

# DIGITALE VERARBEITUNG VON FARB-INFRAROT-LUFTBILDERN

Bisherige Erfahrungen mit dem Bildabtaster "Optronics"

W. Schneider und H. Plank

Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung  
Universität für Bodenkultur

## Zusammenfassung

Es werden einige Verfahren der digitalen spektralen Verarbeitung und Auswertung photographischer Farb-Infrarot-Luftbilder mit Hilfe des Bildabtasters Optronics Colormation C 4500 beschrieben.

Schlüsselwörter: Farb- Infrarot-Luftbilder, digitale Verarbeitung, Optronics

## Summary

Methods of digital spectral processing and evaluation of colour-infrared aerial photographs using the Optronics Colormation C 4500 image scanner are described

Keywords: CIR aerial photos, digital processing, Optronics

## Einleitung

Photographische Luftbilder und insbesondere auch Farb-Infrarot-Luftbilder werden im allgemeinen durch bloße visuelle Interpretation ausgewertet. Dabei kann aus der Fülle der im Farbbild enthaltenen Informationen aus folgenden Gründen nur ein kleiner Teil erfaßt werden:

- a) Dem menschlichen Photointerpreten ist es nicht möglich, ohne apparative Hilfsmittel Schwärzungen und Farbdichten quantitativ zu erfassen. Durch eine Vielzahl "optischer Täuschungen" kommt der menschliche Betrachter oft sogar zu völlig falschen Beurteilungen von Schwärzungs- und Farbbeziehungen zwischen Objekten auf demselben photographischen Bild.
- b) Auch die im Luftbild erkennbare Feinstruktur (Textur) eines Objektes oder einer Nutzungsart kann nur mit rechnergestützten, auf radiometrischen Messungen am Luftbild beruhenden Methoden quantitativ und objektiv erfaßt werden allerdings mit einem gegenüber der reinen Farbdichteauswertung

wesentlich höheren Aufwand an gerätetechnischen Mitteln und an Software

- c) Die Kontrast- und Farbwiedergabe auf einem photographischen Bild hängt von einer Vielzahl von Parametern ab, die nur bei rechnergestützter Auswertung durch sorgfältige quantitative, auf Referenzmessungen beruhende Modellbeschreibung des gesamten photographischen Prozesses berücksichtigt werden können. Bei visueller Interpretation können diese Parameter nicht in den Auswertevorgang miteinbezogen werden, sodaß die vergleichbare Interpretation von Luftbildern verschiedener Aufnahmzeitpunkte (meteorologischer Bedingungen), verschiedener Film- oder Entwicklungschargen, verschiedener Kamerasysteme, usw. kaum möglich ist.
- d) Bei größeren Projekten, bei denen die zeitraubende, ermüdende Routine- Interpretationsarbeit den Einsatz mehrerer Interpreten erfordert, kommt es zu Problemen der Abstimmung und der Vereinheitlichung der Interpretation, wenn die thematische Differenzierung zu weit getrieben wird.

Aus den genannten Gründen wurden vielfach Versuche durchgeführt, die Luftbildinterpretation durch densitometrische Messungen an Luftbildern zu unterstützen ( 1, 5-7, 9, 11-13, 15-17, 21 ) Diese Versuche sind bisher jedoch kaum bis zur operationellen Verwendung weiterentwickelt worden.

Insbesondere wird immer wieder die Erfahrung bestätigt, daß die Gesamtauswertung von Luftbildern niemals einem vollautomatischen Auswertesystem übertragen werden kann. Die Interpretation der Daten muß in letzter Konsequenz vielmehr in jedem Fall dem Anwenderspezialisten ( Geologen, Hydrologen, Bodenkundler, Botaniker, Forstwirt, usw. ) überlassen werden, da nur er die komplexen Erscheinungen und Wechselwirkungen ( physikalischer, chemischer, geologischer, biologischer Art ) in unserer Umwelt in ausreichendem Maße überschaut, um auch nicht unmittelbar luftbildsichtbare Erscheinungen und funktionale Zusammenhänge in den Interpretationsprozeß miteinzubeziehen.

