

14. Kongreß der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie
Hamburg 1980
Kommission VII
Arbeitsgruppe 1
(Presented Paper)

Eine Strategie der rechnergestützten Landnutzungs-klassifizierung

Walter Fink
Battelle - Institut e. V.
Frankfurt am Main
und
Klaus Niemz
Institut für Angewandte Geodäsie
Frankfurt am Main

Zusammenfassung

Mit zwei Landsat-Szenen des Jahres 1975 wird eine Karte der Landnutzung für das Untermaingebiet (Bundesrepublik Deutschland) erstellt. Das wesentliche Arbeitsmittel ist dabei die rechnergestützte Analyse und Klassifikation. Die errechneten Zuordnungen aus den Musterflächen, die aus einer Landschaftsanalyse gewonnen werden, werden mit Hilfe von konventionellen Methoden der Interpretation überprüft.

1. Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war eine Untersuchung der praktischen Verwendbarkeit von Satellitenaufnahmen (Typ Landsat) als Hilfsmittel zur Informationsbeschaffung für die Regional- und Landesplanung. Die Untersuchung galt also zwei Schwerpunkten. Zum einen sollte festgestellt werden, inwieweit Satellitenaufnahmen unter Berücksichtigung der kleinflächigen Strukturen der Bodenbedeckung in Mitteleuropa und den daraus folgenden planerischen und gesetzlichen Anforderungen als verlässliche Datenquelle herangezogen werden können. Zum zweiten sollte eine Vorgehensweise entwickelt werden, die bei vertretbarem wirtschaftlichen Aufwand für die Planung vertretbare Ergebnisse liefern kann. Im Vordergrund standen nicht die Grenzen des wissenschaftlich Machbaren, sondern des praktisch Brauchbaren.

Die Nutzung wenigstens eines Bruchteiles der durch Satelliten gesammelten Daten zum Lösen praktischer Aufgaben beruht auf der Akzeptanz dieser neuen Datenquellen in der Arbeitspraxis der verschiedenen Planungsstellen. Akzeptanz gründet sich auf Wollen und Können. Dem Planer muß die Miteinbeziehung von Satellitendaten als Informationsquelle erkennbare Vorteile bringen. Die dabei mögliche Vorgehensweise muß überschaubar und verständlich sein. Die technischen und wirtschaftlichen Anforderungen müssen sich realistisch am Wirtschaftsrahmen von Planungsstellen orientieren. Besondere Beachtung galt daher den Problemkreisen

- praxisnahe Durchführung der Bildauswertung,
- Verwendung einfacher, anschaulicher und nicht an spezielle Geräte gebundene EDV-Verfahren,
- Erzielung praktisch brauchbarer und abgesicherter Ergebnisse,
- Entwicklung einer nachvollziehbaren Vorgehensweise.

2. Durchführung

Die rechnergestützte Auswertung digitalisierter Bilddaten soll den Planern nicht als neue Alternative, sondern als zusätzliches Hilfsmittel angeboten werden. Methoden der rechnergestützten und manuellen Bildauswertung sollen sich so ergänzen, daß kein abruptes Umdenken in der bisher üblichen Vorgehensweise notwendig wird. Das hier verfolgte Konzept geht daher von einer visuellen Beurteilung des Satellitenbild- und (wenn vorhanden) Luftbildmaterials aus, und stützt sich stark auf Gelände- und Ortskenntnisse, Geländebegehungen und Kartenmaterial. Die Analyse und Klassifikation der Digitaldaten erfolgt schrittweise

und rekursiv unter Rückgriff auf und Kontrolle visuell-manueller Verfahren. Dieses Vorgehen liefert bereits nach einigen Schritten brauchbare Resultate, die bei weiterem Zeitaufwand themenspezifisch verfeinert werden können.

