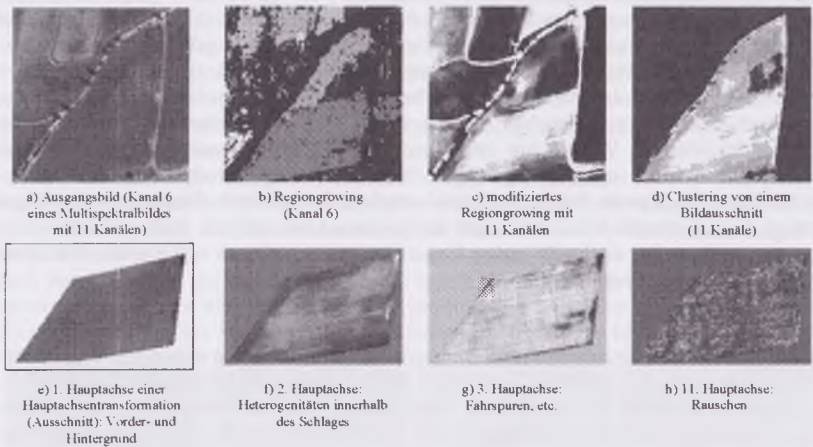


Abbildung 2

tierung an. Standardmäßig werden Klassifizierungsverfahren zur Feststellung der Landnutzung wendet. Für die schlaginterne Differenzierung der Vegetation eignen sich Klassifizierungsverfahren nur bedingt. Zum einen ist die Einteilung der Klassen im Gegensatz zur Landnutzungsklassifikation willkürlich, und zum anderen lassen sich die mittels Standardsoftware schlagintern bestimmten Klassen in der Regel schwer trennen. Ein Fortschritt ist hier von Modellen zu erwarten, die die Beziehung zwischen den Grauwerten im Bild und den wesentlichen Vegetationsparametern beschreiben.

## 6 Resümee

Die Möglichkeiten der Bildverarbeitung bei der Charakterisierung von Vegetationsheterogenitäten liegen einerseits in der Segmentierung und Klassifizierung der Schlagstruktur und der Fruchtarten und andererseits in der Hervorhebung bzw. Unterdrückung von bestimmten Elementen in den Schlägen. Bei der schlaginternen Differenzierung der Vegetation treten Probleme bei Klassifizierungsmethoden auf, da sich ein heterogener Schlag nicht a priori in Objektklassen unterteilen läßt. Dazu wird zusätzliches Wissen benötigt über die Beziehung zwischen den Merkmalen, die im Bild gefunden werden, und den Eigenschaften der Vegetation, die diese Merkmale verursachen. Entsprechende Modelle sind Gegenstand der aktuellen Forschung.

## 7. Literatur

- ABMAYR, W. (1994): Einführung in die digitale Bildverarbeitung. B.G. Teubner, Stuttgart  
 HARALICK, R.; SHAPIRO L. (1992): Computer and Robot Vision Volume I. Addison Wesley  
 JÄHNE, B. (1997): Image Processing for Scientific Applications. CRC Press LLC  
 LANSER, S., ECKSTEIN, W. (1991): Eine Modifikation des Deriche-Verfahrens zur Kantendetektion 13 DAGM-Symposium, München; Informatik Fachberichte 290; Seite 151-158; Springer-Verlag.  
 RADIG, B. (1993): Verarbeiten und Verstehen von Bildern. Oldenbourg Verlag, München