

# Objektextraktion und regelbasierte Klassifikation von Fernerkundungsdaten: Neue Möglichkeiten für GIS-Anwender und Planer

Thomas BLASCHKE

Mag. Dr. Thomas Blaschke

## ZUSAMMENFASSUNG

In der digitalen Bearbeitung von Fernerkundungsdaten findet momentan ein großer Umbruch statt. Anstatt einzelne Pixel allein aufgrund ihrer spektralen Eigenschaften zu klassifizieren, setzen neue Verfahren auf die Abgrenzung homogener Objekte als Basis für die weitere Bearbeitung. Es werden Verfahren vorgestellt, die Satellitendaten segmentieren und aus den relevanter Eigenschaften dieser Elemente bezüglich Spektralverhalten, Textur und Gestalt Zuordnungen zu Landnutzungsklassen erlauben. Dadurch werden Nachteile einer Pixel-basierten Betrachtung (*„salt and pepper-Effekt“*) überwunden. Gegenüber konventionellen pixelweisen Auswertemethoden können bei einer auf Regionen basierten Bildanalyse Nachbarschaftsbeziehungen zwischen Bildelementen sowohl bei der Bildung der Regionen als auch bei der anschließenden Klassifizierung berücksichtigt werden. Vor allem die Softwarelösungen, die auf einfach zu bedienende Regelbausätze mit Fuzzy Logic setzen, verlangen immer weniger Spezialistentum und auch Nicht-Fernerkundungsexperten können rasch zu guten Ergebnisse gelangen.

## 1 STATUS QUO IN DER FERNERKUNDUNGSBILDVERARBEITUNG

Seit den ersten für zivile Nutzung verfügbaren digitalen Satellitendaten in den 70er Jahren werden die Daten im Prinzip eigentlich immer nach ähnlichem Schema bearbeitet: Die Daten bestehen aus rechteckigen, meist quadratischen kleinsten Bildelementen, den Pixeln. Nach verschiedenen Vorverarbeitungsschritten und einer Georeferenzierung werden diese Pixel klassifiziert. Stets werden diese Pixel – ob bei überwachter oder unüberwachter Klassifikation – analysiert und „ähnliche“ Pixel im Bild der gleichen Klasse zugeordnet. Dies trifft im Prinzip für überwachte und unüberwachte Klassifikationen zu, für verschiedenste Klassifikationsregeln (maximum likelihood, minimum distance etc., vgl. SCHOWENGERDT 1997) und für parametrische und nicht-parametrische Operatoren und hybride Vorgangsweisen (KLOER 1994, BLASCHKE 1996).

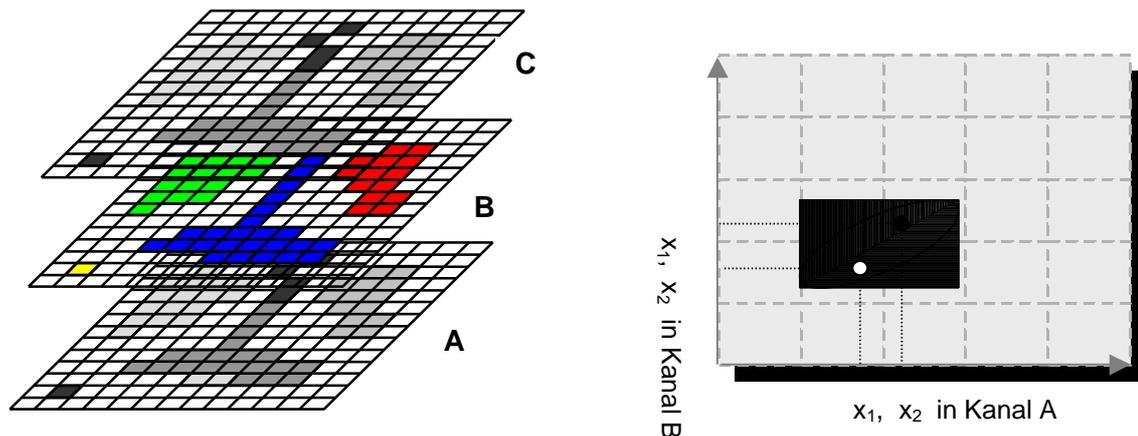


Abb. 1: Pixel-basierte Betrachtung von Bildelementen unabhängig von ihrer räumlichen Lage. Dabei wird von einer statistischen Betrachtung ausgegangen. In Pixel mit den gleichen Reflexionswerten irgendwo im Bild fällt nach bestimmten Kriterien in die gleiche Klasse wie ein Bildelement an ganz anderer Stelle. Diese Verfahren sind relativ ausgereift. Es gibt Hunderte, wahrscheinlich Tausende Veröffentlichungen zu den gängigsten Klassifikationsverfahren wie z.B. Maximum Likelihood oder Minimum Distance. Die erzielten Ergebnisse sind oft auch statistisch gut bis sehr gut, Genauigkeiten von 85 bis 90% sind heute fast die Regel. Das Hauptproblem bilden nach wie vor die sogenannten Mischpixel (vgl. Abb. 2). Für deren Zuordnung zu Klassen gibt es verschiedenste Möglichkeiten, vielversprechend sind u.a. sogenannte *endmembership functions* (vgl. STEINNOCHER 1997). Das Prinzip der maskierten Klassifikation stellt eine weniger verwendete Methode innerhalb der Fernerkundung dar. Grundgedanke ist die Integration von nicht spektralen Zusatzinformationen, um genauere Aussagen bezüglich der

Klassifikationsergebnisse machen zu können. Dies kann besonders bei großräumigen Untersuchungsgebieten sinnvoll sein. Es gibt mehrere Arbeiten, die zeigen, dass z.B. mit ATKIS-Daten eine Ein- bzw. Ausgrenzung der zu klassifizierenden Areale sinnvoll ist. Ein solcher Klassifikationsansatz war bisher eher durch lose Kopplung von GIS und Fernerkundung realisiert und ist zunehmend innerhalb eines Bildverarbeitungssystems möglich.

Wesentlich naheliegender als statistische Analysen ist aber eigentlich die Annahme, dass ein zu betrachtendes Pixel zur gleichen Klasse wie sein Nachbarpixel gehört. Diese räumliche Abhängigkeit (*Tobler's first law of geography*) wird bei rein Pixel-basierten Verfahren nicht genutzt. Statt dessen wird angenommen, dass alle Pixel einer zu bearbeitenden Szene überall gleiche Antreffwahrscheinlichkeiten haben, also z.B. quer über Täler und Bergkämme hinweg.