Nach diesen Erfahrungen und auf Grund der allgemeinen Entwicklungs-trends in der Computerindustrie zu größeren Rechengeschwindigkeiten, höherem Durchsatz und zunehmender Speicherkapazität der digitalen Rechnersysteme zeichnen sich für die Zukunft zwei Möglichkeiten der objektivierten, quantitativen Luftbildinterpretation ab:

Methode 1:

Umarbeitung des Luftbildmaterials auf standardisierte und thematisch verschärzte Bilder, mit nachfolgender visueller Interpretation. Durch die Standardisierung werden die unerwünschten, die Interpretation störenden Einflüsse (siehe obigen Punkt c) kompensiert. Die thematische Verschärfung ermöglicht dem Photointerpreten eine visuelle quantitative Beurteilung der relevanten Farb- und Texturabstufungen (siehe obige Punkte a) und b) )

## Methode 2:

Weitgehend automatisierte Auswertung der Luftbilder einschließlich automatischer Herstellung einer thematischen Karte, wobei der Photointerpret jedoch ständig den Auswertevorgang überwachen und steuernd eingreifen kann.

Im vorliegenden Beitrag werden einige Verfahren zur digitalen thematischen Auswertung photographischer Luftbilder an Beispielen aus dem Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung beschrieben. Es handelt sich dabei durchwegs um rein spektrale Verarbeitungen von Farb-Infrarot-Luftbildern. Die Digitalisierung der Bilder bzw. die Erzeugung von Bildern aus digitalen Daten wurde mit Hilfe des Bildabtasters Optronics Colormation C 4500 durchgeführt. Die digitale Verarbeitung erfolgte, soweit sie nicht an diesem Gerät selbst durchgeführt werden kann, am Rechenzentrum an der TU Wien.

Aus drucktechnischen Gründen können die bei der mündlichen Präsentation des Beitrages gezeigten Farbbilder hier nicht wiedergegeben werden.

### Digitalisierung und Bilderzeugung

Zur digitalen Verarbeitung eines Bildes in einem Rechner muß die Bildinformation in computer-kompatible Form umgewandelt werden. Dazu werden die Grauwerte bzw. Farbwerte des Bildes an rasterförmig angeordneten Punkten in Zahlenform dargestellt. Zur Rekonstruktion eines Bildes aus den digitalen Daten werden Bildelemente entsprechender Grau- bzw. Farbwerte in Rasterform angeordnet.

Wenn keine Bildinformation verloren gehen soll, muß die Maschenweite dieses Rasters nach dem Abtasttheorem (4, 19) so fein gewählt werden, daß sie den halben Reziprokwert der höchsten im Bild vorkommenden Ortsfrequenz nicht übersteigt. Diese Beziehung gilt allerdings nur für den Fall einer optimalen Rekonstruktion des Bildes mit einer aufwendig zu realisierenden Rekonstruktionsfunktion. Bei einer Bilddarstellung durch einfaches Nebeneinanderreihen von Bildelementen entsprechender Grau- bzw. Farbwerte muß die Maschenweite noch um einen Faktor von etwa 1,5 kleiner gewählt werden (2). Für Luftbilder mit einem räumlichen Auflösungsvermögen von 50 Linienpaaren /mm wird daher theoretisch ein  $10 \mu\text{m}$  Abtastraster, praktisch ein Abtastraster von etwa  $7 \mu\text{m}$  gefordert.

Diese hochauflösende Abtastung würde bei einem  $23 \times 23 \text{ cm}$  Farbbild eine Datenmenge von über 3 Milliarden Zahlenwerten und damit einen bei den gegenwärtigen gerätetechnischen Möglichkeiten kaum vertretbaren Aufwand an Zeit für die Digitalisierung sowie an digitaler Speicherkapazität ergeben. Man begnügt sich daher in der Praxis mit weniger feinen Abtastrastern und nimmt einen entsprechenden Verlust an Detailinformation in Kauf.

