

XIV. Internationaler Kongreß
der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie
Hamburg 1980
Presented Paper

E. Dennert-Möller, H. P. Bähr
Institut für Photogrammetrie der Universität Hannover

W. Lichtner
Niedersächsisches Landesverwaltungsamt - Abt. Landesvermessung

Herstellung einer Landnutzungskarte 1 : 200 000
aus LANDSAT-Bilddaten für den Raum Hannover

Zusammenfassung

1979 hat die niedersächsische Landesvermessung in Hannover in Zusammenarbeit mit dem Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen der Universität Hannover mit einem Pilotprojekt zur Herstellung einer Landnutzungskarte für den Raum Hannover aus LANDSAT-Bilddaten begonnen.

Die Autoren beschreiben das Ziel des Projekts, die geometrische Verarbeitung der LANDSAT-Bilddaten, die Klassifizierung der Landnutzungen und spezielle kartographische Arbeiten.

Summary

In co-operation with the Institut of Photogrammetry of Hannover University the Surveying and Mapping Authority of Lower Saxony (FRG) has started in the year of 1979 a pilot project in order to evaluate the production of a land use map supported by LANDSAT data.

The authors briefly describe the purpose of the pilot project, digital geometrical processing of LANDSAT data, classification of land use categories and special cartographic problems.

Résumé

En 1979 le Service Topographique de la Basse Saxe (RFA) à Hanovre, en collaboration avec l'Institut de Photogrammétrie de l'Université d' Hanovre, a initié un project pilote afin d' évaluer la production des cartes à levés des terrains à l'aide de LANDSAT.

Les auteurs discutent l'objectif du project, le traitement numérique géométrique des dates LANDSAT, la classification des catégories de l'utilisation de la terre, ainsi que des problèmes cartographiques particuliers.

1. Ziel des Pilotprojekts

Aus LANDSAT-Bilddaten abgeleitete thematische Karten haben für viele Anwendungszwecke bisher großen Zuspruch erhalten. Die in der Literatur veröffentlichten Erfahrungen zeigen, daß man mit ihrer Hilfe vor allem in Gebieten, wo kaum oder nur sehr kleinmaßstäbige thematische und topographische Karten vorliegen, eine erste Arbeitsgrundlage für Planungszwecke schaffen kann.

Wie sieht es aber in Staaten wie der Bundesrepublik Deutschland aus, in der man über eine sehr dichte Maßstabsfolge bei den topographischen Kartenwerken (1 : 5 000; 1 : 25 000; 1 : 50 000; 1 : 100 000; 1 : 200 000; 1 : 500 000) verfügt und wo Landnutzungsclassifizierungen bisher mit Hilfe dieser Karten, mit Luftbildern und mit örtlichen Begehungen vorgenommen werden?

Welche Probleme ergeben sich dabei vor allem bei den kartentechnischen Verarbeitungsprozessen, die bei der Herstellung eines flächendeckenden thematischen Kartenwerkes notwendig werden?

Es war der Zweck des Pilotprojekts, über das hier berichtet werden soll, auf diese Fragen in bezug auf die Verwendungsmöglichkeit von LANDSAT-Bilddaten zur Herstellung einer Übersichtskarte (Landnutzung) für Planungszwecke eine Antwort zu finden. Die dazu notwendigen Erfahrungen im Umgang mit der neuen Technologie sollten bei der Herstellung eines Testblattes im Maßstab 1 : 200 000 gewonnen werden.

2. Geometrische Verarbeitung

Ein Vorteil von Satellitenaufnahmen ist die simultane Erfassung großer Landflächen. Dieser Vorteil wird in Mitteleuropa eingeschränkt durch die hier häufige Wolkenbedeckung, welche zur Folge hat, daß größere Landflächen von LANDSAT-Aufnahmen nur selten jahreszeitlich homogen erfaßt werden können. Niedersachsen, ein Bundesland von 47.392 km² Fläche, wird beispielsweise mit 5 LANDSAT-Aufnahmen voll gedeckt; bisher liegt nur eine Serie näherungsweise wolkenfrei und homogen vor (9. 8., 10. 8. und 30. 8. 1975). Aus dieser Serie waren zwei Szenen (10. 8.) zur Deckung der Amtlichen Topographischen Karte 1 : 200 000, Blatt Hannover (CC 3918) nötig. Die nördliche Szene zeigt Abb. 1 im Original.

Der Maßstab 1 : 200 000 ist der größte, welcher aus geodätischer Sicht für LANDSAT-Aufnahmen noch sinnvoll ist: bei einer möglichen Entzerrungsgenauigkeit von etwa ± 40 m in der Natur entspricht dies der kartographischen Abgreifgenauigkeit von etwa $\pm 0,2$ mm im entzerrten Bild. Ein Bildelement erreicht für den Maßstab 1 : 200 000 bereits die Größe von 0,4 mm x 0,4 mm.

Geometrische und semantische Bildverarbeitung der LANDSAT-Aufnahmen erfolgte durch das Institut für Photogrammetrie der Universität Hannover, und zwar an der CDC CYBER 73/76 - Rechenanlage des Regionalen Rechenzentrums Niedersachsen (Digitale Bildverarbeitung) und dem OPTRONICS Lese/Schreibgerät des Instituts (Bildabspielungen). Rechenprogramme standen im Rahmen von MOBI, dem modularen Bildverarbeitungspaket des Instituts zur Verfügung.

Die digitale geometrische Verarbeitung von LANDSAT-Aufnahmen erfolgt operationell ⁺⁾ und ist von den Autoren an anderen Stellen detailliert be-

⁺⁾ Im Gegensatz zu experimentellen Verfahren liefern operationelle Verfahren Ergebnisse, für welche Aufwand und Qualität a priori bekannt sind.

