

Methodische Möglichkeiten mit Thematic-Mapper-Daten, dargestellt anhand einiger Verarbeitungen aus dem Raum Würzburg *

Stefan W. Dech

Übersicht

Anhand einer Landsat-TM-Szene vom 7.7.1984 werden methodische Möglichkeiten der digitalen Verarbeitung von Satellitenbilddaten vorgestellt.

Wesentliches Aufgabenziel derartiger Verfahren ist in der Optimierung des Aussagegehaltes von Bilddaten zu sehen. Bildinhalte sollen so für den Menschen einprägsamer dargestellt werden.

Unter Verwendung einer Subszene innerhalb der die gesamte Bandbreite verschiedener Oberflächenbedeckungsarten – von intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten bis hin zu Arealen innerstädtischer Bebauung – vorhanden ist, sollen diverse methodische Vorgehensweisen aufgezeigt werden, die die gute spektrale, radiometrische und geometrische Auflösung des TM-Sensors optimal inwertsetzen und ein Maximum an verwendbaren Informationen für den Interpreten liefern.

Folgende Verarbeitungstechniken werden besprochen:

Kontrastverstärkung; Farbkomposite; Datenkompression; Ratiobildungen; Geometrische Entzerrung; Spezielle interaktive Verfahren; überwachte Maximum-Likelihood Klassifizierung; Digitale Generalisierung; Integration topographischer Zusatzdaten.

Einführung

Bei digitalen Bildverarbeitungsverfahren wird im Gegensatz zur analogen Verarbeitung Bildinformation, die vor der Verarbeitung digitalisiert wird, durch Computersysteme numerisch prozessiert und analysiert (HABERÄCKER et al. 1979).

Moderne Bildverarbeitungsanlagen erlauben hierbei das Eingreifen des Auswerters in verschiedene Verarbeitungsschritte im Sinne einer Korrektur oder Zwischenbewertung, also das interaktive Arbeiten. Der Vorteil dieser Verarbeitungstechnik liegt in der Koppelung der subjektiven Interpretationsmöglichkeiten des Bearbeiters und der schnellen und exakten Analyse des Rechners.

Mittels digitaler Verarbeitungstechniken können die zunächst als „system-korrigiert“ vorliegenden Daten (radiometrisch und geometrisch korrigiert) in ihrem Informationsgehalt für den Betrachter erheblich wertgesteigert werden. Vor allem die in den letzten Jahren entwickelten komplexen Verarbeitungsstrategien ermöglichen es dem Bildinterpreten heute auch subtile Spektralinformation zu analysieren. Dabei muß bedacht werden, daß die sinnvolle Interpretation gewonnener Daten nur nach Kenntnis der angewandten digitalen Aufbereitungsmethoden,

umfassender Spektralanalyse sowie Erfahrung in entsprechenden erdwissenschaftlichen Disziplinen gegeben ist (HAYDN & VOLK 1987).

Im folgenden sollen wichtige digitale Auswertverfahren skizzenhaft vorgestellt werden. Ihre Verwendung wird dabei wesentlich durch die jeweilige Fragestellung bestimmt.

Detaillierte Ergebnisse, vor allem hinsichtlich der durchgeführten Klassifizierung, der statistischen Analysen und des Verifizierungsaufwandes, können in diesem Rahmen nicht geliefert werden. Sie sind anhand eines Forschungsberichtes des Verfassers (DECH 1987) nachvollziehbar.

1. Modifikation der Grauwertverteilung

Sinn der Modifikation der Grauwertverteilung eines digitalen Bildes ist es, eine Bildverbesserung und damit die visuelle Interpretation der Bildinhalte zu erleichtern (HABERÄCKER 1985).

Dies wird durch die Hervorhebung wichtiger und Unterdrückung weniger wichtiger Bildinhalte erreicht. Es bieten sich einige Möglichkeiten der Grauwertspreizung, die nun kurz vorgestellt werden sollen:

1.1. Lineare Skalierung

Durch die lineare Skalierung eines Bildes wird die Grauwertverteilung eines beliebigen Bildes S durch eine lineare Abbildung transformiert (HABERÄCKER 1985):

$$S \rightarrow S'$$

$$S'(x, y) = (s(x, y) + c_1) \cdot c_2 = (x, y) \cdot c_2 \cdot s + c_1 \cdot c_2$$

Die Konstante c_1 reguliert die Helligkeit des Bildes. Ist $c_1 > 0$, wird das Bild heller. Entsprechend wird das Bild bei $c_1 < 0$ dunkler.

Eine Kontrastverstärkung wird durch Multiplikation der einzelnen Grauwerte mit einer Konstanten $c_2 > 0$ erreicht.

Da aufgrund einer stückweisen linearen Skalierung nur bestimmte Grauwertintervalle kontrastverstärkt werden können, eignet sich diese Methode beispielsweise zur Signaturuntersuchung von Wäldern: geringe Reflexionsunterschiede innerhalb einzelner Waldbestände können so besonders hervorgehoben werden, unnötige Information kann „ausgeblendet“ werden.

1.2. Allgemeine Skalierung

Werden statt einer linearen Funktion beliebige Funktionen $f(g)$ verwendet, so müssen diese im Intervall

$$G = (0, 1, \dots, 255)$$

* Die Verarbeitung der Daten erfolgte am Digitalen, Interaktiven Bildauswertesystem (DIBIAS) der DLR

definiert sein und dort ein Minimum $\min_f > -\infty$ und ein Maximum $\max_f < +\infty$ besitzen. Auf diese Weise wird die zwischen Schwarzpegel (untere Intervallgrenze des Grauwertbereichs) und Weißpegel (obere Intervallgrenze des Grauwertbereichs) liegende Information auf den gesamten Dynamikbereich der Grauwertskala gestreckt. Jeder Grauwert der Originaldaten wird dabei auf einen neuen Grauwert transformiert, die Information außerhalb des Intervalls geht hierbei verloren. Die Transformationsgleichung eines allgemein skalierten Bildes S wird wie folgt beschrieben:

$S \rightarrow S'$:

$$s'(x, y) = 255 (f(s(x, y)) - \min_f) / (\max_f - \min_f) = f_n(s(x, y))$$

Bei einer logarithmischen Transformation können dunkle Bildbereiche stärker im Kontrast angereichert werden als Helle.

Eine umgekehrte Wirkungsweise kann durch entsprechende Wahl von $f(g)$ erzielt werden.

Die logarithmische Transformation beschreibt folgende Funktion:

$$f(g) = c \log(g+1)$$

Bei Bedarf können die Transformationsfunktionen $f(g)$ bzw. $f_n(g)$ auch interaktiv definiert werden. Dies geschieht durch Einzeichnen der Gradationskurve (graphische Darstellung von $f(g)$ bzw. $f_n(g)$) mittels Rollkugel am Bildschirm.

Diese Vorgehensweise erlaubt, je nach speziellen Fragestellungen, eine subtil abgestimmte Grauwertmodifikation.

GUICK (1986, S. 71 ff) wendet dieses Verfahren zur Kontrastverbesserung von Schnee im Schatten, schneebedecktem Wald und Schneegrenzsaum an. Die Grauwertmodifikation der hier verwendeten Daten wurde anhand eines allgemeinen Skalierungsverfahrens durchgeführt.

1.3. Äquidensiten

Ein Äquidensitenbild stellt eine Spezialisierung der allgemeinen Skalierung dar.

Durch eine Äquidensitenbilddarstellung können Grauwertintervalle zu einzelnen Grauwerten und so thematische Bildinformationen zu eindeutigen Klassen zusammengefaßt werden. Hier fand eine solche Darstellung innerhalb der Untersuchung von TM-Band 6 Anwendung (vgl. Abb. 1).

Die normierte Skalierungsfunktion $f_n(g)$ des Äquidensitenbildes S' wird stückweise konstant gewählt:

$$f_n(g) = g_k \text{ für } 1_k \leq g < 1_{k+1}$$

und $k = 0, 1, \dots$, wobei $1_k, g_k$ und g aus dem Definitionsbereich $(0, 1, \dots, 255)$ sind.

