

Ein Verfahren zur multitemporalen Interpretation von Vegetationsflächen aus Luftbildern

KIAN PAKZAD, Hannover

Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur automatischen multitemporalen Interpretation von industriell genutzten Mooregebieten beschrieben. Ausgehend von einer auf Geo-Daten gestützten Initialsegmentierung wird für jeden zu interpretierenden Zeitpunkt eine Resegmentierung und eine Interpretation der Segmente durchgeführt. Dabei werden sowohl strukturelle Merkmale als auch Vorwissen über mögliche zeitliche Veränderungen (temporales Wissen) verwendet. Durch die Nutzung des temporalen Wissens ist es möglich, Moorklassen zu unterscheiden, die nur aus einer zeitlichen Abfolge heraus erkannt werden können. Die Verwendung des temporalen Wissens und der strukturellen Merkmale eröffnet die Möglichkeit, zur Interpretation von Vegetationsgebieten nur Schwarzweißbilder zu verwenden. Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass das vorgeschlagene Verfahren geeignet ist, eine multitemporale Interpretation von Mooregebieten durchzuführen und gegenüber bisherigen Ansätzen durch die verwendeten Strategien zusätzliche Moorklassen unterscheiden kann, multitemporal eine robustere Interpretation durchführt und nicht auf Farbbilder angewiesen ist.

Summary: *A procedure for multitemporal interpretation of vegetation areas from aerial images.* This paper describes a procedure for automatic multitemporal interpretation of industrially used moorland. Proceeding from an initial segmentation based on Geo-Data a resegmentation and an interpretation of the segments is carried out for each investigated epoch. The procedure utilises structural features as well as prior knowledge about possible temporal changes (temporal knowledge). By using temporal knowledge it is possible to separate moor classes, which can only be detected in temporal order. The application of temporal knowledge and structural features enables the exclusive use of grey scale images for interpretation of vegetation areas. The results show that the presented procedure is suitable for multitemporal interpretation of moorland, and that it is able to distinguish additional moor classes compared to the approaches used so far. It is further applicable for a more robust multitemporal interpretation, and does not depend on colour images.

1 Einleitung

Der Bedarf an aktuellen GIS-Daten nimmt immer mehr zu. Dies liegt daran, dass bestimmte auf GIS-Daten zurückgreifende Anwendungen auf deren Aktualität angewiesen sind und in immer kürzeren Zeitabständen verwendet werden. Daraus resultiert, dass die Aktualisierung von GIS-Daten in immer kürzeren Perioden erfolgen muss. Da die Erfassung von Landschaftsobjekten bislang fast ausschließlich manuell durch Auswerter erfolgt und damit langsam und teuer ist, nimmt die Bedeutung der automatischen oder automatisierten Inter-

pretation von Fernerkundungsdaten immer mehr zu. Durch die Automation soll die Effizienz der Erfassung verbessert werden.

Zur automatisierten Objektextraktion besteht, insbesondere in Vegetationsgebieten, die bislang verwendete Standardmethode in der multispektralen Klassifikation angewendet auf Einzelbilder. Sie lässt sich in den meisten kommerziellen Programmpaketen zur fernerkundlichen Bildverarbeitung wiederfinden. Diese Art der Bildinterpretation nutzt jedoch allein die spektralen Gebiets-eigenschaften und damit nur einen relativ geringen Anteil der verfügbaren Informatio-

nen. Da die meisten Landschaftsobjekte keine homogene spektrale Signatur aufweisen, eignet sich die multispektrale Klassifikation nur zur Erkennung einer begrenzten Anzahl von Objektarten. Die Interpretationsleistung des Menschen wird bei weitem nicht erreicht, da dieser wesentlich mehr Informationen in den Interpretationsprozess einbezieht. Er nutzt sein umfangreiches Wissen, um basierend auf seinen Erwartungen Hypothesen bezüglich Farbe, Form und Struktur von einzelnen Objekten sowie bezüglich der Beziehungen zwischen verschiedenen Objekten aufzustellen und in den Bildern zu verifizieren. Die Modelle, die er diesen Interpretationen zu Grunde legt, sind sehr umfangreich und seine Interpretationsleistung ist damit relativ hoch, unter der Voraussetzung, dass er Erfahrung in der Interpretation der jeweiligen Objekte hat.