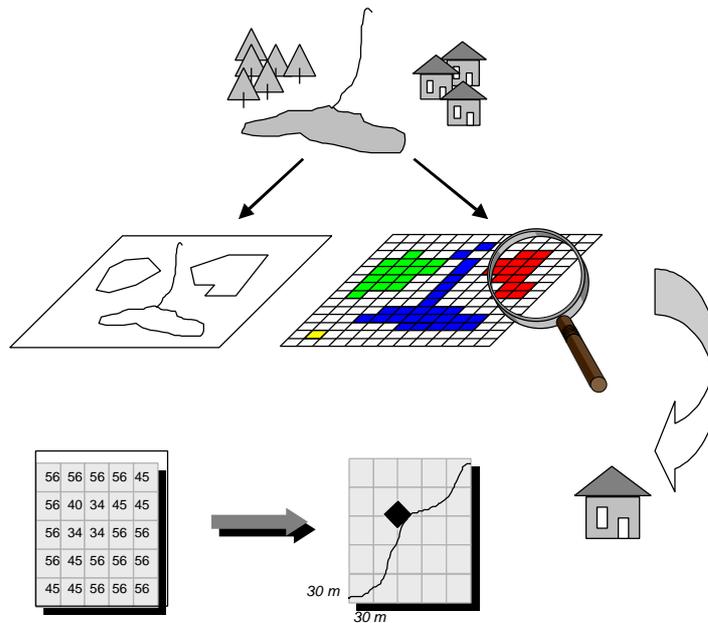


Abb. 2: Illustration des sogenannten Mischpixel-Effekts. Jeder der vier hervorgehobenen Pixel enthält das Haus zu unterschiedlichen Anteilen und es resultieren unterschiedliche Reflexionswerte.

## 2 BILDSEGMENTIERUNG

Bei der visuellen Interpretation durch einen erfahrenen Interpreten werden über die reinen Reflexionswerte (Grauwerte, Farbstufen) hinaus bewusst und unbewusst sofort Zusammenhänge erfasst. Das Bild wird subjektiv erfasst, bestimmte Muster lösen je nach Erfahrungen bestimmte Assoziationen aus. Der Betrachter filtert in der Regel damit bestimmte Informationen aus der fast unbegrenzten Menge an Information heraus. Man betrachtet daher nicht ein Meer an Farben oder Grauwerten sondern erkennt intuitiv Formen und Muster in einem Satellitenbild. Neben der reinen spektralen Information spielen also auch die Textur bzw. verschiedene textuelle Merkmale und Muster oder Nachbarschaftsbeziehungen eine Rolle.

Eine naheliegende Möglichkeit, die relativ spät Einzug in die Fernerkundung hält, ist die Strategie, ein Bild zunächst in einzelne, in sich homogene Objekte zu zerlegen und mit diesen Objekten dann weiter zu arbeiten. In der Bildverarbeitung, insbesondere für Mustererkennung in der Materialüberwachung gibt es schon länger verschiedene Verfahren (HARALICK and SHAPIRO 1985). Die rechner-gestützte Segmentierung unterteilt das digitale Bild in Bereiche (Segmente, räumlich zusammenhängende Mengen von Pixeln), die in der realen Welt eine Bedeutung haben. Die Segmentierung soll je nach Untersuchungszweck relevante Bildelemente bzw. repräsentierte Landschaftselemente ergeben.

Es existieren zahlreiche Segmentierungsalgorithmen, die z.T. aus den Werkstoff- und Materialwissenschaften stammen, wo z.B. die Homogenität von Polymeren untersucht wird. Aus den zahlreichen Verfahren können vereinfacht drei Kriterien zu einer groben Einteilung identifiziert werden:

- ?? Homogenität innerhalb eines Segments
- ?? Verschiedenheit/Trennstärke gegenüber räumlich angrenzender Segmente
- ?? Formhomogenität (Einfachheit von Segmentgrenzen vs. Fraktale Ausprägungen)

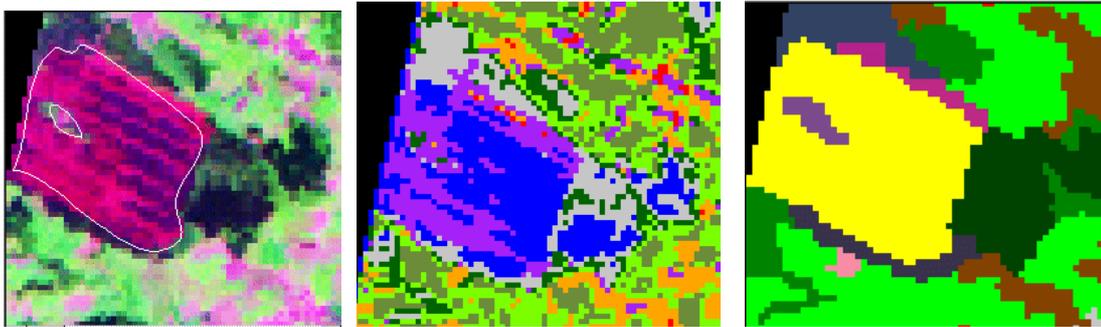


Abb. 3: Beispiel der Abgrenzung eines Moors. Links: Darstellung der Kanäle 5,4,3 Landsat TM, Mitte: Pixelbasierte Klassifikation. Rechts: Segmentierung und Objekt-orientierte Klassifikation. Jedes Pixel nur nach seinen statistischen Merkmalen zu betrachten bedeutet, dass die Lage ignoriert wird. Ein statistischer Ausreißer (z.B. durch Verschmutzung des Sensors, atmosphärische Trübung, Reflexionen etc.) bewirkt, dass einzelne Pixel einer anderen Klasse zugeordnet werden als die Nachbarelemente. Die Genauigkeit ist im vorliegenden Fall nur geringfügig besser, da hier keine zusätzlichen nicht-spektralen Parameter eingeflossen sind.

Diese Kriterien können nicht gleichzeitig in vollem Umfang befolgt werden. Sie widersprechen einander zum Teil (z.B. je mehr die Forderung der inneren Homogenität der Segmente beachtet wird, desto weniger werden sich benachbarte Segmente voneinander unterscheiden können, und desto weniger Gewicht kann die Forderung nach einfachen, glatten Segmentgrenzen erhalten). Es gibt eine Vielzahl von Segmentierungsmethoden, die jeweils bestimmte Kriterien besonders betonen (BANKO et al. 1998).