2. Erstellung von Farbkompositen

Die Erstellung von Farbkompositen gehört zu den grundlegenden Verarbeitungsschritten bei der Analyse von Satellitenbilddaten. Ihr visueller Informationsgehalt steigt im Vergleich zu einkanaligen Darstellungen durch die Kombinationsmöglichkeiten von drei Kanälen. Jedem Kanal wird eine Farbkomponente zugeordnet; durch die Variationsmöglichkeiten zwischen Kanalauswahl und Farbuordnung lassen sich, je nach Fragestellung, bestimmte Objekte hervorheben.

Nach KIRCHHOF et al. (1985) kann bei der Aus-

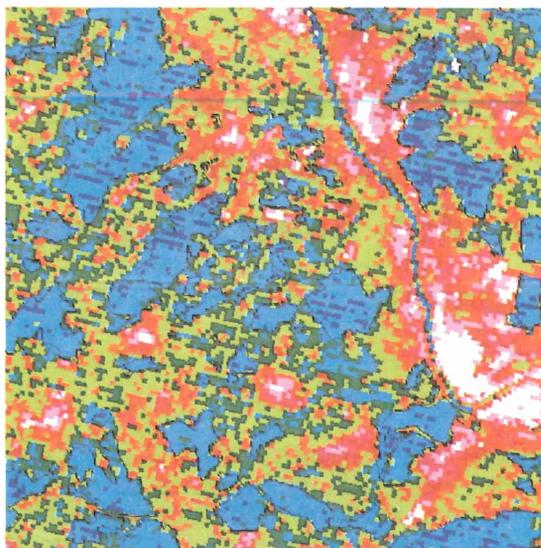


Abbildung 1

Äquidensitenbilddarstellung der Thermalinformation von Kanal 6 mit überlagerter, interaktiv erstellter Waldbegrenzungslinie

Dunkelblau	= Wald
Hellblau	= Wald/Wasser
Dunkelgrün	= Wald/Felder
Hellgrün	= Felder
Orange	= Felder
Dunkelorange	= Felder/Siedlung
Rot	= Bebauung-durchgrünt
Violett	= Bebauung-dicht
Weiß	= Bebauungszentren

wahl der Kanäle neben der Fragestellung der Informationsgehalt gedanklich mit der Größe der Varianz seines Grauwertehistogramms korreliert werden.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Echtfarben- und Falschfarbenkompositen.

Durch die Einrichtung eines im blauen Spektralbereich aufnehmenden Kanals ist der TM in der Lage, Echtfarbenkomposite zu liefern. Sie werden aus den drei Kanälen des sichtbaren Wellenlängenbereichs erstellt und mit entsprechenden Farbkomponenten (blau-grün-rot) coloriert.

Die Qualität der TM-Echtfarbenkomposite ist oftmals jedoch wegen atmosphärischer Einflüsse nicht ausreichend.

Nur bei völlig dunstfreien Aufnahmebedingungen enthalten Echtfarbenkomposite ein Maximum an Information. In der praktischen Anwendung sind daher Kanalkombinationen aus dem visuellen Spektralbereich selten anzutreffen.

Bei den Falschfarbenkompositen werden Spektralkanäle aus dem infraroten Wellenlängenbereich mit einem oder zwei Kanälen aus dem sichtbaren Bereich kombiniert. Reine Falschfarbenkomposite (Kanäle 4-5-7) werden aufgrund der ausgeprägten Korrelation der Kanäle 5 und 7 selten verwendet. Daher erweist sich die Hinzunahme des TM-Bandes 7, etwa bei der Analyse von Vegetation, nicht als Informationsgewinn. In der Praxis finden vor allem die Kanalkombinationen 4-3-2 und 4-5-3 bei forstwissenschaftlichen und allgemeinen Vegetationsuntersuchungen häufige Anwendung.

Die Kanalkombination 4-3-2 bietet zudem die Möglichkeit, Vergleiche mit einer evtl. vorliegenden

Infrarot-Befliegung, aufgrund der spektralen Ähnlichkeit (grün, rot und nahes Infrarot), anzustellen. Infolge des hohen Informationswertes von Kanal 5, der Aussagen bezüglich Feuchtigkeitsgehalt der Vegetation zuläßt, bedeutet die Verwendung dieses Kanals in der Regel eine deutliche Verbesserung der visuellen Interpretationsmöglichkeiten von Farbkompositen. Die Verwendung dieser Kanal-kombination erwies sich in zahlreichen Arbeiten bei der Differenzierung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen als hilfreich (KIRCHHOF et al. 1985; DECH 1987). Vgl. hierzu auch Abb. 3.

Bei geologischen Untersuchungen kann dagegen spezielles Reflexions- bzw. Absorptionsverhalten verschiedener Gesteine unter Verwendung von Kanal 7 nachgewiesen werden (PODWYSOCKI et al. 1983). Die Wahl des Colorkomposites ist daher in hohem Maße sowohl von der Fragestellung als auch vom verwendeten Datenmaterial abhängig. Eine Sonderstellung bei der Erstellung von Farbkompositen muß dem thermischen TM-Band 6 beigemessen werden:

Infolge der geringen räumlichen Auflösung von 120 x 120 m und der damit verbundenen geringen Streuung der Grauwerte eignet er sich nicht zur Verwendung innerhalb einer Kanal-kombination. Durch Schwellwertoperationen können jedoch bestimmte Klassen definiert werden, die, nach Colorierung, für den Betrachter gut erkennbar sind (vgl. 1.3. und Abb. 1).

3. Datenkompression

Durch eine Hauptkomponenten (HK)-Transformation kann eine erhebliche Datenreduzierung und somit auch eine Verkürzung der Rechenzeit und Reduzierung der Kosten erreicht werden. Sie ist daher als Standardmethode innerhalb der digitalen Bildverarbeitung anzusehen (HABERÄCKER 1985).

Grundüberlegung der HK-Transformation ist die Korrelation des verwendeten Datenmaterials, d.h. Grauwerte von zwei und mehr Kanälen unterscheiden sich nicht signifikant.

Durch starke Korrelation der Grauwerte von mehreren Kanälen kann zu jedem Grauwert eines Kanals ein mehr oder weniger breites Grauwertintervall in einem anderen Kanal zugegeben werden. Bei einer linearen Abhängigkeit zweier Kanäle könnte jedem Grauwert des ersten Kanals der entsprechende Grauwert des zweiten Kanals exakt zugeordnet werden.

Hier läge dann redundante Grauwertinformation vor. Dies wäre allerdings ein Extremfall.

Es bedarf jedoch nicht der linearen Abhängigkeit zweier Kanäle.

HABERÄCKER (1985) betont, daß bereits starke Korrelationen, wie z. B. zwischen TM-Band 5 und 7, derartige Datenredundanz beinhalten.

Durch die HK-Transformation erfolgt eine Drehung der Koordinatenachsen der beiden Kanäle, so daß die erste Achse in Richtung der größten Streuung der Grauwertkombination beider Kanäle ausgerichtet wird und die zweite, ebenfalls in Richtung der größten Varianz, senkrecht dazu steht. Die beiden neuen Koordinatenachsen heißen 1. und 2. Hauptkomponente.

Durch dieses Verfahren wird der Hauptanteil einer Szenenvarianz der 1. HK zugeordnet.

Es muß jedoch bedacht werden, daß durch die Drehung des Merkmalskoordinatensystems spezielle Objekte ihre charakteristischen Eigenschaften verlieren können. Dies kann zu Verschlechterungen einer rechnergestützten Klassifikation führen. Ferner muß berücksichtigt werden, daß entsprechend dem Aufgabenziel (etwa bei geologischen oder hydrologischen Fragestellungen) Strukturen, Texturen und Störungen erst in höheren HK-Kanälen nachweisbar sind und daher oftmals hohe Wertigkeit besitzen. In diesem Fall muß der Informationsgehalt eines Bildes nicht unbedingt mit der Größe der Varianz seiner Grauwerte korrelieren. Abb. 2 zeigt die ersten drei Hauptkomponenten in Farbkompositendarstellung mit durchgeführter Grauwertspreizung. Eine ausführliche Beschreibung der mathematischen Gleichungen einer HK-Transformation gibt HABERÄCKER (1985, S. 205 - 218).