Das verwendete Verfahren nutzt eine explizite Beschreibung des Expertenwissens. Die Wissensbeschreibung erfolgt in Form von Semantischen Netzen. So lässt sich das Expertenwissen einfach in das System einbinden, bei Bedarf aktualisieren oder an veränderte Problemstellungen anpassen.

Zudem werden die Gebiete auf Grund der enthaltenen Strukturen interpretiert. Dabei wird nicht nur von radiometrischen, sondern auch von Texturmerkmalen ausgegangen. Diese leiten sich aus Beschreibungsformen ab, die hochsprachlich ebenfalls zur Charakterisierung von Flächen verwendet werden. Ein Beispiel hierfür ist die Beschreibung „unregelmäßige Struktur“, die auf den ersten Blick schwer zu fassen ist. Mit Hilfe einer Gruppe von derartigen Beschreibungsformen ist es beispielsweise möglich, neben der einfachen Überführung des Expertenwissens in das System auch Interpretationen von Gebieten ohne Farbinformationen durchzuführen. Für die meisten Vegetationsgebiete waren hierfür bislang multispektrale oder hyperspektrale Daten unverzichtbar (z. B. RHEIN et al. 1997).

Mit dem steigenden Bedarf an aktuellen GIS-Daten gewinnt auch die Auswertung von multitemporalen Bilddaten zunehmend an Bedeutung. Die meisten Arbeiten beschränken sich hierbei auf die alleinige Än-

derungsdetektion und weniger auf die Erkennung der Art der Änderungen (z. B. MAS 1999). Für letztere Aufgabe sind ebenso wie bei der monotemporalen Interpretation komplexe Modelle notwendig, die aus dem temporalen Expertenwissen stammen. Während im monotemporalen Bereich für bestimmte Objektarten bereits komplexes Modellwissen verwendet wird, geschieht dies in der multitemporalen Bildinterpretation bislang nur sehr vereinzelt. Im Rahmen dieser Arbeit ist daher eine Strategie zur Nutzung von temporalem Wissen für die Interpretation von Fernerkundungsdaten entwickelt worden.

Aus den entwickelten Strategien wurde ein Verfahren zur automatischen Interpretation von industriell genutzten Mooregebieten entwickelt. Eine Überwachung derartiger Gebiete, in denen trotz empfindlicher und geschützter Vegetation industrielle Aktivitäten durchgeführt werden (EIGNER & SCHMATZLER 1991), ist aus Naturschutzgründen wünschenswert. Eine Automatisierung dieses Vorganges würde eine erhebliche Arbeitserleichterung für die Auswerter bedeuten.

2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit war es, eine automatische Interpretation von Vegetationsflächen aus Bildern durchzuführen und dabei sowohl die strukturellen Informationen als auch die zeitlichen Veränderungen (multitemporal) zu berücksichtigen. Es sollten somit mehr Merkmale in die Interpretation einbezogen werden, als einzig die spektrale Information.

Das Expertenwissen über die zu interpretierenden Gebiete sollte möglichst einfach in das verwendete System integrierbar und modifizierbar sein. Dabei sollte sowohl Wissen über die Merkmale und die Struktur des verwendeten Gebietes genutzt werden als auch Wissen über die zeitlichen Veränderungen der Gebiete.

Als Anwendung für dieses Verfahren wurde die Interpretation von Mooregebieten gewählt. Für ein derartiges Gebiet sollte die Interpretation konzipiert und die entspre-

chenden Modelle aufgestellt werden. Das Verfahren sollte die Möglichkeit bieten, sowohl Farbbilder als auch Schwarzweißaufnahmen zu nutzen. Dabei sollte die Verwendung beider Aufnahmearten in eine Zeitreihe für die multitemporale Interpretation möglich sein.

3 Strategie

Bei der Betrachtung von vielen Vegetationsgebieten fällt auf, dass sie inhomogen in Farbe und Struktur sind. Obwohl auf Grund dessen für viele Flächen kein Homogenitätskriterium zur Gebietsextraktion und zur Klassifikation gefunden werden kann, sind menschliche Operateure dennoch in der Lage, diese manuell zu interpretieren. Die Vorgehensweise ist dabei häufig folgende: Sie suchen innerhalb bestimmter Regionen nach Hinweisen für eine bestimmte Interpretation. Diese Hinweise können bestimmte Strukturen, Objekte oder Farben sein. Sie verwenden sog. Interpretationsschlüssel. Die Strategie, die in dieser Arbeit verwendet wurde, orientiert sich an dieser Vorgehensweise. Das Expertenwissen über die Interpretationsschlüssel, die zur Interpretation eines Vegetationsgebietes notwendig sind, wurde im System verwendet.