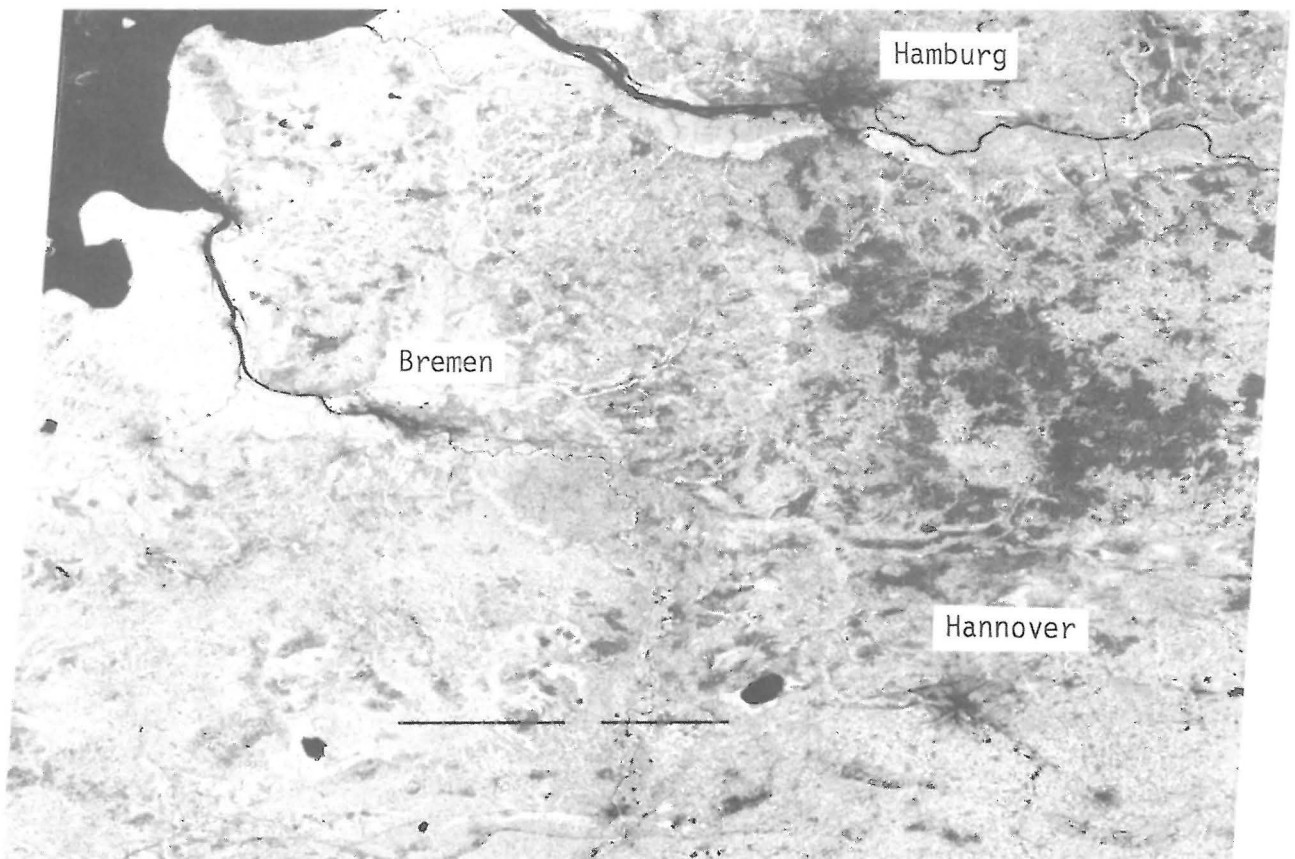


Abb. 1: Nördliche LANDSAT-Szene, original (positiv)
10.8.1975

schrieben worden (BÄHR 1977, BÄHR / DENNERT-MÖLLER 1979). Speziell für den hier vorliegenden Fall waren folgende Schritte nötig:

1. Kontrastverstärkung
2. Anbringen des Erddrehungseffektes
3. Affine Maßstabsangleichung
4. Herausfiltern der Störung in der nördlichen Szene (vgl. Abb. 1 zwischen Steinhuder Meer und Dümmer)
5. Zusammensetzen nördliche und südliche Szene
6. Bildung des der Karte 1 : 200 000 entsprechenden Ausschnitts
7. Messung von Paßpunktkoordinaten in Bild und Karte 1 : 50 000
8. Berechnung von Polynomkoeffizienten
9. Entzerrung nach Polynomen 2. Ordnung
10. Maßstabsangleichung (photographisch)

Die Messung der Paßpunktkoordinaten geschah beim Niedersächsischen Landesverwaltungsamt - Abteilung Landesvermessung - am ZEISS PK 1 - Komparator. Es wurden 83 Punkte gemessen, gleichmäßig verteilt in 29 Karten 1 : 50 000. Davon stellten sich lediglich 5 als falsch identifiziert heraus (6 %). Aus Doppelmessungen ergab sich ein mittlerer Einstellfehler von

$$(1) \quad m_{x, y} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i d_i}{2n - 1}} \rightarrow \pm 12,3 \mu\text{m} (x); \pm 12,3 \mu\text{m} (y)$$

Als geometrisches Modell zur Entzerrung von LANDSAT-Aufnahmen reichen Polynome 2. Ordnung voll aus:

$$\begin{aligned} X &= a_0 + a_1 x' + a_2 y' + a_3 x'^2 + a_4 y'^2 + a_5 x' y' \\ Y &= b_0 + b_1 x' + b_2 y' + b_3 x'^2 + b_4 y'^2 + b_5 x' y' \end{aligned} \quad (2)$$

Die geometrisch strengeren Kollinearitätsgleichungen liefern dieselben Ergebnisse wie die Polynome (vgl. BÄHR 1979).

Mit etwa 12 gut verteilten Paßpunkten lassen sich die Parameter in (2) sicher bestimmen. Die hier benutzte Zahl von 78 Paßpunkten ergibt sich aus dem besonderen Fall des "Pilotprojekts". Abb. 2 zeigt die Restfehler ϵ an den Paßpunkten. Aus den Restfehlern ergeben sich die mittleren Fehler des Ergebnisses zu

$$m_{x, y} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \epsilon_i \epsilon_i}{n}}, \text{ wobei } \epsilon_i = x, y(\text{Karte})_i - x, y(\text{Bild})_i \quad (3)$$

$m_x = \pm 35,8 \text{ m}, \quad m_y = \pm 39,3 \text{ m}$
--

Das erzielte Ergebnis kann als sehr gut bezeichnet werden, nähert es sich doch bereits dem theoretischen Grenzwert von $\pm 26 \text{ m}$ in beiden Koordinatenrichtungen (vgl. BÄHR 1976).