Anwendungsmöglichkeiten einer HK-Transformation innerhalb multispektraler Verarbeitungen von TM-Daten vermitteln die Arbeiten von HABERÄCKER (1977), GLASER (1986) und DECH (1987).

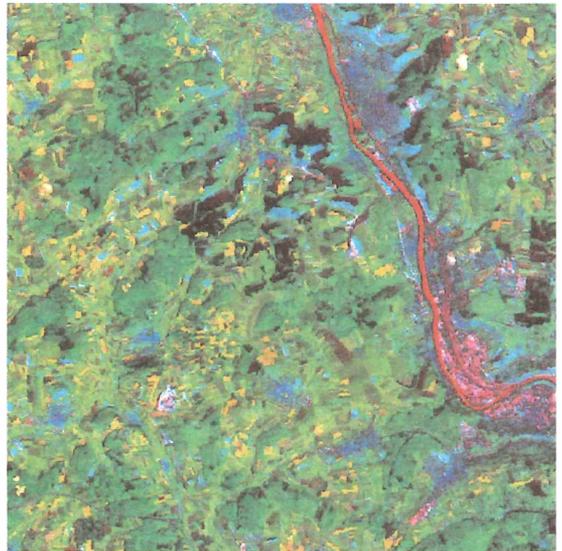


Abbildung 2

Kontrastverstärktes Farbkomposit der 1., 3. und 2. Hauptkomponente

4. Ratiobildungen

Bei der interaktiven und visuellen Analyse multispektraler Daten ist eine weitere Standardverarbeitung in der Erstellung von 'Ratios' zu sehen. Unter einer Ratiobildung wird in der Literatur, etwa bei CURRAN (1980), meistens eine beliebige arithmetische Verknüpfung von Bilddaten verstanden. Andere Autoren, z. B. HABERÄCKER (1985), verstehen unter Ratiobildungen nur die pixelweise Division zweier Kanäle. Ansonsten wird zwischen Kanalsumme und Kanaldifferenz unterschieden.

Durch arithmetische Verknüpfungen einzelner TM-Kanäle können unter Umständen bestimmte Bildinhalte betont, weniger wichtige unterdrückt werden. Der Informationsgehalt multispektraler Daten wird dabei in eine Helligkeits- und in eine Farbinformation zerlegt. GLASER (1986, S. 134) konnte durch Division der TM-Kanäle 5 und 4 die Eliminierung eines bei der visuellen Interpretation störenden Wolkenbandes erreichen. GUCK (1986, S. 84)

Tabelle 1

einige Standardratios; R = Rot, IR = Infrarot, G = Grün (nach CURRAN (1980), Table 3).

Name	Formula	Example
Simple subtraction	IR-R	Pearson et al. (1976)
Simple division	$\frac{IR}{R}$	Kanemasu (1974)
Complex division	$\frac{IR}{R + \text{other wavelengths}}$	Carter and Gardner (1977)
Simple multiratio (vegetation index)	$\frac{IR - R}{IR + R}$	Ashley and Rea (1975)
Complex multiratio (transformed vegetation index)	$\sqrt{\frac{IR - R}{IR + R} + 0,5}$	Rouse et al. (1973)
Perpendicular vegetation index (vegetation reflectance departure from soil background)	$\sqrt{(\text{soil} - R_{\text{veg}})^2 + (R_{\text{soil}} - IR_{\text{veg}})^2}$	Richardson and Wiegand (1977)
Green vegetation index (for use with Landsat wavebands)	$-0,29(G) - 0,56(R) + 0,60(IR) + 0,49(IR)$	Kauth and Thomas (1976)

spricht von der nützlichen Verwendung einer Division der TM-Kanäle 3 und 4 bei der Identifizierung schneebedeckter Waldgebiete.

Weiterhin können geschickte arithmetische Verknüpfungen innerhalb von Vegetationsuntersuchungen bei der Erkennung von spektral ähnlichen Pflanzen eingesetzt werden: hierin sind sicher die Hauptanwendungsbereiche derartiger Verarbeitungen zu sehen. Obige Tabelle zeigt einige gängige Ratio-Formeln.

5. Geometrische Entzerrung

Ist eine Zielsetzung der Verarbeitung von TM-Daten der Vergleich oder gar eine Überlagerung mit Karteninformationen, so ist die Entzerrung der Szene bzw. der Subszene Grundvoraussetzung. Dies bedeutet, die Satellitendaten müssen in ein mit der Karte übereinstimmendes Referenzsystem eingepaßt werden. Das vorgegebene Referenzsystem ist das unseren Karten zugrundeliegende Gauß-Krüger Koordinatensystem.

Zwischen der geometrisch verzerrten Szene und dem Referenzsystem besteht eine Lagebeziehung. Durch die Bestimmung sich entsprechender Ortskoordinaten der verzerrten Szene und des Referenzsystems - innerhalb eines gewählten Bezugsrahmens - kann eine Transformation der verzerrten Ortskoordinaten und somit die Einpassung in das Gauß-Krüger-Netz erfolgen.

Die Transformation der Ortskoordinaten $S \rightarrow S'$ wird beschrieben durch:

$$s'(x', y') = s(x, y), \text{ wobei} \\ x' = f_1(x, y) \text{ und } y' = f_2(x, y)$$

die Abbildungen der Transformation sind (HABERÄCKER 1985, S. 169). Eine solche Transformation bewirkt, daß der Grauwert $g = s(x, y)$ des Originalbildes S (verzerrtes Bild) im transformierten Bild S' (entzerrtes Bild) in der Position mit den Ortskoordinaten x' und y' erscheint.

Verschiedene Modifikationen der Ortskoordinaten ergeben sich aus der Wahl der Transformationsfunktion. In der Praxis werden häufig affine Abbildungen oder Polynomtransformationen n-ten Grades verwendet. Hier wurde die Transformation mit einem Polynom 2. Grades berechnet (Abb. 1 bis 4). Diese Interpolationsmethode wurde auch bei der Entzerrung anderer Landsat-Bilddaten - etwa bei HABERÄCKER et al. (1979) - bereits erfolgreich eingesetzt.

Als Paßpunkte dienen gut identifizierbare Objekte wie Waldschneisen, Straßenkreuzungen oder Brücken. Sie sollten gleichmäßig über das ganze Bild verteilt sein. Gleichzeitig ist zu bedenken, daß ein schlechter Paßpunkt bei der Transformation zu größeren Fehlern führt als eine Lücke im Paßpunktnetz.

6. Spezielle interaktive Prozeduren; Erstellung einer Waldmaske

Die Mindestgröße eines eindeutig zu identifizierenden Objektes wird in der Literatur unterschiedlich bewertet:

Nach HABERÄCKER et al. (1979) muß eine zu identifizierende Fläche mindestens die doppelte Länge der Diagonalen des jeweiligen Bildelementes besitzen. Für den TM wären dies 84,85 m. Die Mindestgröße einer Nutzungsparzelle beträgt demnach 0,72 ha.

THOMPSON et al. (1983) sprechen sogar von einer minimalen Gebietsgröße von 2,5 bis 4 ha. Dieser Wert scheint nach meinen Erfahrungen jedoch zu hoch angesetzt. Nach einer Berechnung von LE-GORGEU & RIVEREAU (1983) beträgt die Mindestparzellengröße dagegen nur 0,36 ha.

Die kleingekammerten Landnutzungsstrukturen der Region nordwestlich Würzburg bedingen eine große spektrale Heterogenität der verschiedenen Oberflächenbedeckungsarten. Der Anteil von Mischsignalen ist daher groß. So erhalten Misch-

pixel oftmals zufällig die spektralen Eigenschaften von „reinen“ Pixeln einer Objektklasse. Diese Mischsignaturen führen zwangsläufig zu Fehlklassifizierungen. Bei der vorliegenden Szene erwies sich die Wahl des Aufnahmezeitpunktes (Hochsommer) für ein Maximum spektraler Unterscheidbarkeit zwar als günstig, gleichsam steigt jedoch mit einer Erhöhung der Klassenzahl die Fehlerquote.