Die Schritte, das Gebiet in Segmente zu unterteilen und zu interpretieren, wurden voneinander getrennt. Da die zu interpretierenden Gebiete inhomogen sein können, eignen sich übliche multispektrale oder texturbasierte Segmentierungsverfahren nur bedingt, da Homogenitätskriterien für diese schwer oder gar nicht zu finden sind. Daher wurde in dieser Arbeit die Segmentierung in zwei Schritten durchgeführt. Im ersten Schritt erfolgte eine Aufteilung auf Grund bestimmter Geo-Daten. Für die Interpretation von Mooregebieten wurden dafür Straßen, Wege und Gewässer verwendet. Dieses sind Objekte, die häufig auch bei der manuellen Interpretation zur Segmentierung verwendet werden. In einem zweiten Schritt wurden die entstandenen Segmente einzeln nach bestimmten Kriterien untersucht und ggf. auf Grund der Radiometrie und der Textur weiter unterteilt.

Die Ausdehnung der Interpretation auf multitemporale Vorgänge war ein weiterer Teil der Zielsetzung. Zu diesem Zwecke wurde für das betrachtete Gebiet das Vorwissen über die wahrscheinlichsten zeitlichen Veränderungen (temporales Wissen) verwendet. Während bei einer unabhängigen Interpretation der einzelnen Zeitpunkte für jedes Gebiet alle Interpretationsmöglichkeiten offen sind, kann bei Nutzung des temporalen Wissens der Suchraum für die Interpretation eines neuen Zeitpunktes eingeschränkt werden. Gleichzeitig sinkt die Wahrscheinlichkeit der Fehlinterpretation. Zur Repräsentation und Nutzung des temporalen Wissens wurden Zustandsübergangsdiagramme eingeführt und in das Verfahren eingebunden.

4 Klasseneinteilung

Um eine Interpretation des Mooregebietes durchführen zu können, ist eine Unterteilung des Gebietes in unterschiedliche Klassen notwendig. Dazu ist untersucht worden, welche Klassen sich im Mooregebiet aus CIR-Luftbildern unterscheiden lassen. Das Ziel dieser Untersuchung war die Bildung von Moorklassen für die automatische Interpretation der Mooregebiete. Um abschätzen zu können, wie viele und welche Moorklassen automatisch von einem wissensbasierten System aus Luftbildern unterschieden werden können, wurde davon ausgegangen, dass die obere Grenze durch die Anzahl der Klassen abgeschätzt werden kann, die ein erfahrener Auswerter interaktiv unterscheiden kann. Diese Aussage beruht auf der Annahme, dass der erfahrene Auswerter bei derartigen Bildern in der Lage ist, mindestens so viele Klassen zu unterscheiden, wie ein automatisches Interpretationssystem.

Die Eingangsdaten dieser Untersuchung waren CIR-Luftbilder im Maßstab 1 : 10000 aus einem Mooregebiet. Die Aufgabe bestand darin, festzustellen, welche Klassen visuell aus den verwendeten Bildern durch einen erfahrener Auswerter unterschieden werden können. In Abb. 1 ist das Ergebnis der Untersuchung dargestellt. Das

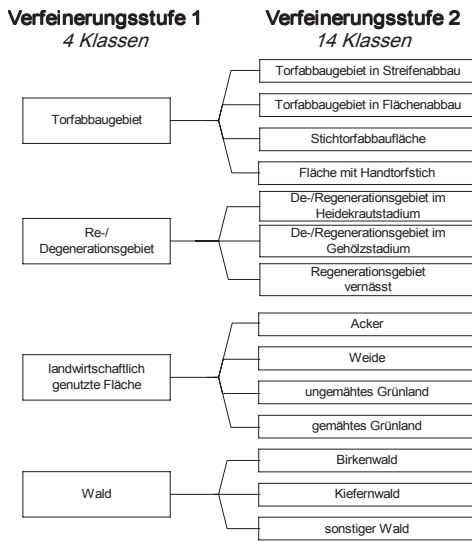


Abb. 1: Klasseneinteilung für Mooregebiete.