Nach der Bestimmung des Polynoms erfolgt die eigentliche digitale Entzerrung in einem zweiten Schritt. Zur Verarbeitung eines Kanals von 2043 Zeilen und 2100 Spalten ($43 \cdot 10^6$ Pixel) werden 55 sec auf der CDC CYBER 73/76 benötigt. Das Ergebnis für Kanal 7 zeigt Abb. 3. Um die nachfolgende Klassifizierung nicht zu beeinträchtigen, wurde auf die Anbringung eines Gauß-Krüger-Gitters verzichtet.

Die strenge geometrische Entzerrung von LANDSAT-Bildern auf das amtliche Kartenmaterial ist unerlässlich, wenn es wie hier um die Erfassung von Landnutzungsdaten geht. Darüber hinaus benötigt man eine sichere geometrische Zuordnung zwischen Bild und Karte für die Auswahl von Trainingsgebieten zur Klassifizierung (vgl. Abschnitt 3). Häufig können Trainingsgebiete nur in Karten erheblich größeren Maßstabs als die LANDSAT-Bilder erfaßt werden; ihre genaue Positionierung im "Pixelsystem" der LANDSAT-Aufnahmen erfordert deren korrekte geometrische Entzerrung, und zwar um so mehr, je kleiner die Trainingsgebiete sind.

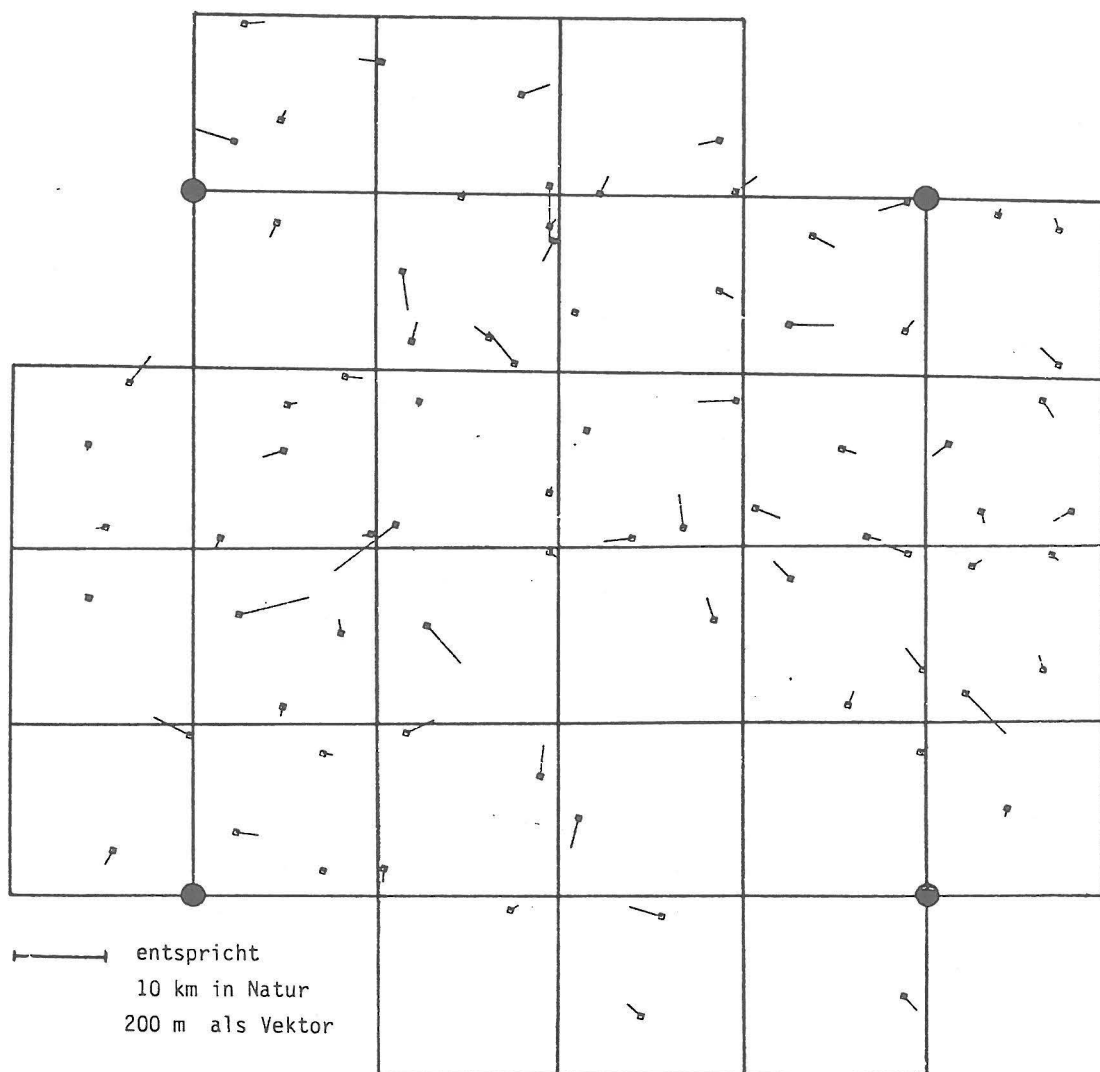


Abb.2: Paßpunktverteilung in den Karten 1:50 000 und Restfehler an den Paßpunkten
Die 4 fetten Punkte bezeichnen die Blattecken der Karte 1:200 000

3. Digitale multispektrale Klassifizierung

Zur Klassifizierung wurde das bekannte Maximum-Likelihood-Verfahren verwendet (vgl. NIEMANN, TOU/GONZALES). Es arbeitet wie alle "überwachten" Verfahren zur digitalen multispektralen Klassifizierung nach folgendem Schema: Im ersten Schritt werden die zu unterscheidenden Klassen festgelegt. Als Klasse bezeichnet man dabei eine Menge von Objekten, die bei der Klassifizierung als zusammengehörig erkannt werden soll. Die Definition der Klassen hängt also in erster Linie von der Fragestellung des Anwenders ab. In einem zweiten Schritt werden für jede Klasse ein oder mehrere Trainingsgebiete festgelegt. Aus diesen Trainingsgebieten werden statistische Parameter