Am Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung wird für Digitalisierung und Bilderzeugung ein Optronics Colormation C 4500 Trommelabtaster (14) mit folgenden Spezifikationen verwendet:

Bildformat	maximal 23 cm x 23 cm
Rasterweite	wahlweise 25 $\mu$ m, 50 $\mu$ m, 100 $\mu$ m
Positioniergenauigkeit	10 $\mu$ m über das gesamte Bildfeld
radiom. Auflösung	8 bit ( 256 Graustufen )
radiom. Genauigkeit	ca. 6 bit ( 64 Graustufen )
Geschwindigkeit	maximal ca. 20 000 Bildelemente / Sekunde

Für die Verarbeitung von Farbbildern können durch Verwendung vor- schaltbarer Farbfilter sequentiell die drei Farbauszüge Rot, Grün und Blau digitalisiert bzw. erzeugt werden.

Die Aufzeichnung bzw. Zuführung der digitalen Daten erfolgt über Magnetband. Es sind u.a. folgende Datenübertragungen möglich:

Film  $\rightarrow$  Magnetband (Digitalisierung)  
Magnetband  $\rightarrow$  Film (Bilderzeugung, z.B. von digital aufgezeich-  
neten Satellitendaten)  
Film  $\rightarrow$  Film (mit dazwischenliegender Manipulation der  
digitalen Daten)

Mit Ausnahme der Geschwindigkeit sowie des Minimalwertes der Raster- weite erfüllen die oben angegebenen Systemparameter bei weitem alle Anforderungen an ein Bild-Lese- und Schreibgerät für Zwecke der the- matischen Auswertung photographischer Luftbilder. Die Geschwindigkeit kann jedoch bestenfalls für die Rasterweite 100  $\mu$ m als ausreichend an- gesehen werden. Schon bei 50  $\mu$ m Rasterweite benötigt man zur Er- zeugung eines 23 x 23 cm Farbbildes bei Verwendung von Übertragungs- funktionen (siehe unten) fast 4 Stunden.

### Übertragungsfunktionen

Die einfachste Form digitaler Verarbeitung von Bilddaten, die am Bild- Lese- und Schreibgerät selbst durchgeführt werden kann, ist die Mani- pulation der Grau- bzw. Farbwerte eines Bildes durch sogenannte Über- tragungsfunktionen.

Eine Übertragungsfunktion ordnet jedem der 256 möglichen Grauwerte eines Eingabebildelementes einen bestimmten Grauwert des entsprechen- den Ausgabebildelementes zu. Damit sind beliebige Kontrastmanipula- tionen an Bildern möglich (Abb. 1). Im Rahmen der Projekte am Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung werden diese Übertra- gungsfunktionen vor allem für folgende Zwecke verwendet.

- a) Anpassung von digitalen Bilddaten an die Schwärzungskurven (charakteristischen Kurven) photographischer Filme:  
In dem in Abb. 2 gezeigten Beispiel bestand die Aufgabe, ein

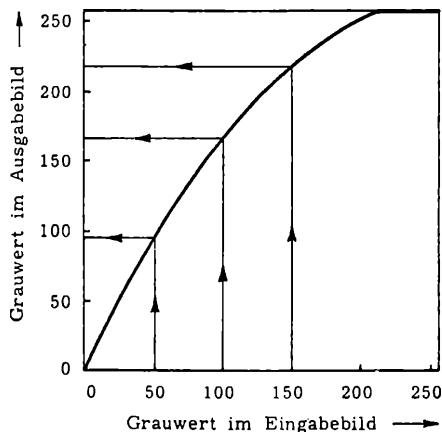


Abb. 1: Übertragungsfunktion. Bereiche niedriger Grauwerte werden mit hohem Kontrast, Bereiche hoher Grauwerte mit niedrigerem Kontrast übertragen.