Bildverarbeitung ist EDV-intensiv und stellt hohe Ansprüche an das Leistungs- und Speichervermögen der Rechenanlage. Diese Ansprüche schlagen sich im Preis und der lokalen Verfügbarkeit spezieller Bildverarbeitungsanlagen nieder. Als Alternative bietet sich daher die Verwendung allgemeiner Rechenanlagen an, die in Form von Universitäts- oder öffentlichen Rechenanlagen an verschiedenen Stellen zur Verfügung stehen, und deren Nutzung in vielen Bereichen zur allgemeinen Praxis geworden ist. Durch die Implementierung geeigneter Programmsysteme sind solche Anlagen auch zum Verarbeiten von Bildformatdaten geeignet durch verschiedene Dienste (Dialogsysteme, Programmierhilfen, Textverarbeitung etc.) sehr nutzerfreundlich. Einen Engpaß stellt die Bildformatausgabe dar; Spezialgeräte zur qualitativ hochwertigen Ausgabe von Bildern stehen nur an wenigen Stellen zu Verfügung. Zwischenergebnisse von Auswertearbeiten können jedoch auf Druckern oder Zeichengeräten ausgegeben werden und sind in dieser Form ohnedies notwendige Arbeitshilfen; Endergebnisse müssen auf einem Spezialplotter (z. B. Optronics P1700) abgespielt werden.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Akzeptanz rechnergestützter Auswerteverfahren sind einfache und anschauliche Methoden. Ein Programmsystem, vor allem wenn es durch eine einfache Kommandosprache beherrschbar ist, befreit den Anwender von fast allen EDV-spezifischen Pflichten und ermöglicht eine zielstrebige aufgabenorientierte Arbeitsweise. Analyse- und Klassifikationsverfahren, die anschaulich bleiben, ermutigen zu einer von Anwendern gesteuerten und daher optimalen problemangepaßten Verwendung. Sie werden daher auch für die vorliegende Arbeit bevorzugt.

Nicht alle in Realnutzungskatalogen aufgeführten Nutzungsklassen sind durch spektrale Unterschiede in Satelliten- und Luftaufnahmen unterscheidbar. Eine sinnvolle Klassendefinition setzt darüber hinaus eine Beziehung zwischen Bildzellengröße und Objektflächengröße voraus, muß also der Landschaftsstruktur angepaßt sein und ist somit gebietsspezifisch. Die aus den Bildern zu gewinnenden Klassen sind daher in einem ersten Schritt durch visuelle Interpretation bestimmbar und können im Verlauf der Szenenanalyse weiter ergänzt bzw. geändert werden. Ein schrittweises Vorgehen bei der Entwicklung der Klassenliste beinhaltet eine laufende Überprüfung der örtlichen Übereinstimmung der Klassifizierung mit der Realität.

2.1 Landschaftsanalyse

Die zentrale Lage Frankfurts in Mitteleuropa in einer weitgestreckten Ebene am unteren Main, die von unterschiedlich strukturierten Landschaftstypen umgeben wird, hat zu einer starken Agglomeration der Verbauung geführt, die größtenteils unkontrolliert erfolgt ist. Die Wohnsiedlungen wichen Gewerbeansiedlungen in die klimatisch bevorzugten Gebiete der nahen Mittelgebirge wie Taunus und Odenwald und die Randgebiete von Spessart und Vogelsberg aus. Für die Regionalplanung ein Zustand, der für ein

Eingreifen und Steuern als ersten Schritt eine Bestandaufnahme erfordert, die in Form einer Realnutzungskarte erarbeitet wird.

Zu den bisher angewandten Methoden u. a. der Luftbildinterpretation bietet die rechnergestützte Klassifizierung eine zusätzliche Möglichkeit. Dazu ist Voraussetzung, daß man die unterschiedlichen Landschaftselemente entsprechend berücksichtigt. Im vorliegenden Untersuchungsgebiet müssen wir zunächst zwischen den Gebieten in der Ebene und denen der Mittelgebirge unterscheiden. (Bild 1) Innerhalb dieser Grobgliederung sind z. B. weitere Unterscheidungen zu beachten, die auf Grund des unterschiedlichen Reifezustandes von Getreide auf trockenen (Sand) oder feuchten (Löß) Böden oder wegen unterschiedlicher vegetationsklimatischer Höhenstufen auftreten. Analoges gilt entsprechend für die Exposition gegenüber der Sonne. Ein Buchenwald auf einem Hang in der Sonne hat eine andere spektrale Signatur als der gleiche im Schatten. Bei Berücksichtigung dieser und anderer gebietsspezifischer naturräumlicher Eigenschaften, kann man die bei der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain gemachten Erfahrungen bestätigen, daß ein Teil der heute durch gesetzliche Maßnahmen gewonnenen Planungsdaten im Laufe der Zeit durch Fernerkundungsdaten, insbesondere durch Satellitendaten schneller erfaßt werden können.¹