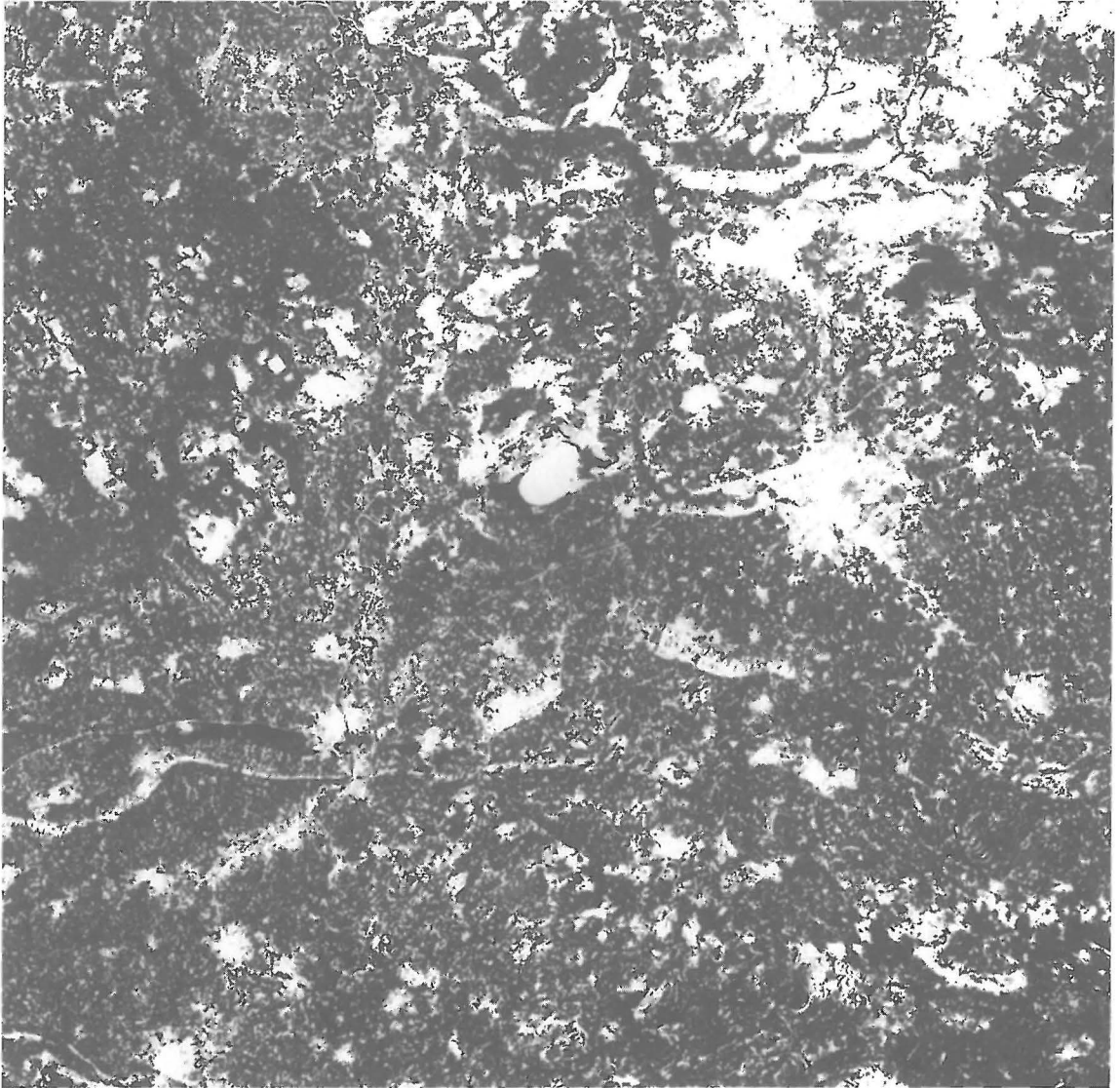


Abb.3: Gebiet der amtlichen topographischen Karte 1:200 000
Geometrisch streng entzerrte LANDSAT-Szenen (negativ), 10.8.1975
Kanal 6
┌───┐ entspricht 10 km

berechnet - im Falle der ML - Maximum-Likelihood-Methode, Mittelwertvektor und Kovarianzmatrix, die als repräsentativ für die jeweilige Klasse gelten. Diese Parameter werden bei der anschließend durchzuführenden, eigentlichen Klassifizierung in eine Entscheidungsfunktion eingesetzt, die über die Zugehörigkeit jedes Bildpunktes zu einer der Klassen entscheidet oder ihn als unklassifizierbar zurückweist.

Man erkennt, daß der zweite Schritt, die Festlegung geeigneter Trainingsgebiete, für die Qualität des Klassifizierungsergebnisses eine zentrale Rolle spielt. Wichtig ist vor allem, daß die Trainingsgebiete groß und homogen genug für die Parameterschätzung sind. Wählt man zur Kennzeichnung einer Klasse ein Trainingsgebiet aus, das z. B. mehr als nur Elemente dieser Klasse enthält, so ergeben sich daraus verfälschte Parameter, die nicht repräsentativ für diese Klasse sind und ihre Abgrenzbarkeit gegen

die übrigen Klassen verschlechtern oder sogar unmöglich machen. Oft reichen auch die aus einem Trainingsgebiet geschätzten Parameter zur Charakterisierung einer Klasse nicht aus, so daß zwei oder mehr Trainingsgebiete benutzt werden müssen. Im Extremfall kann man überhaupt keine geeigneten Trainingsgebiete für eine Klasse angeben; in diesem Fall muß man auf die Klasse verzichten bzw. die zu unterscheidenden Klassen neu definieren.

Im vorliegenden Fall sollten ursprünglich die 7 Klassen Wasser, Moor, Wiese, Laubwald, Nadelwald, lockere Bebauung und dichte Bebauung unterschieden werden. Dafür wurden im geometrisch entzerrten Bild unter Verwendung derentsprechenden Karten (Maßstab 1 : 50 000) insgesamt 41 Bildausschnitte als Testgebiet ausgewählt, die als Trainingsgebiete in Frage kamen. In einem ersten Versuch wurden pro Klasse ein bis zwei Trainingsgebiete willkürlich ausgewählt und die Klassifizierung der 41 Trainingsgebiete mit Hilfe der Kanäle 4, 6 und 7 für die 41 Testgebiete durchgeführt.