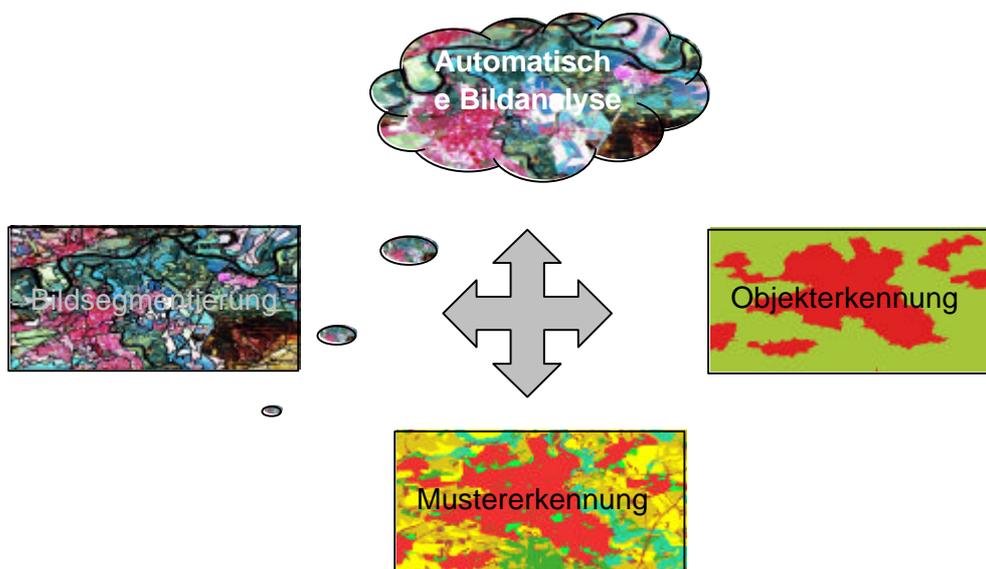


Abb. 4: Begriffsvielfalt für verschiedene Verarbeitungsschritte. In diesem Beitrag wird versucht, zwischen reinen Segmentierungsverfahren (ohne Interpretation) und der Extraktion von Information zu unterscheiden. Letzteres wird hier eng ausgelegt, indem erst ein „In Beziehung setzen“ einzelner Segmente zu verwendbarer Information (im Gegensatz zu Daten) wird. Am unschärfsten ist der mehr in der Materialforschung verwendete Begriff „automatische Bildanalyse“.

Eine einfache Art der Segmentierung ist Clusterbildung im Merkmalsraum. Dabei werden die einzelnen Pixel so zu Klassen (deren Anzahl vorgegeben ist) zusammengefasst, dass sich die Pixel einer Klasse möglichst wenig voneinander unterscheiden (dass die Summe der Quadrate der Abweichungen der Pixelwerte von den Clustermittelwerten minimiert ist). Die Segmente sind im Bild räumlich zusammenhängende Mengen von Pixeln derselben Klasse (desselben Clusters). Der spektralen Homogenität der Pixel innerhalb eines Segments wird dabei keine Beachtung geschenkt (SCHNEIDER et al. 1997). Im Gegensatz zur Clusterbildung im Merkmalsraum arbeiten die anderen Segmentierungsverfahren im Bildraum und damit „explizit räumlich“. Teilweise wird dabei zwischen regionen-basierten (*region-based*) und kantenbasierten (*edge-based*) Methoden unterschieden. Regionen-basierte Methoden sind toleranter gegenüber Bildstörungen, die das Auffinden von Kanten erschweren. Typische regionen-basierte Segmentierungsmethoden sind Split-and-Merge-Methoden und Region-growing-Methoden.

Region-Growing-Segmentierung beginnt mit *seed pixels* als Anfangssegmenten. In jedem Stadium der Segmentierung werden alle Pixel, die einem Segment S benachbart sind und zu keinem anderen Segment gehören, auf Ähnlichkeit mit dem Segment S geprüft. Wenn die Ähnlichkeit groß genug ist, wird das jeweilige Pixel dem Segment S zugeteilt. Die Ähnlichkeit kann entweder durch Vergleich des neuen Pixels mit dem unmittelbar benachbarten Pixel des Segments S, oder durch Vergleich des neuen Pixels mit dem Mittelwert aller Pixel des Segments S ermittelt werden. Wenn es kein Pixel mehr gibt, das zu S hinzugefügt werden kann, wird ein neues Segment mit einer neuen Saatzelle begonnen. Steuerungsparameter dieser Region-Growing-Segmentierung, von denen Größe und Anzahl der entstehenden Segmente abhängen, sind das Verfahren, nach dem die Saatzellen gewählt werden, und die Schwellenwerte, die das Homogenitäts-(Ähnlichkeits-)Kriterium bestimmen. Für die Realisierung von Textur-Homogenitätskriterien können Texturkanäle verwendet werden, die durch Filterung (z.B. mit einem Varianz-Filter) erzeugt werden.

Kantenbasierte Segmentierungsverfahren beginnen mit der Suche nach starken Gradienten (Diskontinuitäten) im Bild, wobei angenommen wird, dass diese Diskontinuitäten Segmentgrenzen darstellen. Es gibt verschiedenste Kantendetektoren (Gradienten-Operatoren), wie z.B. den Laplace- Operator oder den Sobel-Operator. Die Kanten werden hierauf zu Gruppen zusammengefasst, und Netzwerke von Grenzen werden aufgebaut. Dabei kann insbesondere auch das Kriterium der einfachen Form der Segmentgrenzen berücksichtigt werden. Die Homogenität der Segmente ist bei rein kantenbasierten Segmentierungsverfahren nicht automatisch garantiert (SCHNEIDER et al. 1997).

Auch das Verfahren der *Watershed-Segmentierung* (VINCENT & SOILLE 1991, zitiert in SCHNEIDER et al. 1997) beruht auf der Verwendung von Kanteninformation. Mit Hilfe eines Gradientenoperators wird ein Kantenbild hergestellt. Das Kantenbild wird als Geländere relief aufgefasst, wobei große Pixelwerte (Kanten) Erhöhungen (Bergrücken, Bergkämme) und Zonen kleiner Pixelwerte Talbecken darstellen. Um jedes lokale Minimum des Geländere liefs (des Kantenbildes) wird ein Wasser-Einzugsgebiet als die Menge aller Pixel definiert, von denen aus das lokale Minimum entlang eines negativen Gradienten (d.h. in Abflussrichtung) erreicht wird. Die ermittelten Einzugsgebiete stellen die gesuchten Segmente dar. Ein Glättungsfilter vor Anwendung des Gradientenoperators verbessert die Ergebnisse (WRBKA et al. 1999). Wenn entstehende benachbarte Segmente ähnliche Pixelwerte haben, können sie zu einem Segment verschmolzen werden. Der Grad der Glättung und das für die Verschmelzung angewendete Ähnlichkeitskriterium bestimmen die mittlere Größe der Segmente (BANKO et al. 1998).