2.2 Geometrische Anpassung

Jeder Bildrasterpunkt ist zum Zwecke der Kartierung und Szenenanpassung einem in einem Bezugssystem festgelegten Ort zuzuordnen (z. B. Gauß-Krüger-Koordinaten bei Kartenbezug). Die Vermessung der einzelnen Bilder erfolgt im Zeiss-Präzisions-Stereokomparator in einer transparenten Kopie des Kanals 7, da der hohe Kontrast zwischen Land und Wasser zu einer genauen Ansprache von Paßpunkten im Bild beiträgt. Die Bildecken werden dabei in Zeilen und Spalten als Bezugspunkte mitbestimmt. Bei der Auswahl der Paßpunkte ist zu beachten, daß die saubere Identifizierung des Punktes wichtiger als eine regelmäßige Verteilung der Punkte im Bild ist. So findet man typische Paßpunkte im Verlauf von Flüssen, an Inseln und an Schnittpunkten von markanten Verkehrswegen. Bei der Messung soll die Meßmarke nicht nur pixelgenau, sondern im wahrscheinlichen Lagequadranten des Pixels aufgesetzt werden. Eine mit diesen Meßergebnissen (60 Paßpunkte) durchgeführte Affintransformation hat für den Schnitt der TÜK 1:200 000 zu einem mittleren Koordinatenfehler von 44 m geführt. Zu Feststellung von systematischen nichtlinearen Anteilen wurden mehrere Transformationen streifenweise durchgeführt. Ein Vergleich zeigte keine signifikanten Abweichungen, was auch mit anderen Untersuchungen im Einklang steht.^{2,3,4}

2.3 Auswahl der Mustergebiete - Szenenanalyse

Die Auswahl der Mustergebiete erfolgt nach den Gesichtspunkten der Repräsentativität für das gesamte Untersuchungsgebiet und der Homogenität innerhalb der Mustergebiete. Aufgrund der Landschaftsanalyse sind die zu berücksichtigenden Faktoren der Phänologie, der Geomorphologie und der Geologie bekannt. Analyse und Klassifikation stützen sich auf eine gleichzeitige Behandlung von jeweils nur zwei Kanälen. Für Einzelaufnahmen von Landsat entspricht diese Behandlung in vielen Fällen der