Tabelle 1 zeigt die relativen Häufigkeiten p_{ij} ; der im Testgebiet i als zur Klasse ω_j gehörig erkannten Bildpunkte in Prozent. Diese Werte geben vor allem Auskunft über die Qualität der verwendeten Trainingsgebiete, lassen daher aber auch einen Schluß auf das zu erwartende Klassifizierungsergebnis zu. Speziell zeigt sich hier, daß die Klasse "Moor" sich bei Beschreibung durch das Trainingsgebiet 512 nicht von den Klassen Laubwald und Nadelwald trennen läßt. Bei der Klassifizierung wurden selbst im Trainingsgebiet nur 60,1 % als Moor erkannt, 39,3 % wurden der Klasse Nadelwald zugeordnet. Durch mehrfaches Austauschen der Trainingsgebiete ergab sich, daß sich die Klassifizierungsgenauigkeiten in den meisten Testflächen verbessern ließen⁺). Da aber "Moor" auch bei anderer Wahl der Trainingsgebiete nicht von den beiden Waldklassen unterschieden werden konnte, wurde schließlich auf diese Klasse verzichtet.

Die endgültige Anordnung von Trainingsgebieten für die verbleibenden 6 Klassen zeigt Tabelle 2. Die erreichten Genauigkeiten in den Trainings- und Kontrollgebieten liegen im wesentlichen über 80 %. Ausnahmen bilden die Kontrollgebiete 131 für Wasser, 322 und 331 für Nadelwald, 821 und 841 für lockere Bebauung und 731 und 732 für dichte Bebauung. Abgesehen davon, daß im Kontrollgebiet 731 16,2 % Wasser klassifiziert wurden, beruhen diese schlechteren Ergebnisse auf der Verwechslung lockere - dichte Bebauung einerseits und Bebauung - Nadelwald andererseits. Ersteres kann eine Folge der nicht ganz eindeutigen Abgrenzung der beiden Siedlungstypen sein. Dagegen bleibt im Fall der vermeintlichen Verwechslung von Wald und Bebauung noch durch Ortsbegehungen zu klären, ob es sich bei den Kontrollflächen 322 und 331 wirklich um reine Waldgebiete handelt. Die ursprünglich für Moor festgelegten Testflächen wurden zu über 30 % als Waldgebiete identifiziert. Dies entspricht den natürlichen Verhältnissen, da die Moore mit niedrigen Birken- und Erlenbeständen bedeckt sind.

Abb. 4 zeigt das Ergebnis der Klassifizierung eines Ausschnitts der LANDSAT-Szene. Den 6 Klassen wurden für die Ausgabe am Optronics verschiedene Grauwerte zugewiesen, und zwar "Wasser" der Grauwert 0 (weiß), "Wiese" 40, "Laubwald" 80, "Nadelwald" 120, "lockere Bebauung" 160 und "dichte Bebauung" 200. Die unklassifizierten Bildpunkte wurden mit dem Grauwert 255 schwarz abgebildet.

+) Vor allem die Verwendung von zwei Trainingsflächen pro Klasse führte im Vergleich zur Verwendung von nur einer Trainingsfläche pro Klasse zu wesentlich besseren Ergebnissen

	I WASSFP	I MOOR	I WIESE	I LAUBWALD	I NADFL. ALD	I BEBAU. LOCK	I BEBAU. DICT	I UNKLASSIF.
	I 111 141	I 512	I 222	I 442 443	I 312 341	I 841 822	I 741 743	I

WASSFP 111	I 99.7	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I .3	I 0.0
WASSFP 121	I 99.6	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I .2	I 0.0	I 0.0	I .2
WASSFP 131	I 76.9	I 0.0	I 2.6	I 2.6	I 5.1	I 7.7	I 5.1	I 0.0
WASSFP 141	I 97.7	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 2.3	I 0.0
MOOR 521	I 0.0	I .0	I 55.5	I 44.4	I 0.0	I .0	I 0.0	I .0
MOOR 511	I 0.0	I 78.2	I 0.0	I 17.1	I 2.2	I 2.5	I 0.0	I 0.0
MOOR 512	I 0.0	I 60.1	I 0.0	I 39.3	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I .6
MOOR 611	I 0.0	I 12.0	I 0.0	I 0.0	I 87.5	I .5	I 0.0	I 0.0
MOOR 612	I 4.0	I 12.3	I 0.0	I .4	I 68.3	I 7.1	I 6.0	I 2.0
WIESE 211	I 0.0	I 0.0	I 99.8	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I .2
WIESE 212	I 0.0	I 1.4	I 95.7	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 2.9
WIESE 221	I 0.0	I 0.0	I 55.0	I 0.0	I 0.0	I 4.4	I 0.0	I 40.6
WIESE 222	I 0.0	I 0.0	I 98.3	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 1.7
WIESE 231	I 0.0	I .9	I 91.9	I .4	I 0.0	I .2	I 0.0	I 6.6
WIESE 241	I 0.0	I 0.0	I 62.9	I 0.0	I 0.0	I 4.2	I 0.0	I 32.9
L. WALD 431	I 0.0	I 22.6	I 0.0	I 77.1	I .2	I 0.0	I 0.0	I 0.0
L. WALD 432	I 0.0	I 17.9	I 0.0	I 79.1	I 2.7	I .3	I 0.0	I 0.0
L. WALD 441	I 0.0	I 45.6	I 0.0	I 52.9	I 1.2	I 0.0	I 0.0	I .2
L. WALD 442	I 0.0	I 14.2	I 0.0	I 85.3	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I .5
L. WALD 443	I 0.0	I 5.8	I 0.0	I 93.8	I .4	I 0.0	I 0.0	I 0.0
L. WALD 444	I 0.0	I 35.8	I .4	I 63.0	I 0.0	I .4	I 0.0	I .4
N. WALD 311	I 0.0	I 7.3	I 0.0	I .2	I 88.7	I 3.6	I 0.0	I .2
N. WALD 312	I 0.0	I 1.5	I 0.0	I 0.0	I 91.7	I 5.9	I .9	I 0.0
N. WALD 321	I 0.0	I 2.0	I 0.0	I 0.0	I 94.3	I .6	I 3.1	I 0.0
N. WALD 322	I 0.0	I 2.2	I 0.0	I .2	I 50.8	I 29.7	I 2.0	I 15.1
N. WALD 331	I 0.0	I 14.3	I 0.0	I 4.0	I 80.9	I .2	I 0.0	I .7
N. WALD 332	I 0.0	I .3	I 0.0	I 1.9	I 97.9	I 0.0	I 0.0	I 0.0
N. WALD 341	I 0.0	I 1.1	I 0.0	I 0.0	I 98.9	I 0.0	I 0.0	I 0.0
BEBAU. 811	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 96.6	I 0.0	I 3.4
BEBAU. 812	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 92.0	I 0.0	I 8.0
BEBAU. 821	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 69.1	I 28.2	I 2.7
BEBAU. 822	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 98.0	I 0.0	I 2.0
BEBAU. 831	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 81.9	I 0.0	I 18.1
BEBAU. 832	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 80.8	I 0.0	I 19.2
BEBAU. 841	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I .2	I 87.0	I 11.8	I .9
BEBAU. 842	I 0.0	I 1.3	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 84.4	I 0.0	I 14.3
BEBAU. 711	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 38.3	I 51.7	I 0.0
BEBAU. 731	I 15.3	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 11.7	I 1.8	I 69.4	I 1.8
BEBAU. 732	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 7.3	I 92.7	I 0.0
BEBAU. 741	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 1.1	I 5.1	I 92.4	I 1.4
BEBAU. 742	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 0.0	I 8.4	I 84.3	I 7.2