Im Segmentierungsprozess kann zusätzlich Wissen über die zu erwartenden Bildinhalte eingebracht werden. Die Auswahl des verwendeten Verfahrens oder des Homogenitätskriteriums kann auf Eigenheiten der beobachteten Szene abgestimmt werden (z.B. hinsichtlich der zu erwartenden Segmentgröße). In manchen Verfahren ist es notwendig, dass vorher z.B. die durchschnittliche Größe der resultierenden Segmente festgelegt wird oder die maximal zulässige Heterogenität innerhalb von Segmenten festgelegt wird.

### **3 EINIGE INNOVATIVE, KONTEXTBEZOGENE VERFAHREN**

#### **3.1 Beispiel eines Centroid-Linkage-Region-Growing-Algorithmus (Boku Wien)**

Am Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation der Universität für Bodenkultur, Wien, wurde ein Programm für die Segmentierung entwickelt, wobei zunächst die Eignung der verschiedenen Segmentierungsverfahren für die Abgrenzung von Landschaftselementen auf Landsat-TM Satellitenbildern geprüft wurde. Die Ergebnisse der automatischen Segmentierungen wurden mit Abgrenzungen verglichen, die durch visuelle Interpretation gewonnen wurden. Der Region-Growing-Methode wurde dabei das beste Resultat (im Sinne einer Übereinstimmung mit der visuellen Interpretation) zugesprochen (BANKO et al. 1998, WRBKA 1999). In dem entwickelten Verfahren wird das neue Pixel mit den Mittelwerten aller Spektralkanäle der Pixel des bisher gewachsenen Segments verglichen. Der Vergleich wird in jedem Spektralkanal durchgeführt. Für jeden Kanal existiert ein vorgegebenes Maximum für die Differenz (*Threshold*). Bei Überschreitung des Maximalwertes in einem der Spektralkanäle entsteht eine Segmentgrenze. Wenn kein Nachbarpixel mehr vorhanden ist, dessen Pixelwert im Vergleich zum Mittelwert des bisher gewachsenen Segmentes kleiner oder gleich dem Schwellwert ist, endet das Wachstum des Segmentes.

### 3.2 Beispiel eines geostatistischen Verfahrens (Uni Göttingen)

Ein Beispiel eines Ansatzes, der die Segmentierung auf die Theorie der regionalisierten Variablen der Geostatistik aufbaut, wurde am Geographischen Institut der Universität Göttingen entwickelt. Wie eingangs erwähnt, ist es naheliegender, dass benachbarte Pixel einander ähnlicher sind als weit entfernte oder umgekehrt formuliert: Benachbarte Pixel gehören sehr häufig der gleichen Landnutzungs-kategorie der Zieldimension an. Der Grad des Zusammenhangs wird über ein Semivariogramm ermittelt unter der Annahme, dass auf einer kontinuierlichen Oberfläche der Übergang der Spektralwerte von einer Landnutzungs-kategorie auf eine andere von der Entfernung abhängig ist. Die „Repräsentativität“ wird realisiert als die mittlere Distanz, innerhalb derer die spektralen Eigenschaften eines Pixels denen der Umgebung „ähnlich“ sind. Dazu wird zunächst das Semivariogramm analysiert und die Entfernung berechnet, bei der 50% der maximalen Semivarianz erreicht ist (BOEHNER et al. 1997). Dann wird der durchschnittliche Gradient für Distanzintervalle berechnet und die inverse Distanz pixelweise addiert.

Die Segmentierung basiert dann auf dem Repräsentativitätswert jedes Pixels aus allen spektralen Kanälen (*harmonic mean*). Die Minima der resultierenden Matrix stellen die Bereiche mit den größten Änderungen im Bild dar und werden in vektorisierter Form als Linien genutzt, um Segmente zu erzeugen. Im Zuge der Vektorisierung wird noch nach einem zweiten Algorithmus die Zugehörigkeit von Pixeln über einen 3x3 Nachbarschaftsfilter verglichen und optimiert. Die Anzahl der Cluster wird durch einen iterativen Algorithmus bestimmt, der die Anzahl schrittweise erhöht, bis ein Optimum erreicht ist. Als optimal gilt hier der Zustand, in dem der größte Anteil der Varianz aller Cluster erklärt werden kann.

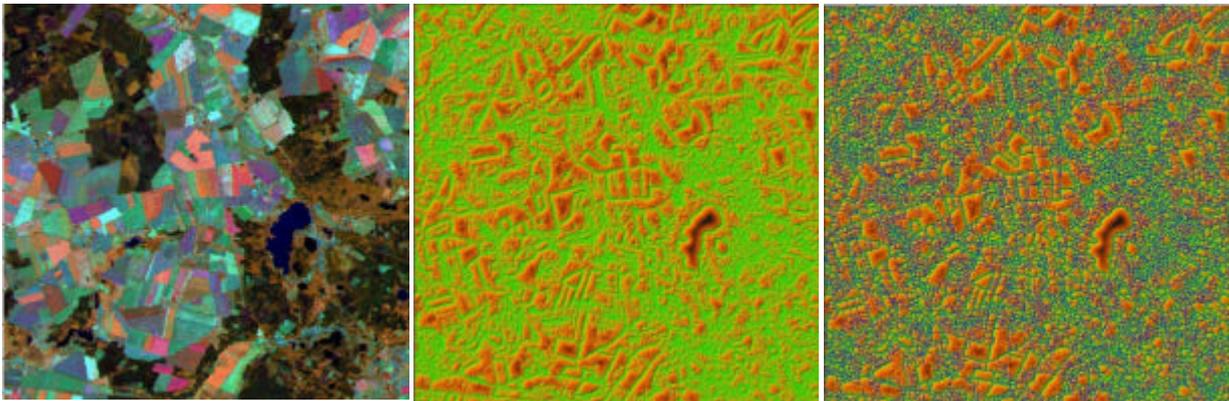


Abb. 5: Illustration der Methode an einem Ausschnitt eines Landsat TM-Bildes (links) mit den Repräsentativwerten für die Umgebung (Mitte, dunkle Flächen sind repräsentativ, d.h. relativ homogen) und den abgeleiteten Vektoren der Segmentierung (rechts). Quelle: <http://uggg-pc-s1.uni-geog.gwdg.de/kuf/segment.htm>

### 3.3 Beispiel einer Textur-basierten Segmentierung (Uni Bonn)

#### Segmentation auf Basis der Textur (<http://www-dbv.cs.uni-bonn.de/seg/>)

An der Universität Bonn wurde ein unüberwachtes Textur-basiertes Segmentierungsverfahren auf Basis von mehrfachen, paarweisen Clusterungen entwickelt. Im Zuge eines deterministischen annealing Algorithmus werden Brodatz-artige Mikrot Texturen auf Basis von „Gabor wavelets“ erzeugt (HOFMANN et al. 1998). Diese Technik wird im allgemeinen in der Werkstoffanalyse (z.B. Polymere) und in der Medizin eingesetzt. Der Ansatz folgt kaskadenartig auf vier Charakterisierungsebenen:

- ?? a *Gabor wavelet* scale-space representation with frequency-tuned filters as a natural [image representation](#).
- ?? Locally extracted histograms provide a good representation of the local feature distribution, which captures substantially more information than the usually used mean feature values
- ?? [Homogeneity](#) between pairs of texture patches or similarity between textured images in general can be measured by a *non-parametric statistical test* applied to the empirical feature distribution functions of locally sampled Gabor coefficients.
- ?? Due to the nature of the pairwise proximity data, we systematically derive a family of *pairwise clustering objective functions* based on sparse data to formalize the segmentation problem. The objective functions are designed to possess important invariance properties.
- ?? Recently, a clustering algorithm has been developed, that is directly applicable to the locally extracted histograms.
- ?? We apply an [optimization technique](#) known as *multiscale annealing* to derive heuristical algorithms to efficiently minimize the clustering objective functions.