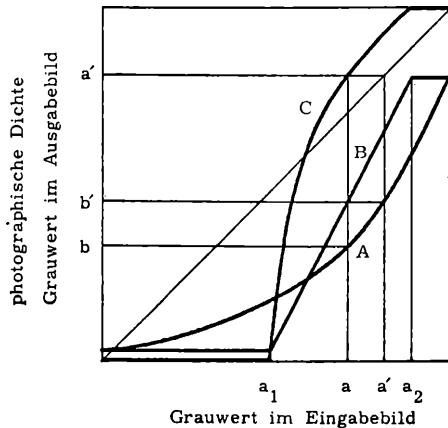


Abb. 2: Anpassung digitaler Bilddaten an die Schwärzungskurve A eines photographischen Films. Durch Verwendung der Übertragungsfunktion C wird die zwischen den digitalen Grauwerten  $a_1$  und  $a_2$  lineare "effektive Schwärzungskurve" B erreicht. a ergibt ohne Übertragungsfunktion die Dichte b. Um die gewünschte Dichte  $b'$  zu erhalten, muß a durch die Übertragungsfunktion in  $a'$  umgewandelt werden.

digital gegebenes Bild, dessen relevante Bildinformation im Intervall zwischen den digitalen Grauwerten  $a_1$  und  $a_2$  liegt, auf photographischem Film darzustellen, wobei im Grauwertintervall  $(a_1, a_2)$  eine lineare Zuordnung von digitalem Grauwert zu photographischer Dichte herzustellen war. Das kann bei bekannter Schwärzungskurve des photogr. Films mit der angegebenen Übertragungsfunktion erreicht werden.

- b) Kontrasterhöhung durch Histogrammverebnung: In unbearbeiteten Bildern kommen im allgemeinen die einzelnen Grauwerte mit verschiedener Häufigkeit vor. Eine sehr effektive Kontrastverbesserung über die gesamte Fläche eines Bildes kann oft mit jener Übertragungsfunktion erreicht werden, die eine gleichverteilte Grauwert-Häufigkeit im Ausgabebild bewirkt (siehe z.B. 18)
- c) Äquidensitendarstellung, density slicing Stellt man alle Grauwerte, die im Eingabebild innerhalb eines gewissen Grauwertintervalls liegen, im Ausgabebild als konstanten Grauwert dar (Abb. 3), so entsteht ein Äquidensitenbild. Äquidensitenbilder ermöglichen auch bei visueller Interpretation eine objektive Differenzierung verschiedener Grauwerte oder auf Farbbilder angewendet verschiedener Farbabstufungen. Als besonders nützlich haben sich Äquidensiten bei der quantitativen Beurteilung von kontinuierlich variierenden Farbnuancen erwiesen, wie sie auf Luftbildern landwirtschaftlicher Flächen zur flächenmäßigen Abgrenzung verschiedener Bodenarten auszuwerten sind.

### Farbkanalkombinationen

Ist das Ausgabebild eine Funktion von mindestens zwei der drei Farbannteile ( "Farbkanäle" ) Blau, Grün, Rot des Eingabebildes, so spricht man von Farbkanalkombinationen. Sie können nicht am Optronics-System selbst verwirklicht werden, da hier nicht genügend Speicher mit direktem Zugriff für die sequentiell auf Magnetband aufgezeichneten ( bzw. bei der Digitalisierung sequentiell anfallenden ) Farbkanäle vorhanden ist.