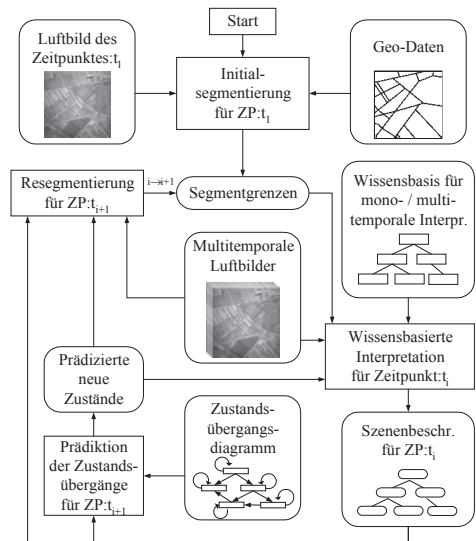


Abb. 2: Ablauf der multitemporalen Interpretation.

Ergebnis dieses Vorganges waren 14 Moor-klassen, die gleichzeitig die feinste Unterscheidung bildeten. Daraufhin wurden sehr ähnliche Klassen zu größeren Klassen akkumuliert. Letzteres wurde mehrmals durchgeführt. Dargestellt sind die größte und feinste Verfeinerungsstufe.

Die hier vorgenommene Klasseneinteilung bildete die Grundlage für die Klasseneinteilung des Interpretationssystems, wobei die Klassen landwirtschaftlich genutzte Fläche und Wald in der verfeinerten Form nicht weiter untersucht wurden. Da sich die Klassen der Verfeinerungsstufe 1 relativ stark voneinander unterscheiden, war deren Unterscheidung das Minimalziel für das automatische Interpretationssystem. Das optimale Ziel war die Unterscheidung nach der Verfeinerungsstufe 2. Da diese Untersuchung aus einem Bild eines Zeitpunktes durchgeführt wurde, konnten weitere Klassen bei multitemporaler Betrachtung hinzukommen.

5 Verfahren

5.1 Systemaufbau

In Abb. 2 ist der Ablauf der multitemporalen Interpretation dargestellt. Beginnend beim Startpunkt wird eine Initialsegmentie-

rung durchgeführt. Dabei werden sowohl die Bilder des ersten Zeitpunktes t_1 als auch Geo-Daten berücksichtigt (siehe Kapitel 3). Das Ergebnis der Initialsegmentierung sind Segmentgrenzen, die Ausgangspunkt der weiteren iterativen Interpretation sind.

Innerhalb der Segmentgrenzen wird für jedes Segment eine Interpretation (siehe Abschnitt 5.2) durchgeführt, wobei für den ersten Zeitpunkt eine andere Wissensbasis verwendet wird, als für die weiteren. Der Grund hierfür liegt darin, dass temporale Historie für den ersten Zeitpunkt nicht existiert. Das Ergebnis für den ersten Zeitpunkt ist eine Szenenbeschreibung, die die Interpretation der untersuchten Segmente darstellt. Sie wird für die Fortführung der Interpretation für den Zeitpunkt t_{i+1} genutzt, um eine Prädiktion der Zustandsübergänge und damit eine Prädiktion neuer Zustände durchzuführen. Hierzu wird ein Zustandsübergangsdiagramm, welches das temporale Wissen über die möglichen Zustandsübergänge beschreibt, verwendet. Dieses wird in Abschnitt 5.3 näher erläutert.

Beim Übergang vom Zeitpunkt t_i nach t_{i+1} können sich die Segmentgrenzen verändern. Aus diesem Grund ist im System eine Komponente enthalten, die eine Resegmentierung basierend auf den alten Segment-

grenzen durchführt. Hierzu werden zusätzlich die Bilddaten des Zeitpunktes t_{i+1} zusammen mit den Informationen über die möglichen Zustandsübergänge verwendet. Aus der Resegmentierung entstehen die neuen Segmentgrenzen, in denen für den neuen Zeitpunkt t_{i+1} unter Verwendung der Wissensbasis für die multitemporale Interpretation und der möglichen Zustandsübergänge die wissensbasierte Interpretation durchgeführt wird. Auf diese Weise wird die Iteration fortgesetzt, bis alle Zeitpunkte interpretiert worden sind.