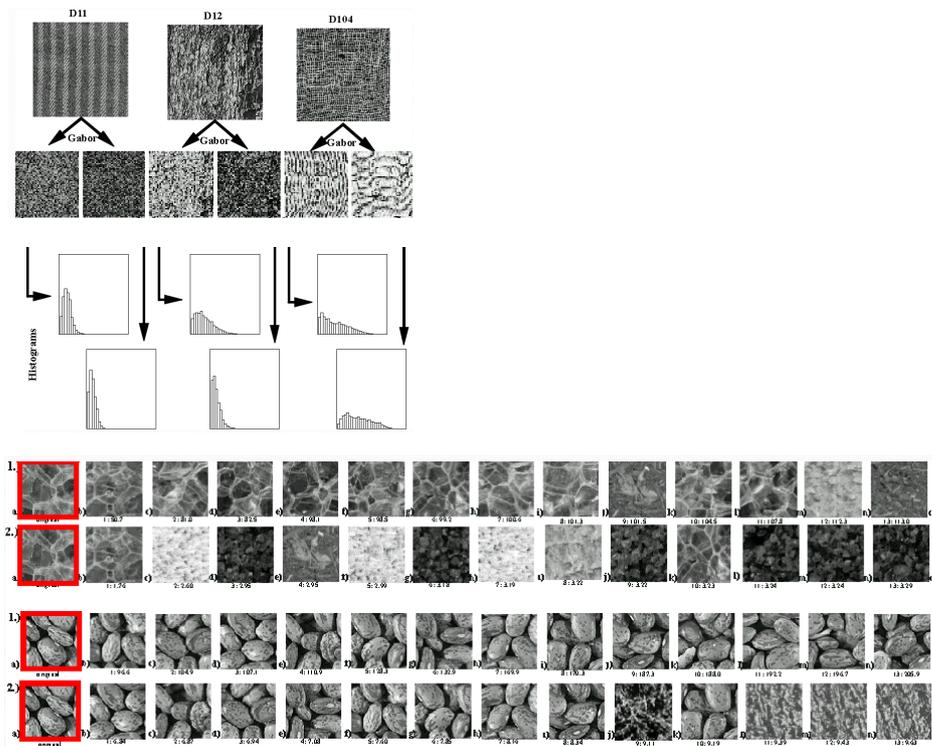


Abb. 6: Unüberwachter Vergleich mit Mikrot Texturen (www-dbv.cs.uni-bonn.de/seg)

Die Unterscheidung erfolgt durch eines Bayes Ansatz zur Abschätzung der Konfidenz jeder Klasse. Diese Abschätzung wird mit einem a priori Wissen über die topologischen Beziehungen, die auf einer Kontextklassifikation beruhen, in einem iterativen Prozess durchgeführt.

### 3.4 Beispiele Wahrscheinlichkeitstheoretischer Modelle

#### 3.4.1 Markov Image Segmentation [www.fmi.uni-passau.de/fakultaet/archiv/brosch\\_10/bericht](http://www.fmi.uni-passau.de/fakultaet/archiv/brosch_10/bericht)

Das an der Universität Passau entwickelte universelle Bildanalyzesystem - ANIMA (Analysis of Images) der automatischen Bildanalyse wurde ursprünglich für medizinische Anwendungen und für Abläufe der automatischen Materialüberwachung konzipiert. Wichtige Aufgaben in diesem Zusammenhang sind Segmentierung (Zerlegung in Bestandteile), Klassifikation und Rauschunterdrückung. Auf der Basis von Farbwerten und Texturen werden in mehreren Kanälen Bilder klassifiziert. Dazu wurden wahrscheinlichkeitstheoretische Modelle von digitalen Mehrkanalbildern und multivariate statistische Schätzer herangezogen. Bei den Luftbildern kann ANIMA z.B. gut zwischen Nadelbäumen, Laubbäumen und gemähten und ungemähten Wiesen unterscheiden.

This package is a tool to train students in image segmentation by Markov random fields and simulated annealing. A visual programming interface allows to change easily parameters and methods, and to test on images. Students have the possibility to test parameters and methods, with two different images (speckle image binary segmentation, and angiography multiclass segmentation). A visual programming interface (Khoros) allows easy graphical modification of algorithms and parameters. It aims at letting experiment image segmentation by Markov random fields (MRF) and simulated annealing. This package allows to : - compare with other classical simple methods (interactive thresholding, bayesian non contextual classification), - determine and set probability laws of each class, as well as their regularization properties, - change annealing parameters (temperature initial value and decrease law), - add segmentation classes, - use a segmentation with few classes as an initialisation for a segmentation with a larger number of classes.

#### 3.4.2 Region Based Segmentation [http://www.uni-koeln.de/med-fak/acm\\_cdrom/yale/chakrab/pap1/sect3\\_2.htm](http://www.uni-koeln.de/med-fak/acm_cdrom/yale/chakrab/pap1/sect3_2.htm)

Das an der Universität Köln entwickelte Regions-basierte Verfahren kann zwei Ziele verfolgen, charakteristische Regionen zu bilden und in Klassen zu segmentieren.

For our purposes, we use one of the popular methods which models the image as a Markov Random Field (MRF) and a Maximum a posteriori (MAP) probability approach is used to do the classification. The problem is posed as an objective function optimization, which in this case is the a posteriori probability of the classified image given the raw data which constitutes the likelihood term, and the prior probability term, which due to the MRF assumption is given by the Gibb's distribution.