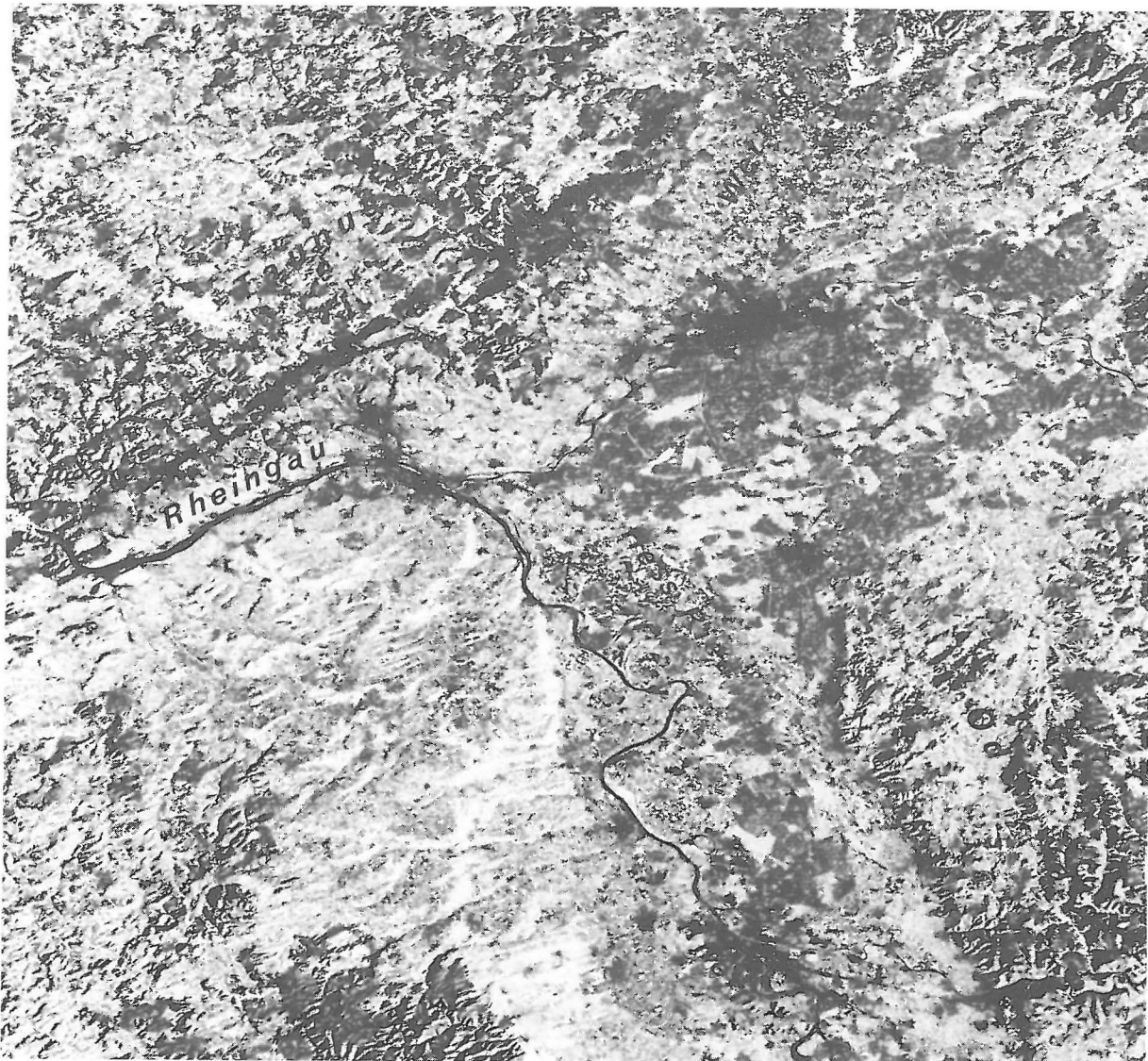


Bild 1: Landsat-2, März 1976, Kanal 7
Niedriger Sonnenstand bewirkt eine gute Gliederung in
verschiedene Landschaftselemente

Datenstruktur so weit, daß zwei ausgewählte Kanäle für sich ausreichend sind.¹ Gegebenenfalls muß man Kanalpaare parallel betrachten, bzw. nach einer Szenenanalyse eine Kanalreduktion über eine der Klassengruppe angepaßte Hauptachsentransformation vornehmen. Einzelergebnisse aus Kanalpaaren werden durch geeignete Kombinationen zusammengefaßt, wobei auch zeitliche Faktoren (Erntezeitpunkt, Vegetationsfortschritt, Nutzungsänderungen) berücksichtigt werden können (Bild 2 und 3).

In einem ersten Schritt werden durch visuelle Betrachtung einzelner Kanalauszüge oder Farbkombinationen von Kanälen unterscheidbare Flächen bestimmt. Im Vergleich mit Karten/Luftbildern kann dann ein vorläufiger Klassenkatalog erstellt werden. Dieser wird im allgemeinen manche gewünschte Klasse nicht enthalten, während andere in unerwünschte Teilklassen zerfallen. Diese Teilklassen werden separat geführt, im Bildmaterial nicht erkannte aber gewünschte Klassen werden als solche gekennzeichnet. Für jede Klasse werden sodann mehrere typische Mustergebiete im Ge-