Ein Beispiel für die Anwendung einer einfachen linearen Kombination zweier Farbkanäle ist in Abb. 4 illustriert: Eb bestand die Aufgabe, die kleinen Farbdifferenzen zwischen gesunden und immissionsgeschädigten Beständen auf einem forstlichen Farb-Infrarot-Luftbild für eine visuelle Interpretation zu verstärken. Dieses Problem ist durch Äquidensitendarstellung nicht zu lösen, da auf dem Originalbild neben den schädigungsbedingten Farbtondifferenzen (gesunde Bestände: schwach rötlich, geschädigte Bestände: bläulich) ein starkes Helligkeitsgefälle zwischen Bildmitte und Bildrand gegeben ist. Eine Darstellung der Farbdichtewerte verschiedener Probeflächen in einem zweidimensionalen Farbraum ( Abb. 4 ) zeigt jedoch, daß gesunde und geschädigte Bestände, unabhängig von

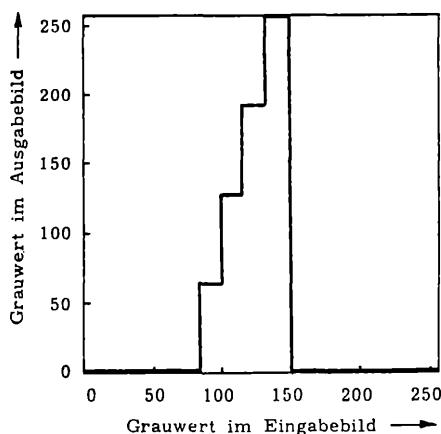


Abb. 3: Übertragungsfunktion zur Herstellung eines Äquidensitenbildes.

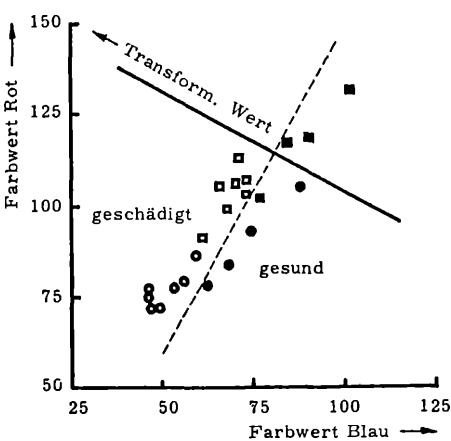


Abb. 4: Lineare Transformation der Farbwerte Blau und Rot zur Trennung gesunder und geschädigter Forstbestände. Die Minima der Farbdichten der Probeflächen sind mit Kreisen, die Mittelwerte mit Quadraten gekennzeichnet.

ihrer Helligkeit, durch eine gerade Trennungsline eindeutig separierbar sind. Führt man als neuen Dichtewert die Koordinate auf einer zu dieser Trennungsline senkrecht stehenden Achse ein, so ist dieser Wert ein Maß für die Schädigung. Eine Darstellung dieses Wertes in Bildform (z.B. farbkodiert) ermöglicht eine klare Erkennung der räumlichen Ausdehnung der Immissionsschäden.

### Multispektrale Klassifizierung

Neben linearen Kombinationen verschiedener Farbkanäle können auch kompliziertere Transformationen durchgeführt werden. Ordnet die Transformation jedem Bildelement allein auf Grund der drei Farbdichtewerte des betreffenden Elements eine bestimmte Objektklasse (Nutzungsart, Bodenart, Vegetationsklasse usw.) zu, so handelt es sich um eine multispektrale Klassifizierung. Das Ausgabebild stellt, gegebenenfalls nach geeigneter geometrischer Entzerrung, eine thematische Karte dar.

Eine sehr effektive Form der multispektralen Klassifizierung ist die Zuordnung nach dem Kriterium der minimalen Mahalanobis-Distanz (3) zu den Klassenmittelpunkten (8). Dazu werden zunächst an Hand von Probeflächen, deren Klassenzugehörigkeit auf Grund terrestrischer Untersuchungen bekannt ist, die Häufigkeitsverteilungen der Farbdichtewerte im 3-dimensionalen Farbdichteraum ermittelt. Unter Annahme normalverteilter Farbdichten können dann für jedes Bildelement mit unbekannter Klassenzugehörigkeit die Wahrscheinlichkeiten dafür berechnet werden, daß dieses Bildelement den einzelnen Klassen angehört. Das Bildelement wird schließlich jener Klasse zugeschlagen, für welche die Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit ein Maximum (die Mahalanobis-Distanz zum Klassenmittelpunkt ein Minimum) ist.