So kommt es auch *zwischen* den landwirtschaftlichen Objektklassen, bedingt durch die charakteristischen Spektraleigenschaften von Vegetation, zu gegenseitigen Fehlzuweisungen bei Verwendung monotoner Daten. Um die zu erwartende Fehlerquote bei der Klassifizierung von Vegetation zu verringern, wurde – zunächst mittels Schwellwertoperationen versucht, eine Trennung von Wald und Nichtwald zu realisieren, um die Klassifizierung anschließend in zwei separaten Verarbeitungen durchzuführen. Das Ergebnis war jedoch nicht zufriedenstellend: über das ganze Bild verstreut blieben einzelne und kleine Gruppen von Bildelementen zurück. Bei solchen Pixeln handelte es sich um vereinzelt vorkommende Obstbaumkulturen und Schrebergärten, die verstärkt entlang des Mainaubereiches südlich Zellingen zu beobachten sind.

Auch innerhalb der Wälder waren Lücken zu beobachten, die beispielsweise durch Junganpflanzungen oder Blößen verursacht wurden, definitiv jedoch als „Wald“ anzusprechen sind.

Eine brauchbare Trennung von Wald und Nichtwald konnte bei der vorliegenden Szene nur manuell erreicht werden.

Zur Abgrenzung der Waldgebiete wurden als Referenzdaten die Topographischen Karten 6125 (Würzburg Nord) und 6124 (Remlingen) im Maßstab 1 : 25 000 verwendet, ferner diente das Blatt „Würzburg und Umgebung“ im Maßstab 1 : 50 000. Als Farbkomposit wurde eine speziell auf den Kontrast Wald-Nichtwald grauwertmodifizierte Kombination der Kanäle 5-4-3 auf das Sichtgerät ausgespielt. Zudem wurde ein weiterer Monitor mit einer anderen Kanalkombination belegt, um in Zweifelsfällen eine Vergleichsbasis zu besitzen.

Der jeweils zu bearbeitende Ausschnitt wurde 4-fach vergrößert. Das „Einzeichnen“ der Grenzlinie erfolgte über eine Rollkugel; der Grenzverlauf wurde so gelegt, daß das Linienpixel das letzte Waldpixel überdeckt.

Nach der durchgeführten Abgrenzung des Waldes vom Nichtwald werden zwei Maskenbilder erstellt, die jeweils nur die Grauwerte 0 und 1 besitzen, einmal für Wald/Nichtwald und umgekehrt.

Multipliziert man nun ein Maskenbild mit einer Kanalkombination oder mit einem klassifizierten Bild, so erreicht man als Ausgabebild die Separierung gewünschter Bildinhalte.

Auf diese Weise kann die Klassifizierung in zwei unabhängigen Verarbeitungsschritten erfolgen. Beide Klassifizierungen werden als Endprodukt addiert.

Es muß jedoch betont werden, daß eine derartige Vorgehensweise nur mit großem Zeit- und Rechenaufwand durchführbar ist und daher in der Praxis, bei operationeller Bearbeitung größerer Gebiete, nur selten zur Anwendung kommen dürfte. Hauptanwendungsbereiche einer solchen Verar-

beitung sind deshalb in detaillierten Untersuchungen relativ überschaubarer Areale – innerhalb kommunaler oder regionaler Planungsebenen zu sehen.

7. Überwachte Klassifizierungsverfahren

Zu Beginn einer überwachten Klassifizierung multispektraler Daten steht der Nutzer vor der Frage, mit welchem Klassifizierungsalgorithmus die Klassifikation durchgeführt werden soll.

Als wichtigste Verfahren sind die Minimum-Distance-Methode, die Quadermethode (geometrischer Klassifikator) und die Maximum-Likelihood-Klassifizierung zu nennen.

Die Maximum-Likelihood-Methode ist als weitaus genauestes Klassifizierungsverfahren anerkannt, deren größter Nachteil in der mit steigender Kanalzahl wachsenden Rechenzeit und damit horrenden Kosten zu sehen ist. Daher wird die Auswahl des Klassifizierungsalgorithmus wesentlich von der geforderten Klassifizierungsgenauigkeit und den verfügbaren Geldmitteln abhängig sein.

Ein weiteres Auswahlkriterium ist in den speziellen Charakteristika der zu untersuchenden Szene zu sehen. So kam MURI (1981) zu dem Ergebnis, daß bei einer Schneeflächenklassifizierung dem Minimum-Distance-Algorithmus der Vorzug gegenüber dem Maximum-Likelihood-Verfahren zu geben sei, obwohl der Rechenaufwand in einem Verhältnis von 1 : 4 zugunsten der Minimum-Distance-Methode lag.

Neben den ‘überwachten’ können auch ‘unüberwachte’ Klassifizierungsverfahren durchgeführt werden, die vor allem in schwer zugänglichen Gebieten, wie in den Tropen oder Subtropen, ihren Anwendungsbereich besitzen. Die zeitaufwendige Auswahl der Testgebiete durch den Interpreten fällt hierbei weg. Mittels einer Clusteranalyse werden selbständig Kategorien (Klassen) gebildet, die vom Interpreten nur noch definiert werden müssen. Ein derartiges Verfahren ist weitaus weniger rechenintensiv und daher bedeutend kostengünstiger.

Es kann festgestellt werden, daß eine überwachte Klassifizierung, unabhängig vom verwendeten Algorithmus, stets äußerst zeitintensiv ist und aus einem langen Prozeß sich wiederholender Prozeduren wie Probeklassifizierungen, Neuauswahl von Trainingsgebieten und Veränderungen der Startparameter, sowie mit einem intensiven Verifizierungsaufwand verbunden ist.

Ferner könnte durch die Implementierung verschiedenster Erfahrungsparameter innerhalb einer numerischen Klassifikation eine wesentliche Verbesserung der Ergebnisse erzielt werden. Es seien nur Faktoren wie Textur oder Abhängigkeiten zwischen einzelnen Objekten genannt, die bei der Verwendung derzeitiger Methoden gänzlich unberücksichtigt bleiben. Die Entwicklung neuer Klassifizierungsverfahren wird eine Maxime in der Schaffung eines solchen Systems beinhalten, das sich an dem im Menschen ablaufenden Prozeß der Erkennung von Objekten orientieren muß.

7.1. Überwachte Maximum-Likelihood Klassifizierung

Für die hier durchgeführte überwachte Klassifizierung wurde der Maximum-Likelihood (ML) Klassifikator verwendet, da er vor allem bei schwierig

trennbaren Klassen, wie sie hier zu erwarten waren, als sehr nützlich dargestellt wird (vgl. KIRCHHOF et al. 1985).

Die ML-Klassifizierung basiert auf dem Prinzip der quadratischen Form, dem sog. Mahalanobis-Abstand des Bildpunktes x im n -kanaligen Spektralraum der Musterklasse, einem Distanzmaß aus der Diskriminanzanalyse. Dieser ist durch den Mittelwertvektor „ m “ und die Kovarianzmatrix „ C “ beschrieben. Jene Bildpunkte, die durch einen konstanten Mahalanobis-Abstand zu einer bestimmten Musterklasse gekennzeichnet sind, liegen auf einem n -dimensionalen Hyperellipsoid, d. h., Pixel mit gleichem Mahalanobis-Abstand zu einer Musterklasse befinden sich um die Zentren der Klassen. Eine Ellipsoidschar ist somit durch die quadratische Form zu jeder Musterklasse definiert (HABERÄCKER 1977). Die Größe des Ellipsoids wird durch einen Schwellenwert (c) begrenzt. Dieser wird als das Vielfache vom Sigma eingegeben, wobei Sigma der Richtung der größten Streuung im Ellipsoid entspricht.

Als nicht klassifiziert werden Bildpunkte zurückgewiesen, deren Mahalanobis-Abstand von allen gesetzten Musterklassen größer als das Produkt von Sigma und Schwellenwert ist.

Als Endergebnis der Klassifizierung erhält man ein einkanaliges Äquidensitenbild. Zur Verbesserung der visuellen Betrachtbarkeit werden die einzelnen Grauwerte farbkodiert.