Eine ausführliche Beschreibung des erstellten Verfahrens ist zu finden in PAKZAD (2001).

5.2 Wissensbasis und Interpretation

Das für diese Arbeit verwendete wissensbasierte Interpretationssystem AIDA (Automatic Image Data Analyser) nutzt als Wissensbasis Semantische Netze und arbeitet regelbasiert. Semantische Netze bestehen aus Knoten und Kanten. Die Knoten beschreiben Objekte oder Merkmale, die Kanten beschreiben Relationen zwischen den Knoten. Als Wissensbasis wird initial mit Hilfe eines Semantischen Netzes ein Konzept erstellt. Im Verlauf der Interpretation stellt das System, basierend auf dem Konzept, entlang der Relationen Hypothesen auf und überprüft sie in den Bildern. Dieser Prozess wird als Instanzierung bezeichnet und erfolgt regelbasiert. Eine nähere Beschreibung des Systems ist zu finden in TÖN-JES (1999) und in GROWE (2001).

In Abb. 3 ist ein Teil des Semantischen Netzes, das zur Interpretation der Moor-klassen verwendet wurde, dargestellt. Es werden zwei Abstraktionsebenen unterschieden: Szenenebene und Luftbildebene. In der Szenenebene werden die unterschiedlichen Klassen mit ihren obligatorischen Teilen beschrieben. Die Knoten in der Luftbildebene beschreiben die Abbildung der Szeneknoten und deren Eigenschaften im CIR-Luftbild. Sie repräsentieren die Texturen und Farben, nach denen gesucht werden muss, um ein Segment einer bestimmten Klasse zuzuordnen. Auf diese Weise werden

sowohl Farb- als auch Texturinformationen genutzt.

Die Knoten auf unterster Ebene haben jeweils Zugriff auf spezielle Bildverarbeitungsoperatoren. Diese verifizieren die Hypothesen in den CIR-Luftbildern auf Pixel-ebene. Im Verlauf der Interpretation wird nach dem Aufstellen der Hypothesen auf unterster Ebene jeweils der Operator aufgerufen.

Die Interpretation der Klasse *Sträucher/Gehölz-Stadium* würde beispielsweise damit beginnen, dass für ein Luftbild-Segment eine Hypothese für diese Klasse aufgestellt wird. Da im Konzeptnetz als obligatorischer Teil eine *mittlere Bedeckung mit grober Struktur* vorgegeben ist, wird danach entlang der part-of Relation dafür eine Hypothese aufgestellt. Laut Konzeptnetz bildet sich dies als *unregelmäßige Struktur* im Luftbild ab, weswegen auch für diesen Knoten eine Hypothese aufgestellt wird. Da Top-Down keine weiteren Knoten mehr existieren, muss die letzte Hypothese im Luftbild verifiziert werden. Dazu wird ein Bildverarbeitungsoperator aufgerufen, der genau dieses tut. Findet der Operator im Segment derartige Strukturen, wird die Hypothese bestätigt und nach oben hin werden alle darauf basierenden Hypothesen ebenfalls bestätigt.

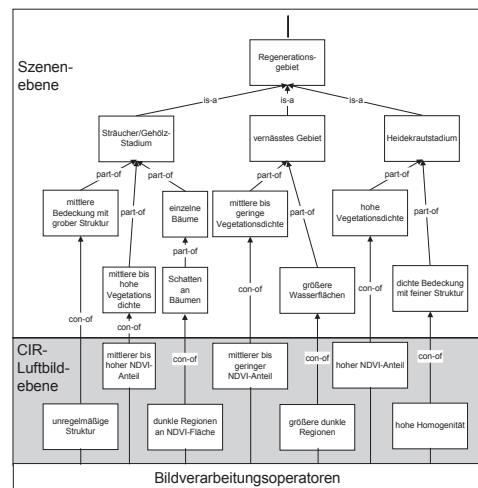


Abb. 3: Teil des verwendeten Semantischen Netzes mit der Wissensbasis.

Nun würde die Interpretation mit der Überprüfung der weiteren obligatorischen Teile fortgesetzt werden. Wenn eines der obligatorischen Teile nicht gefunden wird, gilt die Klasse als nicht erkannt.