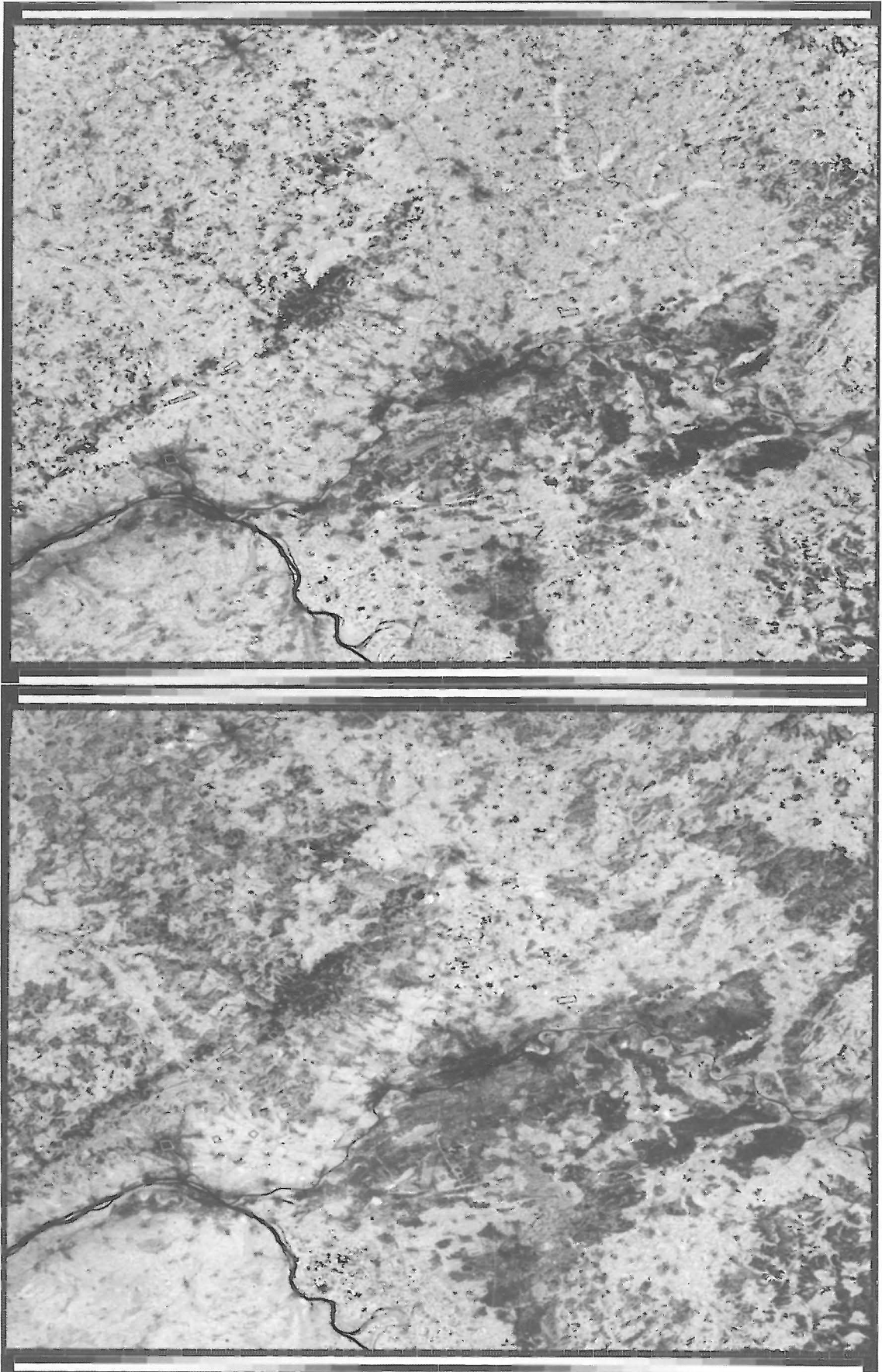


Bild 2 und 3: Landsat-2 Kanal 7, Juni und August 1975

lände koordinatenmäßig festgelegt und über die geometrische Beziehung zwischen Kartenbasis und Aufnahme(n) in diese eingerechnet. Die Betrachtung statistischer Kennwerte (Mittelwert, Standardabweichung, Histogramm) für jede Klasse in jedem Kanal ermöglicht eine Auswahl potentieller Kanalpaare, die in Zweifelsfällen durch die Erstellung von Klassenlagediagrammen (s.u.) unterstützt wird. Für ein Klassenpaar ist jedes zu einem Bildpunkt gehörende Wertepaar durch einen Punkt auf einer zweidimensionalen Fläche darstellbar. Dabei kann dieser Punkt durch ein Zeichen kodiert werden, das entweder seine Klassenzugehörigkeit oder seine Häufigkeit im untersuchten Bildbereich darstellt. Es ist also möglich, ¹ eines Bildes oder Ausschnittes zu veranschaulichen, und dieser die Verteilung jedes Mustergebietes gegenüberzustellen. Man erhält so Aufschluß über die Anzahl und Verteilung aller im Untersuchungsgebiet auftretenden verschiedenen Wertepaare ebenso wie über die Lage der Mustergebiete. Somit kann die Homogenität einzelner Klassen sichergestellt werden, und die Abdeckung der gesamten Datenverteilung durch Klassen auf Vollständigkeit geprüft werden.

Zur Sicherstellung der Homogenität, insbesondere zur Eliminierung von Rand- und Fremdbildpunkten in einem Mustergebiet, dienen numerische Ausdrücke einzelner Kanäle über Mustergebieten und deren Umgebung. Die Analyse eines Gebietes kann durch iterative Anwendung von Klassifikation und Korrektur der Mustergebiete verbessert und verfeinert werden.

2.4 Klassifikation

Die ursprüngliche Klassenzuordnung A in einem Kanalpaar erfolgt, indem jedem Wertepaar eines Bildpunktes über eine zweidimensionale Tabelle ein Klassenwert zugeordnet wird. Diese Tabelle wird aus den bereinigten Mustergebieten erstellt und graphisch dargestellt. Jede Klassenverteilung wird dabei auf gleiche Mitgliederzahl normiert und kann