Weitere Darstellungen der ML-Klassifizierung findet man bei HABERÄCKER (1977; 1985).

Die Auswahl der Trainingsgebiete besitzt bei der überwachten Klassifikation entscheidende Bedeutung für die spätere Genauigkeit des Ergebnisses. Die Strichproben sollten dabei die spektralen Eigenschaften der Klassen möglichst genau repräsentieren. Hierbei muß auf ausreichende Homogenität und Größe der Referenzflächen geachtet werden. Ferner sollten die Stichproben annähernd eine Normalverteilung der Grauwerte aufweisen. Nur dann können die anhand von Standardabweichung und Mittelwert errechneten Grauwertverteilungen der Trainingsgebiete korrekt wiedergegeben werden.

In der hier zitierten Untersuchung (DECH 1987) wurden 13 landwirtschaftliche Nutzungskategorien, drei Bebauungskategorien sowie die Klassen „Laubwald“, „Nadelwald“, „Gewässer“ und „Freiflächen“ definiert.

8. Automatische Generalisierungsprozesse

Klassifizierte, nicht generalisierte Bilder sind oftmals dadurch gekennzeichnet, daß sie auf kleinem Raum, vornehmlich durch die im westlichen Mitteleuropa vorherrschenden kleingekammerten Landnutzungsstrukturen und den damit verbundenen, bereits oben beschriebenen, Mischsignaturen, einen stark zergliederten und daher auf den Betrachter unruhig wirkenden Gesamteindruck hinterlassen. Zudem ist diese Informationsfülle für den Interpreten schwer zu erfassen und kann somit schlecht perceptiert werden.

Aus der Analyse des hier gewonnenen Klassifizierungsergebnisses geht deutlich hervor, daß eine ganze Reihe isolierter, falsch klassifizierter Bildpunkte sowohl in landwirtschaftlich genutzten Gebieten – verstärkt jedoch im Bereich der Klassen

„Lockere Bebauung“ und „Wein“ – infolge gegenseitiger Fehlzuzuweisungen zu beobachten sind. Solche systematischen und unsystematischen Fehler können zunächst beseitigt werden bevor der Darstellungsprozeß erfolgt.

Die digitale Bildverarbeitung bietet hier die Möglichkeit, durch Verwendung eines Glättungsfilters solche fehlerhaften, isolierten Bildelemente zu eliminieren.

Der in dieser Arbeit verwendete Zentralwertfilter (Median-Filter) liefert hier sehr gute Ergebnisse (HABERÄCKER 1985).

Er vergleicht die Grauwerte in einem ausgewählten Fenster und ersetzt sie durch den zentralen Wert. Im Gegensatz zu einem gleitenden Mittelwertfilter werden bei einer Median-Filterung keine neuen Grauwerte gebildet (Abb. 4).

Durch die Verwendung unterschiedlich großer Matrizen besitzt der Bearbeiter die Möglichkeit, verschieden starke Modifizierungen der Ausgangsdaten zu bewirken.

8.1. Partielle Filterungen

ITTEN (1979) stellte in seinen Untersuchungen ein Verfahren vor, bei dem digitale Filter klasenspezifisch, nach speziellen Erfordernissen (Filterung von Randbereichen oder Zentren), Anwendung finden. In dieser Arbeit wurde versucht, beispielhaft eine partielle Filterung durchzuführen. Hierzu wurden drei Bebauungskategorien sowie die Klasse „Wein“ ausgewählt. Diese Klassen erwiesen sich mittels monotemperaler Daten und ohne Einbeziehung weiterer Zusatzdaten, etwa eines digitalen Höhenmodells, als nicht fehlerfrei trennbar.

Durch Schwellwertoperationen konnten jene Klassen separiert und danach gefiltert werden. Mittels verschiedener arithmetischer Verknüpfungen wurden sie anschließend wieder ins Gesamtbild eingefügt. Auf diese Weise können bei Bedarf gewünschte Klassen unabhängig voneinander mit digitalen Filtern geglättet oder, falls eine Filterung zur Verschlechterung des Ergebnisses führt, ausgeklammert werden.

Durch derartige Verfahren sind im Rahmen der Darstellung klassifizierter Bilder beachtliche Verbesserungen zu erreichen.

9. Integration topographischer Karteninformationen

Um die in der Arbeit gewonnenen Ergebnisse für den Interpreten lesbarer zu gestalten, ist es sinnvoll, eine Integration topographischer Karteninformationen durchzuführen.

Die Voraussetzung für die Verknüpfung derartiger Zusatzdaten muß durch die Entzerrung der Szene geschaffen worden sein.

Durch die Vielfalt der aus der Karte entnehmbaren Informationen werden in Kombination mit der spektralen Information der TM-Daten Sachverhalte verdeutlicht bzw. erweitert und so für den Interpreten leichter analysierbar.

Vor allem die Integration der Höhenlinien gestattet bei visueller Ansprache die Einbeziehung der Hangneigung und damit die Erkennbarkeit von hierdurch bedingten Reflexionsveränderungen.



Abbildung 3
Kontrastverstärkung
mit Überlagerung
L 6324 (Maßstab 1:50.000)
Topographische Karte

„Lockere Bebauung“ und „Wein“ – infolge gegenseitiger Fehlzuweisungen zu beobachten sind. Solche systematischen und unsystematischen Fehler können zunächst beseitigt werden bevor der Darstellungsprozeß erfolgt.

Die digitale Bildverarbeitung bietet hier die Möglichkeit, durch Verwendung eines Glättungsfilters solche fehlerhaften, isolierten Bildelemente zu eliminieren.

Der in dieser Arbeit verwendete Zentralwertfilter (Median-Filter) liefert hier sehr gute Ergebnisse (HABERÄCKER 1985).

Er vergleicht die Grauwerte in einem ausgewählten Fenster und ersetzt sie durch den zentralen Wert. Im Gegensatz zu einem gleitenden Mittelwertfilter werden bei einer Median-Filterung keine neuen Grauwerte gebildet (Abb. 4).

Durch die Verwendung unterschiedlich großer Matrizen besitzt der Bearbeiter die Möglichkeit, verschieden starke Modifizierungen der Ausgangsdaten zu bewirken.

8.1. Partielle Filterungen

ITTEN (1979) stellte in seinen Untersuchungen ein Verfahren vor, bei dem digitale Filter klassenspezifisch, nach speziellen Erfordernissen (Filterung von Randbereichen oder Zentren), Anwendung finden. In dieser Arbeit wurde versucht, beispielhaft eine partielle Filterung durchzuführen. Hierzu wurden drei Bauungskategorien sowie die Klasse „Wein“ ausgewählt. Diese Klassen erwiesen sich mittels monotoner Daten und ohne Einbeziehung weiterer Zusatzdaten, etwa eines digitalen Höhenmodells, als nicht fehlerfrei trennbar.

Durch Schwellwertoperationen konnten jene Klassen separiert und danach gefiltert werden. Mittels verschiedener arithmetischer Verknüpfungen wurden sie anschließend wieder ins Gesamtbild eingefügt. Auf diese Weise können bei Bedarf gewünschte Klassen unabhängig voneinander mit digitalen Filtern geglättet oder, falls eine Filterung zur Verschlechterung des Ergebnisses führt, ausgeklammert werden.

Durch derartige Verfahren sind im Rahmen der Darstellung klassifizierter Bilder beachtliche Verbesserungen zu erreichen.

9. Integration topographischer Karteninformationen

Um die in der Arbeit gewonnenen Ergebnisse für den Interpreten lesbarer zu gestalten, ist es sinnvoll, eine Integration topographischer Karteninformationen durchzuführen.

Die Voraussetzung für die Verknüpfung derartiger Zusatzdaten muß durch die Entzerrung der Szene geschaffen worden sein.

Durch die Vielfalt der aus der Karte entnehmbaren Informationen werden in Kombination mit der spektralen Information der TM-Daten Sachverhalte verdeutlicht bzw. erweitert und so für den Interpreten leichter analysierbar.

Vor allem die Integration der Höhenlinien gestattet bei visueller Ansprache die Einbeziehung der Hangneigung und damit die Erkennbarkeit von hierdurch bedingten Reflexionsveränderungen.