5.3 Temporale Wissensbasis

In Abb. 4 ist das Zustandsübergangsdiagramm, das zur Interpretation des Moorgebietes verwendet wurde, dargestellt. Es beinhaltet die möglichen oder wahrscheinlichsten Zustandsübergänge und es besteht aus Knoten und Verbindungen. Die Knoten beschreiben die unterschiedlichen Zustände, die die Regionen annehmen können, die Verbindungen die wahrscheinlichsten Zustandsübergänge.

Ausgegangen wird von dem Zustand naturnahes Hochmoor. Er kommt in dieser Form im betrachteten Gebiet, ebenso wie in vielen anderen Moorgebietes in Deutschland, nur in geringem Maße vor und ist daher nur der Vollständigkeit wegen aufgeführt. Das Degenerationsgebiet bildet in der Regel den Ausgangszustand der übrigen Zustände. Die Degeneration ist als vorbereitende Maßnahme, bei der durch Gräben eine Entwässerung durchgeführt wird, zum Torfabbau notwendig. Ist dies geschehen,

erfolgt in der Regel ein Zustandsübergang zum Torfabbaugebiet.

Es werden zwei Arten von Torfabbau unterschieden: die Flächenabbau- und die Streifenabbauemethode. Wird beispielsweise die Flächenabbauemethode angewendet, wird für die Folgezeitpunkte entweder ein Verbleib in dem gleichen aktiven Zustand erwartet, oder es findet ein Übergang zum inaktiven Torfabbau statt. Dieses zeigt sich dadurch, dass keine Abbauspuren mehr erkannt werden können, sich jedoch auch bislang keine oder nur wenig Vegetation darauf angesiedelt hat. Es kann aber auch vorkommen, dass nach einer inaktiven Zeit wieder der Torfabbau aufgenommen wird. Dies kann geschehen, wenn beispielsweise auf Grund der Marktlage kurzfristig der Torfabbau eingestellt wurde. Wenn Torfabbau in Streifenmethode detektiert wurde, müssen die Teile Abbausegment und Bunkerde getrennt voneinander behandelt werden. Die Methode des Streifenabbaus beruht darauf, dass Torf zunächst auf jedem zweiten Streifen abgebaut wird, während die Mittelstreifen mit der Bunkerde nicht angestastet werden. Ist dieser Vorgang beendet, werden die Streifen mit Bunkerde auf die Streifen der Abbaugelände umgesetzt. Dies geschieht jedoch in der Regel nur einmal. Im Zustandsübergangsdiagramm wird diese Tatsache ausgenutzt, indem zwischen Bunkerde vor dem Torfabbau und danach unterschieden wird. Wird Bunkerde auf ein Segment geschüttet, in dem vorher bereits Torf abgebaut wurde, kann danach mit Hilfe des beschriebenen Vorwissens darauf verzichtet werden, für die nächsten Zeitpunkte wieder nach Abbausegmenten zu suchen.

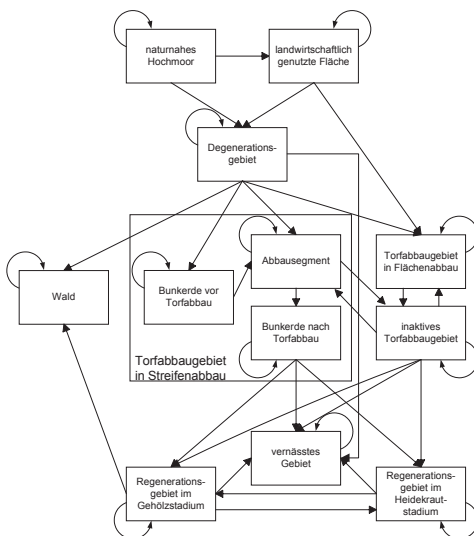


Abb. 4: Zustandsübergangsdiagramm für Moor.

6 Ergebnisse

Das verwendete Testgebiet war das Tote Moor am Steinhuder Meer nordöstlich von Hannover. Die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse sind in einem Gebiet der Größe 1750 m × 1500 m erstellt worden.