## 4 ERSTE ERFAHRUNGEN UND PRAXISANWENDUNGEN

### 4.1 Neuere Erkenntnisse aus der Literatur

Beim Arbeiten mit kantenbasierten Methoden zeigt sich, dass sich Grenzen, die vom menschlichen Betrachter als wesentliche Lineamente wahrgenommen werden, vom Algorithmus nicht erkannt werden, weil die betreffenden Pixelkontraste zu gering sind, die Linien vielfach unterbrochen sind oder überhaupt nur als gedachte Verbindungslinien zwischen ausgezeichneten Punkten (z.B. Endpunkte von Grenzen, die auf die gedachte Verbindungslinie senkrecht stehen) existieren. Im letzteren Fall spricht man von *Perceptual Lines*, an deren automatisierter Erkennung am Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation ebenfalls gearbeitet wird (WRBKA 1999).

BUCK et al. (1999) und de KOK et al. (1999a, b) zeigen einige Vorteile der in Kap. 4.3 beschriebenen Fractal Net Evolution Ansatz (eCognition) für eine forstliche Beispielsanwendung und hochauflösende Datensätze (DPA Kamera, 0,6m Pixelgröße). In einem ersten Schritt werden Objekte ausgewiesen, die spektral einheitliche Kronenbereiche aber auch Schatten, Totholz, Nichtvegetation, etc. darstellen. Auf dieser Bearbeitungsebene finden die klassischen Bildverarbeitungsalgorithmen wie Maximum Likelihood oder Nearest Neighbour Anwendung, anhand derer eine Klassifikation der Unterobjekte Baumkronen nach Baumarten erfolgen kann (Hierarchiestufe 1.1.1.1). In einem zweiten Schritt erfolgt über Texturmerkmale und Kontextinformation die Aggregation zu Oberobjekten (Stufe 1.1.1). Diese können anschließend in die Klassen Nadelwald, Mischwald, etc. (Stufe 1.1) zusammengefasst werden. Das Ausscheiden der Hierarchiestufen 1.1 bzw. 1.1.1 erfolgt anhand der festzulegenden Schwellwerte bzw. von Homogenitätsmerkmalen und Nachbarschaftsbeziehungen. Ein großer Vorteil des Verfahrens ist, dass der Objektaufbau nicht mehr visuell am Bildschirm erfolgt, sondern durch das Regelwerk der Segmentierungs- und Klassifizierungsalgorithmen übernommen wird. Erfolgen die Auswertungen innerhalb der Bestandesgrenzen der Forstbetriebskarte können die Ergebnisse direkt zur Aktualisierung existierender GIS-Ebenen genutzt werden.

### 4.2 Multi-Fractal Dimension (Fraclab)

Ein innovativer Ansatz geht von der Groupe FRACTALES des INRIA (Institute National de Recherche en Informatique et en Automatique) in Paris aus, die sich vor allem mit der Entwicklung multi-fraktaler Verfahren und deren Anwendung in der Segmentierung, Klassifikation, Datenkompression und Rauschunterdrückung beschäftigen. Mit dem Programm Fraclab steht seit einiger Zeit ein operationelles, aber nicht kommerzielles Programm zur Verfügung, das auf dem graphischen Interface bzw. der Umgebung Matlab beruht und mit dem ebenfalls von INRIA entwickelten Programm Scilab kommuniziert. Ziel ist weniger, fraktale Signale zu bearbeiten sondern fraktale Werkzeuge auf Informationen anzuwenden. Der multi-fraktale Ansatz der Bildsegmentierung im Speziellen betrachtet ein Bild als einen kompakten Satz an Signalen und berechnet das multi-fraktale Spektrum lokaler (über den Hölder Exponent) und globaler Singularitäten in der Bildinformation (VÉHEL and MIGNOT 1994).



Abb. 7: Bildsegmentierung eines schwarz-weiß Luftbildes durch multifraktale Analyse in Fraclab

### 4.3 Objekt-orientierte Weiterverarbeitung homogener Bildobjekte und Klassifikation: Die Software eCognition?

In der Software eCognition? der Firma Delphi2 ([www.delphi2.de](http://www.delphi2.de)) wird ein sogenannter „Fractal Net Evolution approach“ angewandt, der ein selbststrukturiertes dynamisches semantisches Netz benutzt, um die segmentierten Objekten in einem heuristischen Verfahren hinsichtlich den zuvor aufgeführten Zielen der Wertheterogenität und der räumlichen Heterogenität zu optimieren, wobei „fraktal“ weniger im mathematischen Sinne zu verstehen ist sondern im Sinne der Selbstähnlichkeit. eCognition? wird (da sie derzeit in einer Beta-Version vorliegt) die erste kommerziell verfügbare Software für Endnutzer sein, die speziell für Fernerkundungsbildverarbeitung konzipiert wurde. Es sei hier nur auf den einfachen Fall der Vorkennntnis-freien Segmentierung eingegangen. Zugrunde liegt eine heuristische Optimierungsprozedur, die die durchschnittliche Heterogenität von Bildobjekten einer gegebenen Auflösung über eine untersuchte Szene hinweg minimiert. Diese Optimierung verfolgt zwei Ziele, die allerdings nicht gleichzeitig zu 100% zu erreichen sind:

?? Kontinuität der Werte

?? Räumliche Kontinuität

Für beide Ziele sind von Benutzer Werte zu wählen, die das Segmentierungsverfahren beeinflussen, indem ein höherer Schwellwert an Wertkontinuität (*object scale parameter*) zu größeren („gröberen“) Objekten führt. Mehrfache Segmentierungen mit unterschiedlichen Schwellwerten können für Baumartige Klassifizierungen genutzt werden. Höhere Schwellwerte für Formheterogenität münden in komplexeren, z.B. auch länglich-zerlappten Formen oder umgekehrt, niedrigere Werte erzwingen relativ kompakte Bildobjekte.

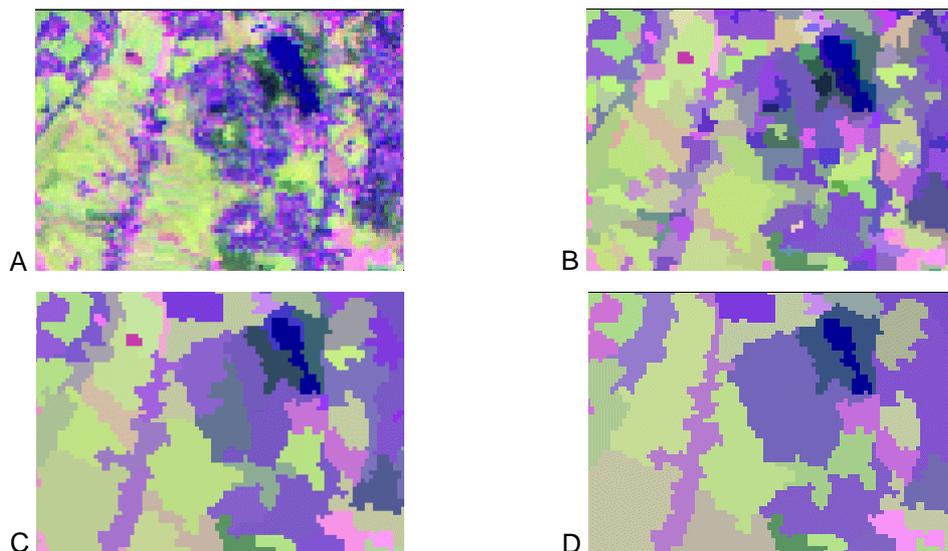


Abb. 8: Segmentierungen eines Landsat TM Bildes (A) mit deutlich unterschiedlichen Schwellwerten der Wertekontinuität (B-D)