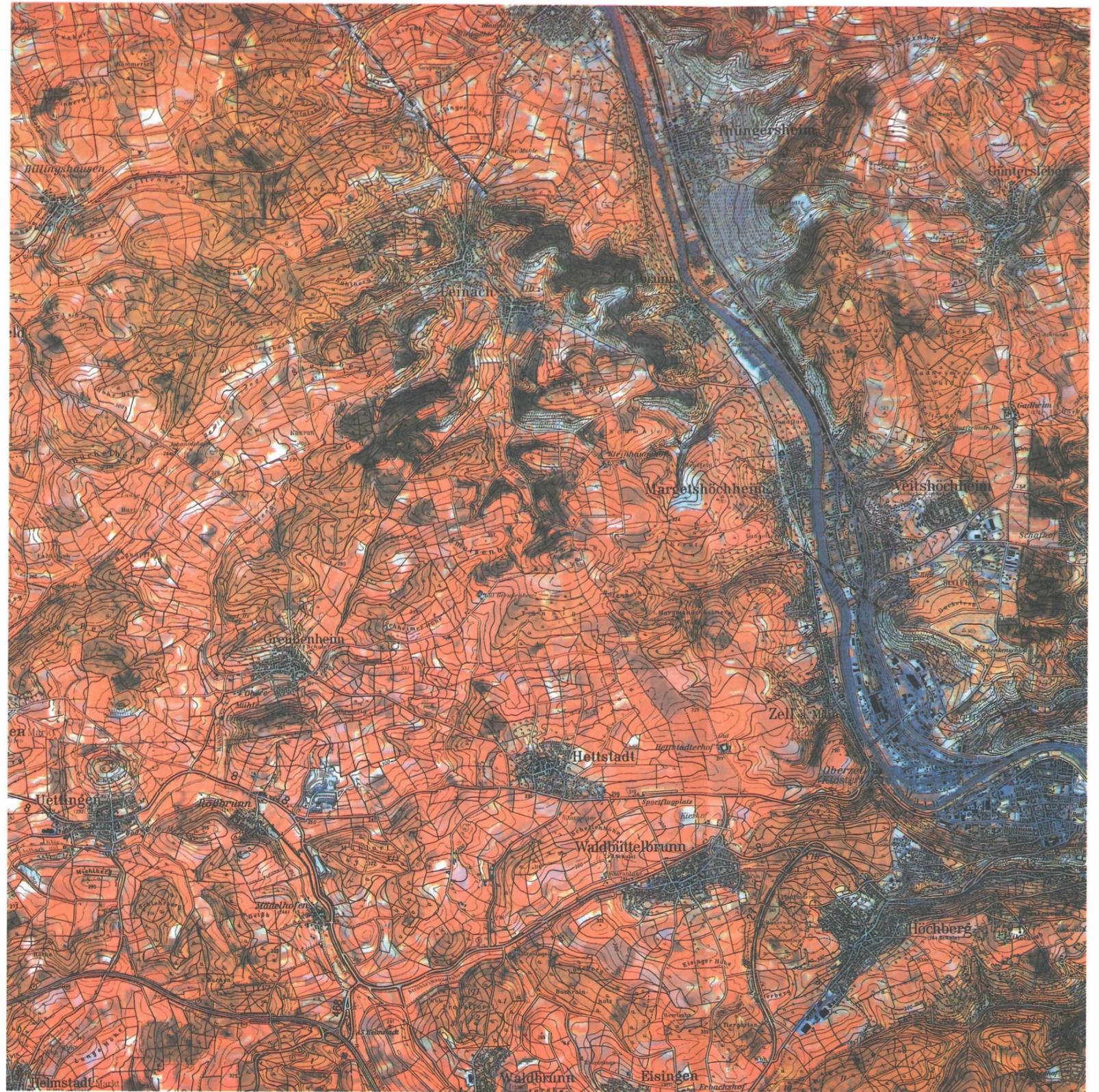


Abbildung 3

Kontrastverstärktes Farbkomposit der Kanäle TM-4, TM-5 und TM-3 mit Überlagerung topographischer Information der Karten L 6124 und L 6324 (Maßstab: 1 : 50 000).

Topographische Karte: Bayerisches Landesvermessungsamt

„Lockere Bebauung“ und „Wein“ – infolge gegenseitiger Fehlzuweisungen zu beobachten sind. Solche systematischen und unsystematischen Fehler können zunächst beseitigt werden bevor der Darstellungsprozeß erfolgt.

Die digitale Bildverarbeitung bietet hier die Möglichkeit, durch Verwendung eines Glättungsfilters solche fehlerhaften, isolierten Bildelemente zu eliminieren.

Der in dieser Arbeit verwendete Zentralwertfilter (Median-Filter) liefert hier sehr gute Ergebnisse (HABERÄCKER 1985).

Er vergleicht die Grauwerte in einem ausgewählten Fenster und ersetzt sie durch den zentralen Wert. Im Gegensatz zu einem gleitenden Mittelwertfilter werden bei einer Median-Filterung keine neuen Grauwerte gebildet (Abb. 4).

Durch die Verwendung unterschiedlich großer Matrizen besitzt der Bearbeiter die Möglichkeit, verschieden starke Modifizierungen der Ausgangsdaten zu bewirken.

8.1. Partielle Filterungen

ITTEN (1979) stellte in seinen Untersuchungen ein Verfahren vor, bei dem digitale Filter klasenspezifisch, nach speziellen Erfordernissen (Filterung von Randbereichen oder Zentren), Anwendung finden. In dieser Arbeit wurde versucht, beispielhaft eine partielle Filterung durchzuführen. Hierzu wurden drei Bauungskategorien sowie die Klasse „Wein“ ausgewählt. Diese Klassen erwiesen sich mittels monotoner Daten und ohne Einbeziehung weiterer Zusatzdaten, etwa eines digitalen Höhenmodells, als nicht fehlerfrei trennbar.

Durch Schwellwertoperationen konnten jene Klassen separiert und danach gefiltert werden. Mittels verschiedener arithmetischer Verknüpfungen wurden sie anschließend wieder ins Gesamtbild eingefügt. Auf diese Weise können bei Bedarf gewünschte Klassen unabhängig voneinander mit digitalen Filtern geglättet oder, falls eine Filterung zur Verschlechterung des Ergebnisses führt, ausgeklammert werden.

Durch derartige Verfahren sind im Rahmen der Darstellung klassifizierter Bilder beachtliche Verbesserungen zu erreichen.

9. Integration topographischer Karteninformationen

Um die in der Arbeit gewonnenen Ergebnisse für den Interpreten lesbarer zu gestalten, ist es sinnvoll, eine Integration topographischer Karteninformation durchzuführen.

Die Voraussetzung für die Verknüpfung derartiger Zusatzdaten muß durch die Entzerrung der Szene geschaffen worden sein.

Durch die Vielfalt der aus der Karte entnehmbaren Informationen werden in Kombination mit der spektralen Information der TM-Daten Sachverhalte verdeutlicht bzw. erweitert und so für den Interpreten leichter analysierbar.

Vor allem die Integration der Höhenlinien gestattet bei visueller Ansprache die Einbeziehung der Hangneigung und damit die Erkennbarkeit von hierdurch bedingten Reflexionsveränderungen.