Es wurden CIR- und Schwarzweiß-Luftbilder mit einer Bodenpixelgröße von 0,5 m × 0,5 m verwendet (teilweise mit freundlicher Genehmigung des LGN, Lan-

desvermessung + Geobasisinformation Niedersachsen und des KGH, Kommunalverband Großraum Hannover). Dies entspricht einer Bildgröße von 3500 × 3000 Pixel. Insgesamt wurden Bilder von den fünf Zeitpunkten 1962, 1969, 1981, 1989 und 1998 verwendet, wobei die Bilder der letzten beiden Zeitpunkte CIR-, die restlichen Schwarzweiß-Luftbilder waren. In Abb. 5 ist für einen Teil des Testgebietes das Ergebnis der multitemporalen Interpretation dargestellt. Ausgehend von 11 Segmenten für den Interpretationszeitpunkt 1962 entstanden für dieses Testgebiet durch Resegmentierungen bis zum letzten Zeitpunkt 1998

insgesamt 17 Segmente. Während die meisten Flächen (98%) für 1962 als Degenerationsgebiet interpretiert wurden, nahm der Anteil für 1998 auf ca. 18% ab, während Wald und inaktive Torfabbaugebiete den größten Anteil ausmachten.

Die erzielten Ergebnisse wurden mit einer manuell durchgeführten Interpretation durch einen erfahrenen Auswerter verglichen. Dabei ergab sich, dass bis auf einige wenige Ausnahmen die Klassen korrekt erkannt worden sind.

Im Zentrum des Testgebietes kann sehr gut der komplette Verlauf eines Torfabbaus betrachtet werden, angefangen von der Ent-

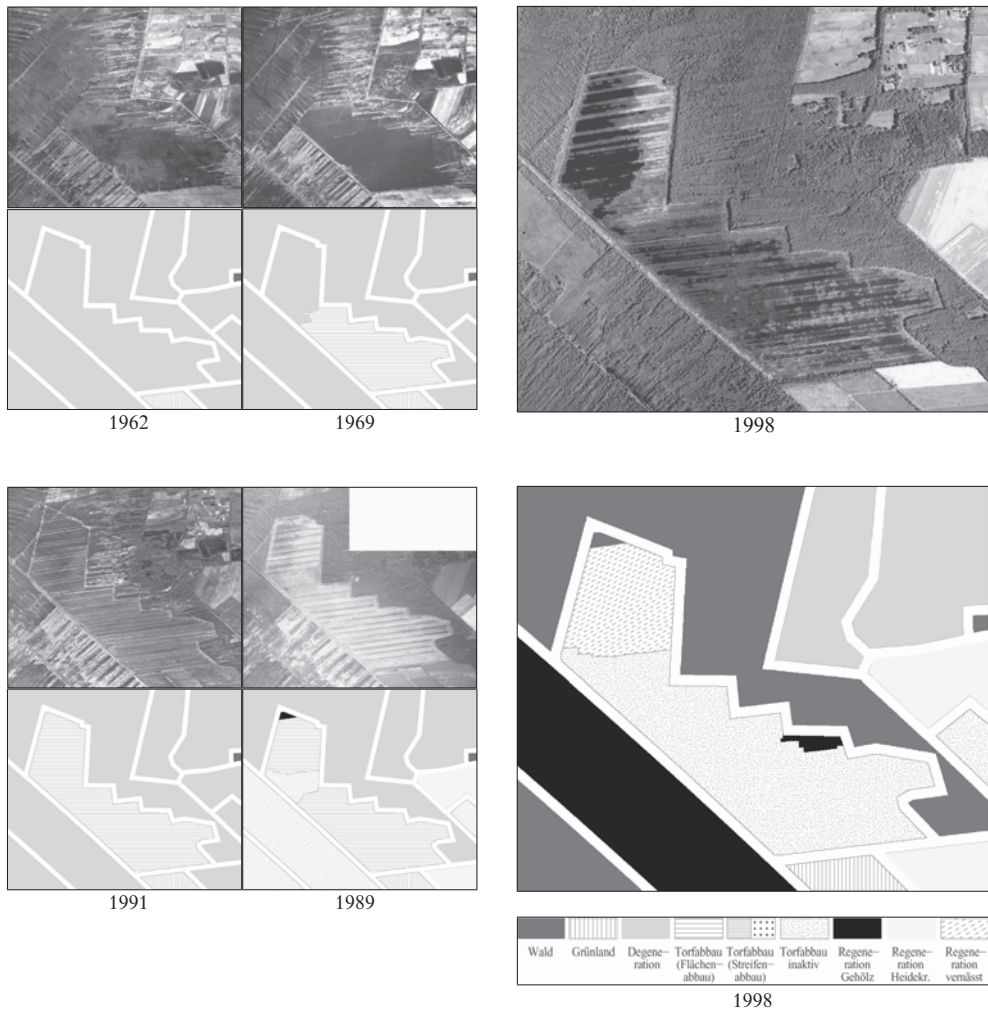


Abb. 5: Verwendete Luftbilder und Ergebnisse der Interpretation.

wässerung (Degenerationsgebiet) über den Torfabbau bis hin zur Wiedervernässung. Durch die Verwendung des Zustandsübergangendiagramms konnten diese Zustände auch aus den Schwarzweiß-Luftbildern erkannt werden.