Im Gegensatz zu den anderen erwähnten Ansätzen ist eCognition in eine professionelle und benutzerfreundliche Standard-Software Umgebung eingebettet. Ein entscheidender Unterschied ist auch, dass die Segmentierung nicht Selbstzweck oder Vorverarbeitungsstufe für eine andere Software ist, sondern dass auf den Bildobjekten aufbauend streng objekt-orientiert ein mächtiger Werkzeugatz der Klassifikation zur Verfügung steht. Die Bildobjekte tragen neben den spektralen Werten und deren Statistik (Mittel, Median, Varianz etc.) und Maßen für die Textur in den entsprechenden Kanälen noch viele andere Informationen, die nutzbar sind. So kennt jedes Bildobjekt sofort, also auch in unklassifiziertem Zustand, seine Grenzlängen zu Nachbarelementen, seinen Umfang, Fläche, Gestaltparameter aus Umfang und Fläche oder längster Achse etc.

Durch die Objektorientiertheit können Obergruppen von Objekten gebildet werden, die Eigenschaften der Unterobjekte erben und umgekehrt können Gruppenmerkmale bei der Klassifikation Merkmale auf neue Unterklassen vererben. Fuzzy logic Verfahren sind heute in vielen Softwareanwendungen hinreichend bewährt. In der (Fernerkundungs-) Bildverarbeitung sind Fuzzy logic Verfahren in einigen Klassifikationsverfahren zu finden (SCHOWENGERDT 1997). Ein großer Fortschritt der Software

eCognition ist die breite und benutzerfreundliche Verwendung von Fuzzy Regeln nicht nur für spektrale Merkmale sondern auch für typische GIS-Funktionen (Grenzlängen, topologische Beziehungen, Entfernungen zum nächsten Element der gleichen Klasse, Formdeskriptoren etc.). Die volle Integration von Bildverarbeitungs- und GIS-Funktionen geht soweit, dass die Grenzen verschwinden. Das eigentliche Potential liegt aber weniger in der regelbasierten Klassifikation eines Datensatzes (z.B. einer Szene) sondern in der Integration von heterogenen Daten mit unterschiedlichen räumlichen Auflösungen und spektralen Eigenschaften bzw. unterschiedlichen Domänen und klassischen GIS-Daten nicht nur in der Pre- und Postklassifikation sondern voll integriert sowie in der Modellierung auch komplexer Sachverhalte. Beispiele sind die Integration von Radardaten und hochauflösenden Daten passiver Systeme und die Integration bestehender Klassifikationen oder naturräumlicher Grenzen in den Klassifikationsprozess.

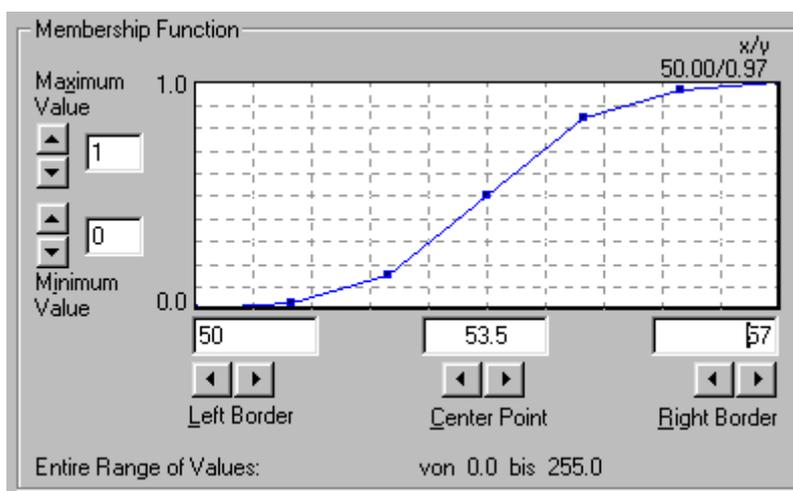


Abb. 9: Fuzzy-Regeln für alle Zugehörigkeitsfunktionen zu Klassen in der Software eCognition?

## 5 POTENTIAL FÜR GIS-ANWENDER UND AUSBLICK

GIS und Fernerkundung wachsen zusammen. Die Geschwindigkeit und die Dynamik des Ineinanderwachsens zweier vormals weitgehend getrennter Welten hat sich in den letzten Jahren stark beschleunigt. Dabei spielt die verstärkte Integration von Fernerkundung und GIS in einer Desktop-Umgebung eine große Rolle. Mit der stark wachsenden Zahl der Nutzer auf beiden Seiten sind es zunehmend Fachanwender und nicht Fernerkundungs- und GIS-Spezialisten, die die Anforderungen an die Softwareindustrie stellen. Diese agiert und reagiert einerseits mit verbesserten User-Interfaces und andererseits mit einer stärkeren Integration in die Umgebung eines "PC-Standardarbeitsplatzes". Erstmals ist es möglich, GIS und Fernerkundung auf dem selben Computer zu betreiben, im dem auch Standard Office Applikationen laufen. Damit ist über den "normalen", mehr oder minder stetigen technischen Fortschritt hinaus eine neue Ära in Sicht. Es werden jedoch in diesem Beitrag keine Paradigmenwechsel diskutiert, sondern die Konsequenzen für die derzeitigen und künftigen Nutzer beleuchtet.

Die Nutzungskonflikte in der täglichen Planungspraxis nehmen ständig zu. Die Anforderungen an Raumplanung, Naturschutz, Umweltüberwachung wachsen ebenfalls stetig. Grundlegende Planungsdaten bzw. Zustandsinformationen müssen aktuell und in möglichst guter Auflösung zur Verfügung stehen. GIS und Computersysteme allgemein sind nicht die Ursache des enorm steigenden Datenbedarfs, vielmehr sind es die gesellschaftlichen Ansprüche an die nicht vermehrbare Ressource Boden bzw. Standort. Neben der technischen Entwicklung führt diese Nachfrage nach aktuellen Daten dazu, dass GIS-Nutzer in Zukunft stärker Fernerkundungsdaten einsetzen werden (müssen). Die technische Entwicklung ist vor allem durch drei Komponenten gekennzeichnet:

- ?? Hard- und Softwareentwicklung
- ?? neue Satellitensensoren
- ?? bessere Verfügbarkeit und geringere Zugangshürde

Dabei erscheinen die hier kurz vorgestellten kontextbezogenen Verfahren enorm wichtig, diese planerischen Ziele zu erreichen.