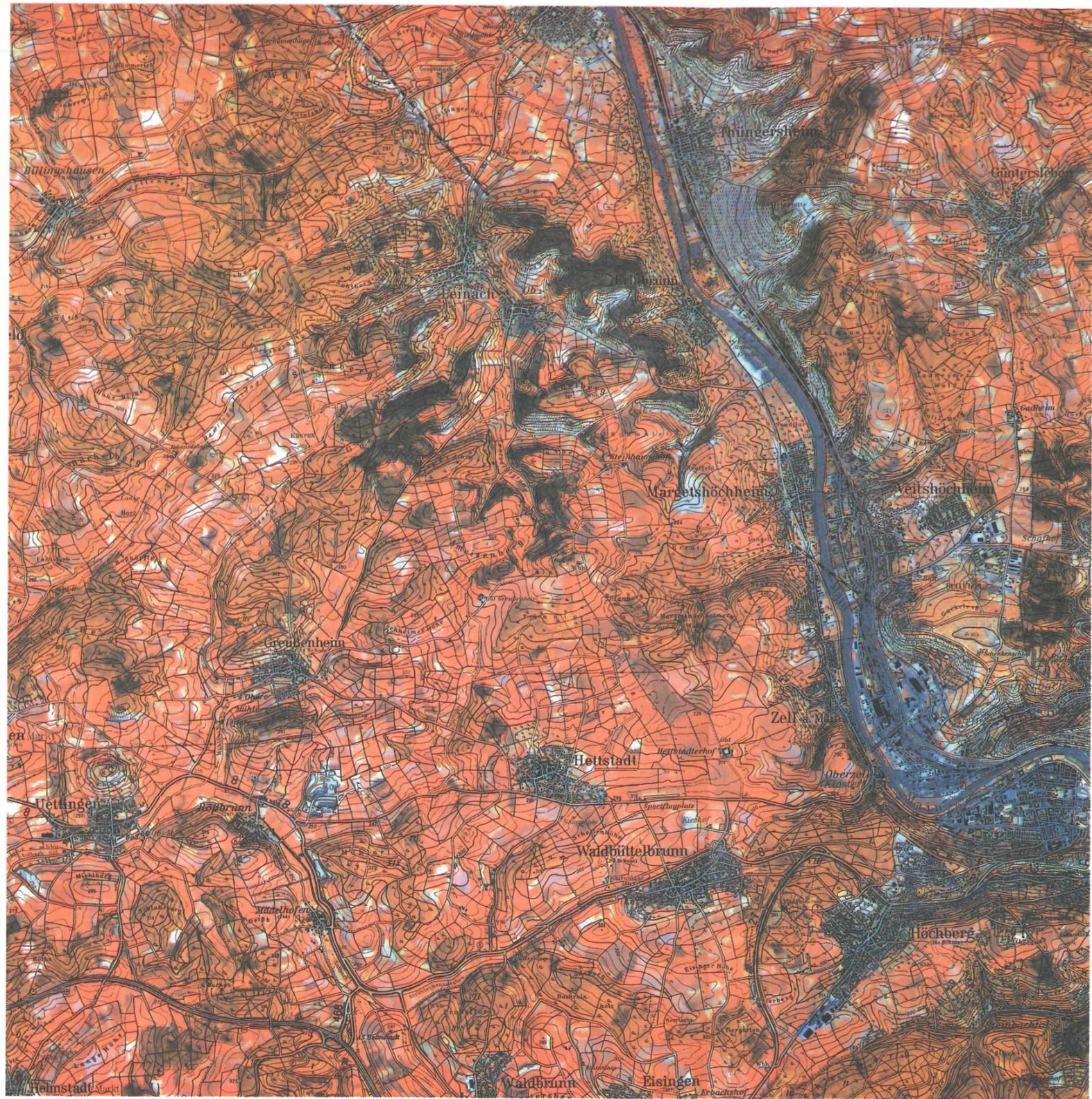
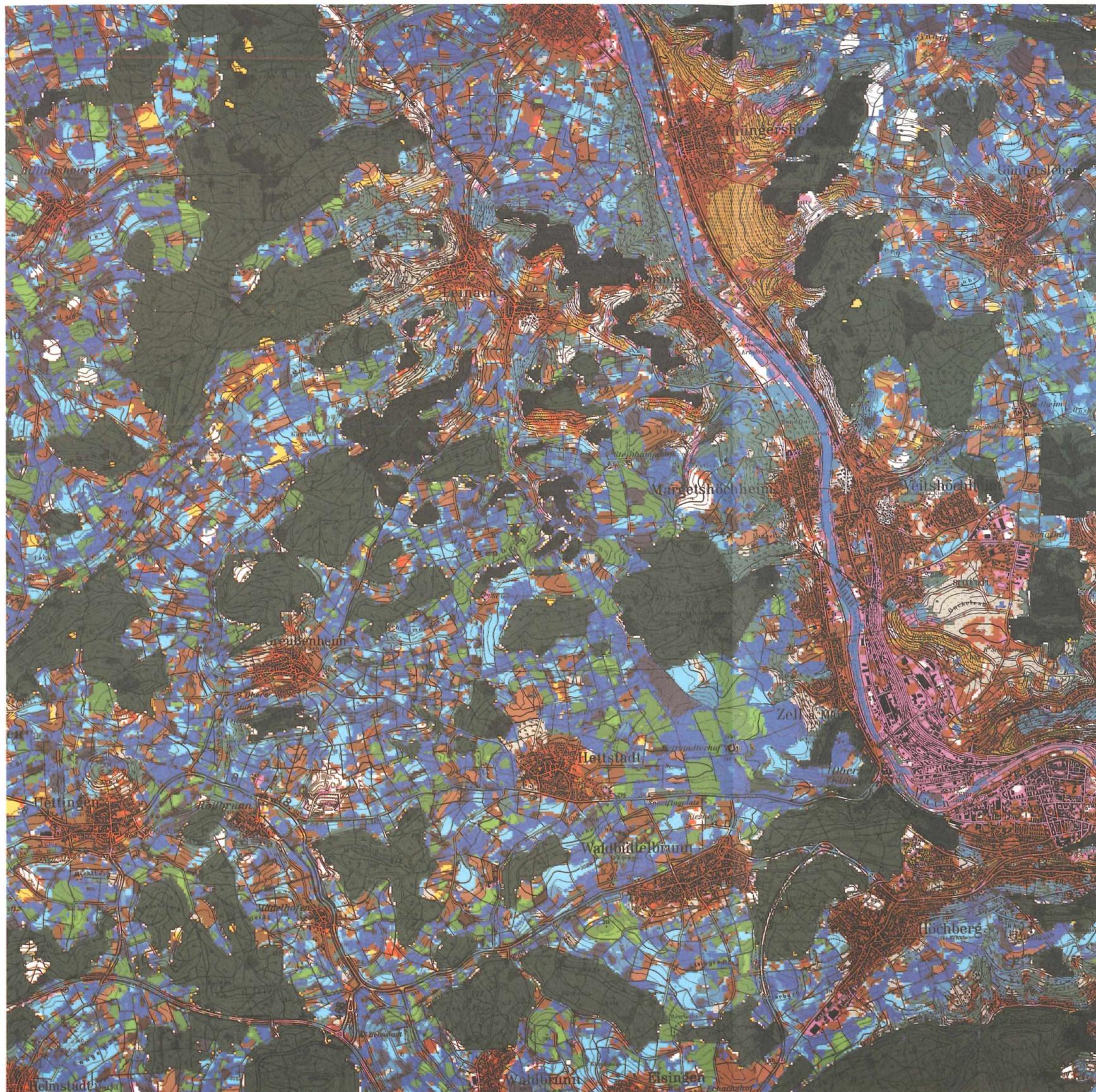


Abbildung 3

Kontrastverstärktes Farbkomposit der Kanäle TM-4, TM-5 und TM-3 mit Überlagerung topographischer Information der Karten L 6124 und L 6324 (Maßstab: 1 : 50 000).

Topographische Karte: Bayerisches Landesvermessungsamt

e für Naturschutz und La



- Nadelwald
- Laubwald
- Wald (nicht klass.)
- Mais
- Raps
- Sommerweizen
- Winterweizen
- Zuckerrüben
- Winterroggen
- Sommergerste
- Sommerg. (vernäbt)
- Wintergerste
- Hafer
- Wiese
- Wein
- Gewässer
- Versiegelte Bebauung
- Dichte Bebauung
- Lockere Bebauung
- Freiflächen
- Kartoffeln
- LICHTER Baumbestand
- Nicht klassifiziert

Abbildung 4

Zentralwertgefilterte Klassifizierung mit Überlagerung topographischer Information der Karten L 6124 und L 6324 (Maßstab 1 : 50 000).
Topographische Karte: Bayerisches Landesvermessungsamt

e für Naturschutz und La

9.1. Beurteilung des Informationsgewinns beim Farbkomposit

Der Aufwand für die Erstellung eines Produktes aus TM-Spektralinformationen und Zusatzdaten ist im Vergleich zur Klassifizierung als klein einzustufen. Dafür bietet eine solche Darstellung bereits ein hohes Maß an Informationen. Durch die Einbeziehung der Karteninformationen können die Reflexionseigenschaften der verschiedenen Oberflächenbedeckungsarten in einen sinnvollen Kontext gebracht werden. Die Integration der Kenntnisse und Erfahrungswerte des Bildinterpreten ermöglichen die Einordnung der Gesamtinformation in einen logischen Bezugsrahmen.