zusätzlich gewichtet werden. Auf diese Weise entsteht für jeden Punkt im Lagediagramm zunächst eine Bewertungsziffer für jede ihn bedeckende Klasse, nach der schließlich die dominierende Klasse eingetragen wird (Bei entsprechend fortgeschrittener Analyse sollte die Anzahl der konkurrierenden Klassen möglichst gering sein.).

Im allgemeinen überdeckt die erste erstellte Tabelle die auftretende Datenverteilung nur unvollkommen. In einem Klassifikationslauf können daher nicht erfaßte Bildpunkte in beiden Kanälen gekennzeichnet und anschließend wieder in einem Lagediagramm erfaßt werden. Daraus ist ersichtlich, wo im Bild noch geschlossene nicht erfaßte Flächen liegen, und ob diese zusammenhängende Datenbereiche darstellen. Umgekehrt besteht die Möglichkeit, nicht vom Klassenkatalog angesprochene Bereiche im Lagediagramm (Lücken in der Tabelle) in das Bild zu übertragen und dieses auf geschlossene Flächen zu untersuchen.

Zur Erfassung von Bildpunkten an Übergangszonen zwischen einzelnen Klassen kann die Entscheidungstabelle dilatiert werden, d. h. freie Nachbarlagen im Lagediagramm werden der nächstliegenden Klasse zugeschlagen. (Eine von der Klassengewichtsverteilung gesteuerte Zuordnung ist denkbar, jedoch derzeit nicht implementiert)

(Bild 4).

Endgültige planungsrelevante Klassen sind aufgrund spektraler Signaturen nicht immer aus Aufnahmen eines Zeitpunktes zu ermitteln ¹ die spektrale Verteilung

teln. Solche Klassen können jedoch manchmal durch Kombination von Aufnahmen mehrerer Zeitpunkte gewonnen werden. Dabei werden diese Aufnahmen zunächst einzeln wie oben beschrieben klassifiziert und die Ergebnisse daraufhin logisch verknüpft. (Z. B. erscheinen in der Aufnahme vom Aug. 75 (Bild 3) die abgeernteten und gepflügten Getreideflächen in der Wetterau und im Hess. Ried in derselben spektralen Signatur wie aufgelockerte oder dichte Verbauung. Im Juni 75 (Bild 2) sind diese Flächen deutlich als landwirtschaftliche Nutzflächen zu erkennen.)