Abb. 5 zeigt ein Beispiel zweidimensionaler Farbdichte-Häufigkeitsverteilungen von Probeflächen verschiedener Pflanzengesellschaften auf einem Farb-Infrarot-Luftbild aus dem Hochgebirge. Die terrestrischen Daten zur Identifizierung dieser Probeflächen wurden von P. Heiselmayer, Botanisches Institut der Universität Salzburg, beigestellt. Das Diagramm zeigt, daß die angegebenen Pflanzengesellschaften auf Grund ihrer Farbe auf dem Luftbild mit im allgemeinen hoher Trennschärfe identifizierbar sind. Mit Hilfe der Parameter dieser Verteilungen konnte aus dem Luftbild auf automatischem Weg eine thematische Vegetationskarte des betreffenden Gebietes hergestellt werden.

### Ausblick

Ein großes Problem bei allen quantitativen Luftbildauswertungen stellt die Sichtwinkelabhängigkeit fast aller spektralen Merkmale dar: Jede Fläche auf einem Luftbild erscheint je nach dem Sichtwinkel, unter dem sie zum Aufnahmepunkt von der Kamera erfaßt wurde, und in Abhängigkeit von der Richtung der beleuchtenden Sonnenstrahlung in verschiedenen

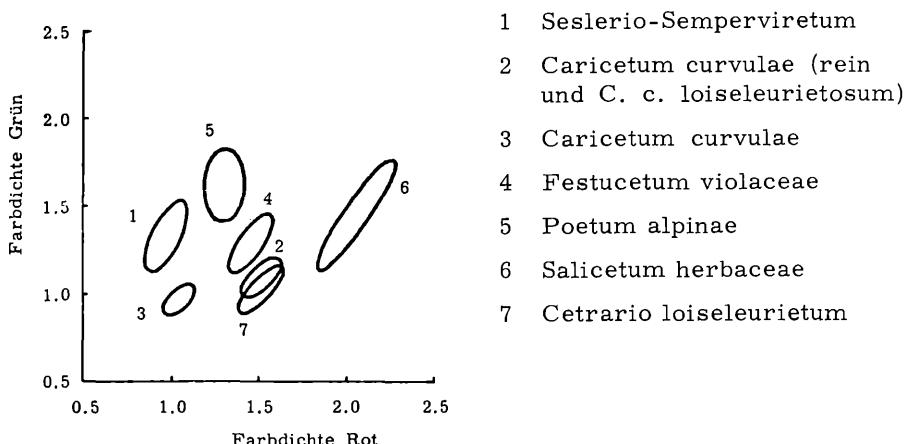


Abb. 5: Zweidimensionale Farbdichte-Häufigkeitsverteilung von Probeflächen verschiedener Pflanzengesellschaften des Hochgebirges (Ein-Sigma-Grenzen der Normalverteilungen)

Grautönen bzw. Farbnuancen. Am Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung wird daher an Methoden gearbeitet, diese Sichtwinkel-einflüsse quantitativ zu bestimmen, um sie bei der Auswertung berücksichtigen zu können (20). Weitere für eine objektivierte Luftbildauswertung wesentliche Problemkreise betreffen die Einbeziehung topographischer Daten in den Auswertevorgang (10) sowie die Verwendung von Texturparametern.