Der Interpret kann durch die Verknüpfung von Zusatzdaten verschiedene Spektralinformationen „lernen“, ohne vorher durch einen „Ground Check“ sich Kenntnisse verschafft zu haben. Bei der Erkennung von Siedlungskörpern ist dies durch die Ortsnamen ohnehin denkbar einfach, aber auch bei anderen Spektralinformationen ist dies möglich.

Nicht differenzieren kann der Interpret dagegen verschiedene Feldfrüchte; bestenfalls (bei diesem Aufnahmedatum) Mais, der aufgrund des hohen Bodenanteils deutlich höhere Reflexionswerte aufweist als die restlichen landwirtschaftlichen Nutzungsarten. Erhält er jedoch die Information, *was* auf welcher Parzelle angebaut ist, kann er auch hier klassifizieren (vgl. GLASER 1986).

Insgesamt steigt der Informationsgewinn eines Farbkomposites durch die Verknüpfung solcher oder ähnlicher Zusatzdaten deutlich an (vgl. Abb. 3)!

9.2. Beurteilung des Informationsgewinns beim klassifizierten, zentralwertgefilterten Bild

Eine Klassifizierung stellt im Gegensatz zu einer Kanalkombination eine starke Generalisierung der Information dar, in der bestimmte Grauwertbereiche zu Klassen zusammengefaßt und anschließend mit einer einheitlichen Farbe kodiert werden.

Diese Art der Darstellung ermöglicht dem Betrachter die Erfassung der räumlichen Verteilung der Flächennutzung im Untersuchungsgebiet.

Durch die Verknüpfung mit topographischen Informationen kann das klassifizierte Bild als Landnutzungskarte angesprochen werden. Somit kann die durchgeführte Landnutzungsklassifikation als kartenähnliches Produkt Anwendung finden (vgl. Abb. 4).

Hierdurch ergeben sich durchaus einige neue Aspekte innerhalb der kartographischen Darstellungsmöglichkeiten. Über die Unterscheidungsmöglichkeit von Laub- und Nadelwald hinaus können gerade innerhalb der Waldbereiche weitere Differenzierungen, nach Arten, Alter und Vitalitätszustand, durchgeführt werden.

Durch solche Verarbeitungen können temporäre Veränderungen in der thematischen Kartographie deutlich gemacht werden. In der Aktualität der Satellitendaten und daraus erzeugter Kartenprodukte liegt daher ein wesentlicher Vorteil gegenüber der herkömmlichen Methode der Kartenerzeugung. Dieser Aspekt wird auch im Rahmen der Gewinnung planerisch relevanter Flächendaten durch GLASER (1986) besonders betont.

Ferner muß ein weiterer Vorteil solcher Verarbeitungen im Verhältnis Aufwand/Kosten gesehen werden.

Auch ist die Unterscheidung vegetationsloser Flächen und grüner Vegetation gegeben und kann somit einen Beitrag zur Erfassung dynamischer Prozesse in intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten liefern. Als weiteres Beispiel kann auch die Verwendung von Satellitenkarten zur Darstellung von Bebauung in dicht besiedelten Regionen angeführt werden.

Nicht vergessen werden dürfen die Anwendungsbereiche bei der Erfassung von Schneeflächen und ihrer dynamischen Entwicklung.

Die vielen Publikationen aus diesem Themenkreis verdeutlichen die Bedeutung derartiger Untersuchungen. (Vor allem die Gruppe um HÄFNER beschäftigt sich seit 15 Jahren mit Schneekartierungen mittels Methoden der Fernerkundung.)

Nachteilig wirken sich vor allem die spektrale Unterscheidungsmöglichkeit verschiedener Objekte, die Nichterfassung vorkommender Landnutzungstypen sowie aufnahmebedingte Fehlklassifizierungen aus.

Literatur

CURRAN, P. (1980): Multispectral Remote Sensing of Vegetation Amount. – Prog. i. Physic. Geogr. **4** (3): 315 – 341.

DECH, S. W. (1987): Erfassung der Landnutzungsstrukturen nordwestlich Würzburg anhand digitaler, multispektraler LANDSAT-5-Thematic-Mapper-Daten. – DFVLR-FB **87 – 37**, 184 S.

GLASER, R. (1986): Fernerkundung mit Landsat-5-Thematic-Mapper. Anwendungsmöglichkeiten am Beispiel von Würzburg und Umgebung, auch unter Berücksichtigung verschiedener Planungsebenen. DFVLR-FB **86 – 62**, 128 S.

GUCK, U. (1986): Auswertung von digitalen, multitemporalen LANDSAT-5-Thematic-Mapper-Daten zur Erfassung der Schneefläche und anderer Oberflächenarten im hinteren Ötztal unter besonderer Berücksichtigung der wasserwirtschaftlichen Bedeutung von Schneeflächendaten. – DFVLR-FB **86 – 46**, 166 S.

HABERÄCKER, P. (1977): Untersuchungen zur Klassifizierung multispektraler Bilddaten aus der Fernerkundung. – DLR-FB **77 – 72**, 134 S.

HABERÄCKER, P. (1985): Digitale Bildverarbeitung. – München-Wien, 377 S.

HABERÄCKER, P., KIRCHHOF, W., KRAUTH, E., KRITIKOS, G. & WINTER, R. (1979): Auswertung von Satellitendaten zur Gewinnung von Flächennutzungsdaten. – Schriftenr. d. Bundesm. f. Raumord. u. Städtebau **06.39**, 133 S.

HAYDN, R. & VOLK, P. (1987): Erkennung von Umweltproblemen in Luft- und Satellitenbild. – Geogr. Rundsch. **39** (6): S. 316 – 323.

ITTEN, K. I. (1979): Großräumige Inventuren mit Landsat-Erderkundungssatelliten in der Schweiz. – Habilitationsschrift an der Philosophischen Fakultät II der Univ. Zürich, Serie **B 818**, 87 S.

KIRCHHOF, W., MAUSER, W. & STIBIG, H.-J. (1985):

Untersuchung des Informationsgehaltes von Landsat-Thematic-Mapper- und SPOT-Multiband Bilddaten mit simulierten multispektralen Bilddaten des Gebietes Freiburg. - DFVLR-FB 85 - 49, 142 S.

MURI, R. (1981):

Verfahren zur großräumigen, automatisierten Klassifikation von Schnee. Ein Beitrag zur Auswertung multispektraler Fernerkundungsdaten. - Arb. a. d. geogr. Inst. Univ. Zürich, 159 S.

PODWYSOCKI, M. H., SALISBURY, J. W., BENDER, L. V., JONES, D. D. & MIMMS, D. L. (1983): Analysis of Landsat-4 TM Data for lithologic and Image Mapping purposes. - NASA Conf. Publ. 2326: 35 - 39.

THOMPSON, D. R., HENDERSON, K. E., HOUSTON, A. G. & PITTS, D. E. (1983):

Evaluation of Landsat Thematic Mapper for Vegetated Alluvial Soils Information. - Int. Geosc. a. Rem. Sens. Symp. (IGARSS), San Francisco: 1.1. - 1.5.

Anschrift des Verfassers:

Stefan W. Dech
Dipl.-Geograph
Deutsche Forschungsanstalt
für Luft- und Raumfahrt e. V.
Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum
D-8031 Weßling (Oberpfaffenhofen)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1990

Band/Volume: [1_1990](#)

Autor(en)/Author(s): Dech Stefan

Artikel/Article: [Methodische Möglichkeiten mit Thematic-Mapper-Daten, dargestellt anhand einiger Verarbeitungen aus dem Raum Würzburg 11-22](#)