Tabelle 1: Klassifizierungsergebnis
7 Klassen, 12 Trainingsgebiete, 29 Kontrollflächen

Zu Tabelle 1:

Ergebnis der Klassifizierung der 41 Trainings- und Kontrollgebiete.
In der linken Spalte sind die Bezeichnungen der Testgebiete aufgelistet.
Die erste Zeile enthält die Klassennamen und die zweite Zeile gibt an,
welche Trainingsgebiete zur Beschreibung der jeweiligen Klasse verwendet
wurden. Zum Beispiel bedeutet "Wasser" mit "111" und "141", daß die Gebiete
"Wasser 111" und "Wasser 141" zur Beschreibung der Klasse "Wasser" dienen.
In diesem Zusammenhang läßt sich der Tabelle beispielsweise entnehmen, daß
im Trainingsgebiet "Wasser 111" 99,7 % der Bildpunkte als Wasser und 0,3 %
als "dichte Bebauung" erkannt wurden.

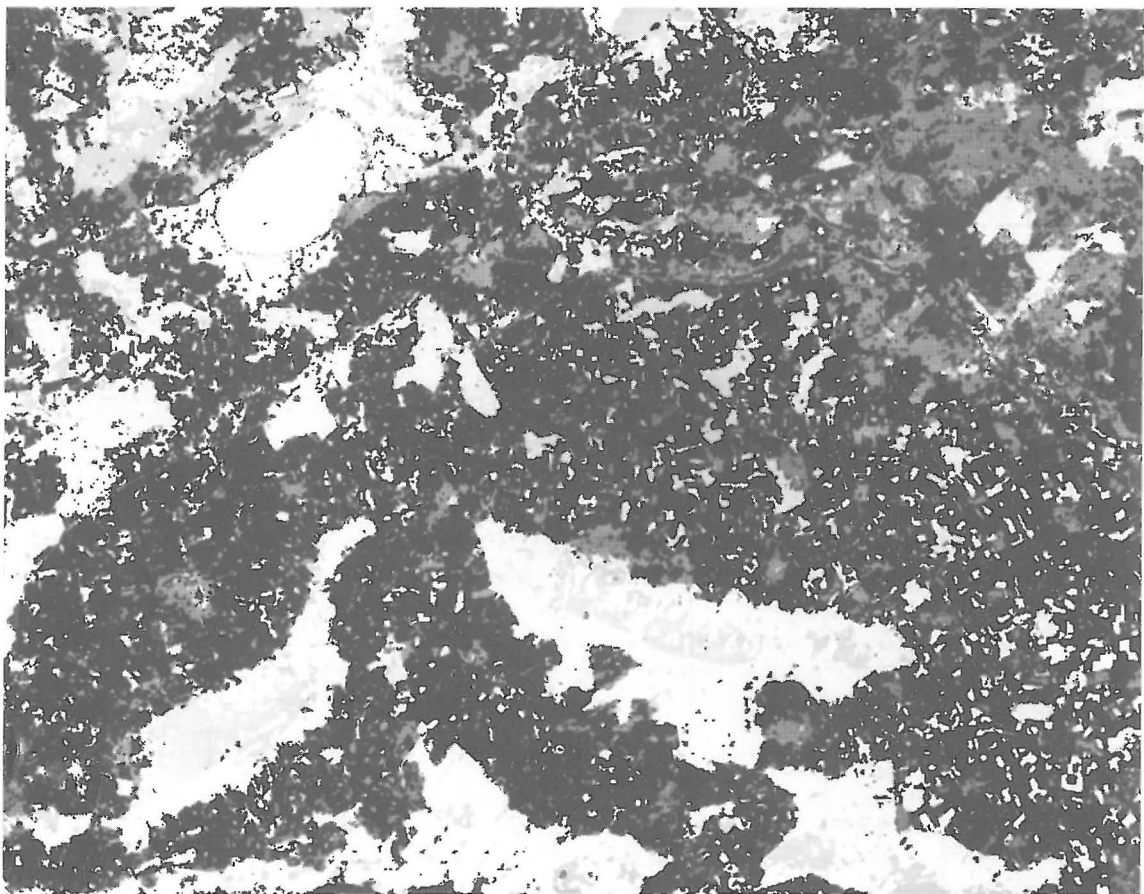


Abb. 4: Klassifizierungsergebnis, Ausschnitt

┌───┐ entspricht 5 km

	I	I WASSEP		I WIESE		I LAUPWALD		I NADELWALD		I BFPAU. LOCK		I BEBAU. DICT		I UNKLASSIF.
	I	111	141	212	221	443	441	312	341	822	831	741	742	I