2.5 Qualitätskontrolle

Die iterative Verfeinerung des Klassenkatalogs im Bestreben, alle zusammenhängenden Gebiete sowohl im Bild als auch im Lagediagramm zu erfassen, beinhaltet implizit den ersten Schritt der Qualitätskontrolle. Der zweite Schritt besteht aus einer Kontrolle der Plausibilität der Tabelle aufgrund von Kenntnissen der Abbildungseigenschaften einzelner Klassen in den verschiedenen spektralen Kanälen. In einem dritten Schritt werden Prüfgebiete aus dem Klassifikationsergebnis in die Geländekoordinaten rückgerechnet und vor Ort kontrolliert.

3. Schlußfolgerung

- Einzelne (unitemporale) Landsat-Aufnahmen sind für eine Erstklassifikation nach Landnutzungsklassen nur bedingt geeignet. Die Verwendung von Aufnahmen aus mehreren Jahreszeiten erhöht die Erkennbarkeit von Nutzungsklassen, ermöglicht Trendbeobachtungen und damit auch die Kontrolle von umweltrelevanten Faktoren.
- Die Nutzung von a-priori-Kennntnis über ein Gebiet¹⁰ verschiebt im Extremfall die Zielsetzung von der Erstellung einer Erstklassifikation zu einer Prüfung auf Veränderung im Sinne des Umweltschutzes und der Regionalplanung. Dieser Art der Verwendung entspricht auch das Konzept der periodischen Beobachtung eines Gebiets durch Satelliten.
- Es besteht eine Reihe von Methoden, Programmsystemen und Geräten zur Verarbeitung von Landsat-Daten, die als Bausteine für ein Verarbeitungssystem geeignet sind.^{7,8,9}
- Eine an der praktischen Anwendung orientierte Verarbeitungsstrategie kann nur im engen Kontakt mit den Anwendern erarbeitet werden. Ein Eingriff von Fachleuten auf dem Anwendungssektor, vor allem durch wiederholte Geländeinspektionen und das Einbringen von Orts- und Sachkenntnis, ist unerlässlich.
- Der Miteinbezug von Satellitenaufnahmen als eine ständige Informationsquelle für Management- und Planungsaufgaben erfordert die Bereitstellung entsprechender Bilddaten-Verarbeitungseinrichtungen. Diese könnten die Basis für ein bilddaten-orientiertes Informations- und Planungssystem^{10,2} bilden, wodurch Einsatz und Nutzen solcher Anlagen wesentlich gesteigert würden.

4. Literatur

- 1 Palou, F. et al.: Mapping Using the Table Classification Proc. Int. Symp. on Remote Sensing, Freiburg 1978
- 2 von Hesler, A. et al.: Informations- und Planungssystem, Projektbericht der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain, 1977

- 3 Colvocoresses, Alden P.:Map Projeccion for Landsat, USGS
- 4 Rowland, John B.:The Hotine Oblique Mercator Projeccion Appl.
to Landsat Mapping
Hotine Oblique Mercator Tranformation Progr.
USGS
- 5 Schlien, S.:Can. Journal of Remote Sensing, 1979
- Tennenbaum, J.M. et al.: Map-Guided Interpretation of Remotely
Sensed Imagery. Symp. Pattern Recogn.
and Image Processing, Chicago 1979
- 7 VICAR - Digital Image Processing System, COSMIC, Univ. of
Georgia
- 8 Moik, J. G. et al.: Small Interactive Image Processing System
NASA/GSFC Doc. X-650-73-283 und COSMIC
- 9 Fink,W.: Battelle-Bildverarbeitungssystem, Benutzerhandbuch
1979
- 10 Bryant, N.A. et al.: IBIS: A Geographical Information System
Based on Digital Image Processing and Image
Raster Data Types. IEEE Trans. Ge-15, 1977