Ein gutes Beispiel dafür, dass die erstellten Modelle nur für die Regionen angewendet werden können, für die sie aufgestellt worden sind, zeigt der nordöstliche Teil des Testgebietes: Dieser wurde falsch interpretiert. Dies liegt daran, dass dieses Gebiet nicht mehr zum Moor gehört und auf Grund dessen die Annahme und Interpretationsvoraussetzung, sich im Moorgebiet zu befinden, nicht mehr zutrifft. Weitere Ergebnisse sind in PAKZAD (2001) dargestellt.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein Verfahren zur wissenschaftlichen multitemporalen Interpretation von Bildern vorgestellt. Die explizite Wissensrepräsentation erlaubt eine einfache Einbindung von Expertenwissen in das System, wobei zusätzlich zum Wissen über die multispektralen Eigenschaften, Textur und Form auch Wissen über räumliche Nachbarschaften und zeitliche Veränderungen eingebracht und verwendet werden kann. Das temporale Wissen wird dabei über Zustandsübergangendiagramme beschrieben, die genutzt werden, um eine Prädiktion von Folgezuständen durchzuführen. Diese Strategien wurden verwendet, um ein Verfahren zur Interpretation von industriell genutzten Moorgebieten zu erstellen. Die Gesamtstrategie des Verfahrens besteht in der Interpretation der Bilder eines Zeitpunktes, einer Resegmentierung der Gebiete und einer Prädiktion neuer Zustände. Insgesamt zeigten diese und weitere Ergebnisse, dass die Verwendung von strukturellen Merkmalen und von temporalem Wissen die Anzahl der interpretierbaren Klassen erhöht, die Interpretationssicherheit verbessert und auch

eine Interpretation von Schwarzweiß-Luftbildern zulässt.

Die zukünftige Entwicklung in diesem Bereich wird sich darauf konzentrieren, in den verwendeten Modellen noch mehr relevantes Expertenwissen nutzen zu können und dafür die entsprechenden Mechanismen zu entwickeln. Zudem sollen die entwickelten Strategien verwendet werden, um für andere Bereiche strukturelle und multitemporale Interpretationen durchzuführen.

8 Literatur

- EIGNER, J. & SCHMATZLER, E., 1991: Handbuch des Hochmoorschutzes – Bedeutung, Pflege, Entwicklung. – 158 S., Kilda-Verlag, Greven.
- GROWE, S., 2001: Wissensbasierte Interpretation multitemporaler Luftbilder. – Dissertation, Universität Hannover, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 10, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- MAS, J.-F., 1999: Monitoring Land-Cover Changes: A Comparison of Change Detection Techniques. – *International Journal of Remote Sensing*, **20** (1): 139–152.
- PAKZAD, K., 2001: Wissensbasierte Interpretation von Vegetationsflächen aus multitemporalen Fernerkundungsdaten. – Dissertation, Universität Hannover, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft Nr. 543, München.
- RHEIN, U., EHLERS, M., JENSEN, S., STÄHLE, B. & SCHMATZLER, E., 1997: Umweltmonitoring von Zustand und Nutzung der Hochmoore. – 162 S., Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover.
- TÖNJES, R., 1999: Wissensbasierte Interpretation und 3D-Rekonstruktion von Landschaftsszenen aus Luftbildern. – Dissertation, Universität Hannover, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 10, Nr. 575, VDI-Verlag, Düsseldorf.

Anschrift des Autors:

Dr.-Ing. KIAN PAKZAD, Institut für Photogrammetrie und Geoinformation, Universität Hannover, Nienburger Str. 1, D-30167 Hannover.
e-mail: pakzad@ipi.uni-hannover.de

Manuskript eingereicht: Mai 2002

Angenommen: Mai 2002