WASSEP 111	I	99.7	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	.3	I	0.0
WASSEP 121	I	99.6	I	0.0	I	0.0	I	.2	I	0.0	I	0.0	I	.2
WASSEP 131	I	76.9	I	2.6	I	2.6	I	5.1	I	7.7	I	5.1	I	0.0
WASSEP 141	I	97.7	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	2.3	I	0.0
MOOR 521	I	0.0	I	0.0	I	96.9	I	0.0	I	3.1	I	0.0	I	0.0
MOOR 511	I	0.0	I	0.0	I	93.3	I	2.5	I	3.9	I	0.0	I	.3
MOOR 512	I	0.0	I	0.0	I	99.7	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	.3
MOOR 611	I	0.0	I	0.0	I	10.0	I	89.7	I	.3	I	0.0	I	0.0
MOOR 612	I	4.0	I	0.0	I	11.9	I	71.0	I	5.2	I	6.3	I	1.6
WIFSE 211	I	0.0	I	100.0	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	0.0
WIFSE 212	I	0.0	I	98.1	I	1.0	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	1.0
WIFSE 221	I	0.0	I	94.4	I	0.0	I	0.0	I	5.0	I	.6	I	0.0
WIFSE 222	I	0.0	I	98.6	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	1.4
WIFSE 231	I	0.0	I	96.0	I	1.1	I	0.0	I	.6	I	0.0	I	2.3
WIFSE 241	I	0.0	I	92.0	I	0.0	I	0.0	I	6.6	I	0.0	I	1.4
L. WALD 431	I	0.0	I	0.0	I	99.8	I	.2	I	0.0	I	0.0	I	0.0
L. WALD 432	I	0.0	I	0.0	I	96.2	I	3.5	I	.3	I	0.0	I	0.0
L. WALD 441	I	0.0	I	0.0	I	98.1	I	1.2	I	.2	I	0.0	I	.5
L. WALD 442	I	0.0	I	0.0	I	99.5	I	0.0	I	.5	I	0.0	I	0.0
L. WALD 443	I	0.0	I	0.0	I	99.3	I	.4	I	.4	I	0.0	I	0.0
L. WALD 444	I	0.0	I	0.0	I	98.8	I	0.0	I	.4	I	0.0	I	.8
N. WALD 311	I	0.0	I	.2	I	4.0	I	91.4	I	4.4	I	0.0	I	0.0
N. WALD 312	I	0.0	I	0.0	I	1.5	I	92.6	I	4.4	I	1.5	I	0.0
N. WALD 321	I	0.0	I	0.0	I	.8	I	95.9	I	.2	I	3.1	I	0.0
N. WALD 322	I	0.0	I	.7	I	1.5	I	55.3	I	31.3	I	1.6	I	9.6
N. WALD 331	I	0.0	I	.4	I	15.6	I	83.1	I	.4	I	0.0	I	.4
N. WALD 332	I	0.0	I	0.0	I	2.1	I	97.9	I	0.0	I	0.0	I	0.0
N. WALD 341	I	0.0	I	0.0	I	.6	I	99.4	I	0.0	I	0.0	I	0.0
BFPAU. 811	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	97.9	I	1.4	I	.7
BFPAU. 812	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	100.0	I	0.0	I	0.0
BFPAU. 821	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	59.1	I	40.3	I	.7
BFPAU. 822	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	98.0	I	2.0	I	0.0
BFPAU. 831	I	0.0	I	3.4	I	0.0	I	0.0	I	95.3	I	0.0	I	1.3
BFPAU. 832	I	0.0	I	3.2	I	0.0	I	.8	I	96.0	I	0.0	I	0.0
BFPAU. 841	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	7.4	I	76.3	I	16.3	I	0.0
BFPAU. 842	I	0.0	I	0.0	I	.6	I	.6	I	98.1	I	0.0	I	.6
BFPAU. 711	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	3.3	I	15.0	I	81.7	I	0.0
BFPAU. 731	I	16.2	I	0.0	I	0.0	I	13.5	I	0.0	I	68.5	I	1.8
BFPAU. 732	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	2.4	I	97.6	I	0.0
BFPAU. 741	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	2.6	I	1.7	I	95.2	I	.5
BFPAU. 742	I	0.0	I	0.0	I	0.0	I	1.2	I	0.0	I	98.8	I	0.0

Tabelle 2: Klassifizierungsergebnis
6 Klassen, 12 Trainingsgebiete, 29 Kontrollflächen

Um eine über die verwendeten Testgebiete hinausgehende Aussage über die Qualität des Klassifizierungsergebnisses machen zu können, müssen weitere Kontrollflächen ausgewählt werden, in denen das Ergebnis mit Hilfe von Ortsbegehungen überprüft wird.

4. Kartographische Weiterverarbeitungsprobleme

Als Ergebnis der digitalen Klassifizierung kann man sich die einer bestimmten Objektklasse zugeordneten Bildelemente einer Bildmatrix auf Film ausgeben lassen. Kartographisch gesehen handelt es sich dabei um einen Decker einer bestimmten Objektklasse, den man für die weiteren reprotechnischen Folgeprozesse heranzieht.

Die eigentlichen kartographischen Arbeiten beginnen mit der Herstellung der topographischen Kartengrundlage, die ein sehr wichtiges Element einer thematischen Karte darstellt. In der Praxis wird man immer bestrebt sein, dabei auf eine vorhandene topographische Karte zurückzugreifen, deren Grundrißdarstellung in Schwarz oder in einem Grauton mit den farbigen Signaturen des thematischen Sachverhaltes kombiniert wird.

Bei der in der Bundesrepublik Deutschland vorhandenen dichten Maßstabsfolge topographischer Karten bereitet die Wahl einer topographischen Kartengrundlage in der Regel keine großen Schwierigkeiten. Im vorliegenden Fall entschied man sich aus den in Abschnitt 2 genannten Gründen für die Grundrißdarstellung der Topographischen Übersichtskarte 1 : 200 000. Dieses Kartenwerk enthält alle notwendigen Grundrißinformationen, die ein Planer von einer Übersichtskarte für die Darstellung von Landnutzungen benötigt.