#### Literatur

- 1 AKCA, A., 1970: Eine Untersuchung zur Unterscheidung und Identifizierung einiger Objekte auf Schwarz-Weiß-Luftbildern durch quantitative Beschreibung der photographischen Textur. Diss., Universität Freiburg.
- 2 BÄHR, H.-P., 1980: Einsatz digitaler Bildverarbeitung in der klassischen Photogrammetrie am Beispiel eines Architekturobjektes. Bildmessung und Luftbildwesen, Bd. 48, S. 85 – 93:
- 3 BOCK, H.H., 1974: Automatische Klassifikation. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, S. 40
- 4 BRACEWELL, R., 1965: The Fourier Transform and its Applications. Mc Graw-Hill, New-York

- 5 CAGIRICI, M., 1980: Untersuchungen zur Klassifizierung von Baumschäden mit Farbmeßgeräten. ISP-Congress Hamburg. Int. Arch. of Photogrammetry, vol. 23, part B 7, p. 112-121
- 6 DOVERSPIKE, G.E., FLYNN, F.M., HELLER, R.C., 1965: Microdensitometer Applied to Land Use Classification Photogrammetric Engineering, vol. 31, p. 294-306
- 7 KLOOSTER, S.A., SCHERZ, J.P., 1974: Water Quality by Photographic Analysis. Photogrammetric Engineering, vol. 40, p. 927-935
- 8 KRAUS, K., 1979: Zur Theorie der Klassifizierung multispektraler Bilder. Bildmessung und Luftbildwesen, Bd. 47, S. 119 128
- 9 KRAUTH, E., 1980: Abschätzung des Ernteertrages von Getreide aus Luftaufnahmen. ISP-Congress Hamburg. Int. Arch. of Photogrammetry, vol. 23, part B8, p 503-510
- 10 LARSSON, J., 1980: The Use of a DTM in a Digital Multispectral Analysis. ISP-Congress Hamburg. Int. Arch. of Photogrammetry, vol. 23, part B8, p. 530-537
- 11 LILLESAND, T.M., MANION, P.D., EAV, B.B., 1978: Quantification of Urban Tree Stress Through Microdensitometric Analysis of Aerial Photography. State University of New York, College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, New York
- 12 MASUMY, S.A., HILDEBRANDT, G., 1978: Einfluß von Sensor, Bildmaßstab und Bildort auf die Texturmerkmale von Waldbeständen. ISP-IUFRO-Symp. Freiburg. Int. Arch. of Photogrammetry, vol. 22-7, p. 455-471
- 13 MAURER, H., 1978: Automatische Landnutzungskartierung mit Hilfe von Infrarot-Farbluftbildern. ISP-IUFRO-Symp. Freiburg. Int. Arch. of Photogrammetry, vol. 22-7, p. 1465-1473
- 14 MONTUORI, J. S., 1980: Image Scanner Technology. Photogrammetric Engineering, vol. 46, p. 49 61
- 15 PIECH, K. R., et al., 1977: Terrain Classification Using Color Imagery. Photogrammetric Engineering, vol. 43, p. 507 513
- 16 ROHDE, H., 1976: Zur Frage der Erkennbarkeit von Schädigungen an Kiefern Kronen im Infrarot-Farbluftbild. Remote Sensing in Forestry. Proc. of Symp. held during the 16.IUFRO World Congress, Oslo, p. 403 420
- 17 ROSENFIELD, A., 1962: Automatic Recognition of Basic Terrain Types from Aerial Photographs. Photogrammetric Engineering, vol. 28, p. 115 132
- 18 SABINS, F.F., 1978: Remote Sensing. Principles and Interpretation. W.H. Freeman and Company, San Francisco, p. 253
- 19 SCHNEIDER, W., FINK, W., 1976: Integral Sampling in Optics Optica Acta, vol. 23, p. 1011-1028.

- 20 SCHNEIDER, W., LANTSCHNER, A., 1980: Object-Dependent Spatial Variations of Spectral Signatures on Infrared Colour Aerial Photographs. ISP-Congress Hamburg. Int. Arch. of Photogrammetry, vol. 23, part B8, p. 819-828
- 21 TZSCHUPKE, W., 1973: Farbmessungen an Luftbildern für vegetationskundliche Zwecke. Bildmessung und Luftbildwesen, Bd. 41, S. 12-20