Eine große Hürde für gelegentliche Nutzer war früher der Zugriff auf vorhandene Daten bzw. die Informationsgewinnung, welche Szenen für einen bestimmten Zeitraum und Ausschnitt der Erdoberfläche verfügbar waren. Zahlreiche Datenprovider haben in den letzten Jahren stark auf diesen Flaschenhals im Informationsprozess reagiert und ihre Datenkataloge mittels WWW online verfügbar gemacht mit z.T. benutzerfreundlichen User-Interfaces. Sehr einfach gestaltet sich z.B. die Recherche der Bilddaten über das Satellitenbildarchiv ISIS des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums (DFD) der DLR. Es gestattet neben der Suche vorhandener Bilddaten und ihrer Eckwerte (Aufnahmedatum, Bewölkung, abgedeckte Flächen usw.) auch die Darstellung und den Download von Quicklooks. Diese ermöglichen die Einschätzung der Bewölkung und eventuell vorhandener Dunstgebiete.

Bis vor ca. 3 Jahren war der Satellitenbildmarkt relativ statisch. Eine Neuheit stellten nur die photographischen Bilder der russischen Kameras KWR1000 und KVR1000 der Kosmos-Serie dar, die ab Beginn der 90er Jahre, mit einer geometrische Auflösung von 1 - 2 m angeboten wurden. Diese Bilder haben neben dem Vorteil der hohen räumlichen Auflösung einige Nachteile: Sie liegen nicht digital vor, können also nur im nachhinein gescannt werden und haben daher auch eine schlechte spektrale Auflösung und es fehlt eine kontinuierliche Datenaufzeichnung. Mit den indischen Satelliten IRS-1C und IRS-1D begann eine rasante Entwicklung der satellitengestützten Fernerkundung in höhere Dimensionen räumlicher Auflösung. Das Aufnahmesystem wurde gezielt für terrestrische Fragestellungen entwickelt, da die Satellitenfernerkundung gerade für große Flächenländer wie Indien, mit noch relativ am Anfang stehender kartographischer Landesaufnahme, eine hohe Bedeutung hat. Zwar sind mehrere Missionen hochauflösender Satelliten gescheitert (z.B. Early Bird), doch waren diese Starts erst der Anfang einer neuen Generation. Der erste, seit September 1999 kommerziell verfügbare 1-Meter Satellit ist Ikonos 1. Damit stehen relativ rasch für kleinere bis mittelgroße Gebiete Satellitenbilder zur Verfügung, z.B. in Bereichen, wo mit Flugzeugen z.B. aus hoheitlichen Gründen nur schwer geflogen werden kann oder ein solcher Service nicht angeboten wird, z.B. in Entwicklungsländern (BLASCHKE 1998). Allerdings sind die Daten wesentlich teurer als die „mittelauflösenden“ Satelliten wie z.B. Landsat und SPOT und reichen knapp an Luftbilder heran. In den kommenden ein bis zwei Jahren werden weitere kommerzielle Anbieter Bilddaten mit einer geometrischen Auflösung zwischen einem und fünf Meter auf den Markt bringen.

## 6 LITERATURVERZEICHNIS

- BANKO, G., BURGER, H. und SCHNEIDER, W. (1998): Forstliche Anwendungsmöglichkeiten hochauflösender Satellitenbilddaten ([http://ivflserver.boku.ac.at/Mission\\_VGI.html](http://ivflserver.boku.ac.at/Mission_VGI.html)):
- BLASCHKE, T. (1996): GIS techniques and hybrid parametric/non-parametric image classification: A case study showing the potential for signature training and accuracy assessment. In: Intern. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B2, 15-19.
- BLASCHKE, T. (1998): GIS-Integrated Space Imagery as planning tools for sustainable development. In: van HELDEN, P. and van TEEFFELEN, P. (eds.), GISDECO'98, Tools for an effective planning, Pretoria, 181-192.
- BOEHNER, J., R. KOETHE and C. TRACHINOW (1997): Weiterentwicklung der automatischen Reliefanalyse auf der Basis von Digitalen Geländemodellen, Göttinger Geograph. Abhandlungen, vol. 100, 3-21.
- BUCK, A., de KOK, R., SCHNEIDER, T., AMMER, U. (1999): Integration von Fernerkundungsdaten und GIS zur Beobachtung und Inventur von Schutzwäldern in den Bayerischen Alpen. In: STROBL, J. und BLASCHKE, T. (Hrsg.), Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI, Wichmann, 94-101.
- De KOK, R., T. SCHNEIDER, U. AMMER (1999a): Object-Based classification and applications in the alpine forest environment. Intern. Archives of Photogram. and Remote Sensing, Vol. 32, Part 7-4-3 W6.
- De KOK, R., T. SCHNEIDER, M. BAATZ, U. AMMER (1999b): Object based image analysis of high resolution data in the alpine forest area.
- GORTE, B. (1996): Multi-spectral Quadtree based Image Segmentation. ITC, Enschede.
- HARALICK, R. and L. SHAPIRO (1985): Image segmentation techniques, Computer Vision, Graphics, and Image Processing, vol. 29, 100-132.
- HOFMANN, T., J. PUZICHA and J. BUHMANN (1998): Unsupervised Texture Segmentation in a Deterministic Annealing Framework. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), 20(8).
- KLOER, B., 1994, Hybrid parametric/non-parametric image classification. Technical Papers, ACSM-ASPRS Annual Convention, 307-316.
- SCHNEIDER, W., SUPPAN, F., STEINWENDNER, J. & BARTL, R. (1997): Automatic Extraction of Landscape Ecology Features from Satellite Imagery by Computer Vision Techniques. In: Proc. Geospatial Information Age, vol. 4, 630 – 639.
- SCHOWENGERDT, R. (1997): Remote sensing models and methods for image processing. Academic Press, San Diego.
- STEINNOCHER, K. (1997): Texturanalyse zur Detektion von Siedlungsgebieten in hochauflösenden panchromatischen Satellitenbilddaten. In: DOLLINGER, F. und J. STROBL (Hrsg.), Salzburger Geograph. Materialien 26, Salzburg, 143-152.
- VÉHEL, J., L. and P. MIGNOT (1994): Multifractal Segmentation of Images, Fractals, vol.2, No.3, 371-378.
- WRBKA, T. (1999, Hrsg.): Endbericht des Forschungsprojektes SINUS. <http://vegworld.pph.univie.ac.at/intwo/endbericht/>