Bei der nun folgenden Kombination der Darstellungen der topographischen Kartengrundlage und des thematischen Sachverhaltes zeigt sich ein sehr wesentliches Problem bei der Verwendung von digital erzeugten Klassifizierungsergebnissen aus Landsat-Bilddaten für eine thematische Karte mittleren Maßstabs. Es besteht in den häufig auftretenden Abweichungen der Klassifizierungsergebnisse gegenüber der topographischen Kartengrundlage. So werden zum Beispiel sehr leicht kleinere Siedlungsflächen mit lockerer Bebauung als Acker- oder Grünlandflächen ausgewiesen. Das hat seine Ursache in der Technik der Datenerfassung. Die gespeicherten Daten stellen eine Mischinformation dar, die sich aus den unterschiedlichen Reflexionseigenschaften aller Objekte des Flächenelements ergibt. Dabei kann es leicht passieren, daß eine stark mit Vegetation bewachsene lockere Siedlungsfläche der Objektklasse "Vegetation" zugewiesen wird. Der Planer ist aber in diesem Fall lediglich an der Objektklasse "Siedlung" interessiert.

Solche, jedem Kartenleser sofort ins Auge springende Abweichungen zwischen topographischer Kartengrundlage und thematischer Flächensignatur können in einer Karte, die der Landesplanung und Raumordnung als Übersichtskarte dienen soll, leicht zu Fehlinterpretationen führen. Der Kartenleser erwartet von einer thematischen Karte in bezug auf den thematischen Sachverhalt eine klare Aussage, die ihre Begrenzung lediglich in der graphischen Darstellbarkeit haben sollte. Da den meisten Kartenlesern die Probleme einer bestimmten Technologie bei der Datenerfassung und Datenverarbeitung unbekannt sind, ist es erfahrungsgemäß auch nicht sinnvoll, von ihm eine richtige Einschätzung der Möglichkeiten und Grenzen zu erwarten. Das gilt um so mehr, als mit konventionellen Mitteln, z. B. durch die Interpretation von topographischen Karten und aktuellen Luftbildern, die festgestellten Abweichungen korrigiert werden können.

In dieser Situation wäre daher ein Verzicht auf eine vorhandene, allerdings detaillreiche topographische Kartengrundlage, zur Vermeidung der eben beschriebenen Widersprüche für ein Landeskartenwerk keine gute Lösung. Dabei würde man vorhandene und leicht zugängliche Informationen, die für den beabsichtigten Verwendungszweck von erheblicher Bedeutung sind, be-
wußt unterdrücken.

Bei einer solchen Sachlage wird man sich also für eine Korrektur der Objektklassen-Decker entscheiden müssen. Hier bieten sich theoretisch zwei Lösungswege an, von denen im Falle des Pilotprojekts allerdings nur ein Weg praktikabel war.

Der erste theoretische Lösungsweg besteht in einer computerunterstützten Korrektur mit Hilfe eines interaktiven graphischen Bildschirmsystems. Voraussetzung wäre hier allerdings eine topographische Datenbank, in der die topographische Kartengrundlage in digitaler Form gespeichert ist. Nur dann ist eine Anpassung der Klassifizierungsergebnisse an den topographischen Kartengrund möglich. Eine solche Datenbank steht, von Einzelfällen für Forschungsprojekte einmal abgesehen, derzeit nicht zur Verfügung. Somit ist im genannten Pilotprojekt nur der zweite Lösungsweg gangbar, der eine manuelle Neuzeichnung der Objektklassen-Decker anhand der automatisch erzeugten Klassifizierungsergebnisse und der vorhandenen topographischen Karte vorsieht.

Die so korrigierten Decker können anschließend den dann notwendigen repro-
technischen Folgeprozessen zugeführt werden, die mit dem Mehrfarbendruck der thematischen Karte enden. Es ist vorgesehen, eine solche mehrfarbige Karte als Probedruck herzustellen. Auf eine Beschreibung dieser konventionellen reprotechnischen Prozesse wird hier verzichtet.

5. Diskussion

Eine abschließende Wertung der Klassifizierungsergebnisse muß über die Begutachtung der mitgeführten Kontrollflächen hinausgehen; sie kann letztlich nur vom Nutzer selbst anhand realer Bodendaten erfolgen. Dieser Schritt steht für das angeführte Beispiel noch aus. Fest steht allerdings, daß der Nutzer von multispektralen Klassifizierungen niemals 100 % vollständige und 100 % richtige Ergebnisse erwarten darf. Möglicherweise sind daher klassifizierte LANDSAT-Aufnahmen für Anwendungen der dargestellten Art in Mitteleuropa gegenüber konventioneller Luftbildinterpretation nicht konkurrenzfähig. Andererseits ist die Nützlichkeit von LANDSAT-Aufnahmen in weiten Teilen der Welt nachhaltig bewiesen worden, und auch für Mitteleuropa existieren Beispiele für konkurrenzlose Wirtschaftlichkeit klassifizierter LANDSAT-Daten (z. B. BAHR / DENNERT-MÖLLER 1979). Schließlich sollte nicht vergessen werden, daß die 1972 begonnene LANDSAT-Serie im kommenden Jahr durch LANDSAT-D mit einem geometrisch und radiometrisch höher auflösenden Sensor fortgesetzt wird. Weitere Satellitenmissionen in diesem Jahrzehnt, wie das französische SPOT-Projekt und die Photogrammetrische Kamera der ESA werden mit dazu beitragen, die Leistung von Landnutzungs-kartierung aus dem Weltraum zu steigern.

LITERATUR :

- BAHR, H.-P.: Digital Image Processing Experience at Hannover Institute for Photogrammetry. Mitteilungen der Geodätischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge 29, 1977
- BAHR, H.-P.: Wechselwirkung von Photogrammetrie und Fernerkundung durch Anwendung digitaler Bildverarbeitung. Habilitationsschrift Hannover 1979
- BAHR, H.-P. und DENNERT-MÖLLER, E.: Tidal Land Mapping from LANDSAT. 3ème Colloque International du GDPA, Toulouse 1979
- NIEMANN, H.: Methoden der Mustererkennung. Frankfurt/M. 1974
- Tou, J.T. und GONZALES, R.C.: Pattern Recognition Principles. London 1974