Jürgen Nithack

Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V., Weßling/Obb.

DER EINSATZ DER FERNERKUNDUNG ZUR LÖSUNG PFLANZENBAULICHER PROBLEME

1. Einleitung

Fernerkundung (remote sensing) der Erde bedeutet "berührungsloses Messen der von der Erdoberfläche ausgehenden elektromagnetischen Strahlung zum Zweck, Objekte und Vorgänge auf der Erde zu erkennen." Strahlungsquellen sind die Sonne, der Kosmos, Sender und die Erde selbst. Durch Wechselwirkung der Strahlung mit der Erdoberfläche kommt es zu Reflexion (im sichtbaren Bereich 0,4 - 0,76 µm und im nahen Infrarot 0,76 - 1,3 µm), zu Emission (im thermalen Bereich: mittleres Infrarot 2,5 - 5,5 µm und fernes Infrarot 8 - 14 µm) und zu Emission und Rückstreuung im Mikrowellenbereich (Millimeter- bis Dezimeterbereich).

Sensoren, die auf stationären Plattformen, in Flugzeugen oder Satelliten montiert sind, empfangen die von der Erdoberfläche kommende Strahlung breit- oder schmalbandig in einem oder mehreren Wellenlängenintervallen (Spektralbereichen). Die empfangene Strahlungsenergie wird dazu benützt, ein Abbild (fotografisch oder numerisch) der Erdoberfläche zu erzeugen. Dieses Abbild entspricht also streng genommen nur der Strahlungsmenge (in einem bestimmten Spektralbereich), die von den einzelnen Flächenelementen der Erdoberfläche ausgehen. Das Abbild entspricht um so mehr der menschlichen Erfahrung, je besser das geometrische Auflösungsvermögen des Sensors ist, d.h. je genauer die "strahlenden" Flächen begrenzt sind.

Während der Mensch Objekte nach spektraler Information und vor allem Form und Textur anhand seiner Erfahrung identifiziert, ergibt die Auswertung von Fernerkundungsdaten zunächst nur die Verteilung von Strahlungsintensitäten. Um die Strahlungsintensitäten zu interpretieren, hat sich der fernerkundende Mensch durch Experimentalprogramme einen neuen Erfahrungsschatz angelegt, der ständig erweitert wird dadurch, daß nicht sichtbare Spektralbereiche genutzt werden. Dieser neue oder erweiterte Erfahrungsschatz macht es möglich, daß einerseits "Fernerkundungsbilder" direkt visuell interpretiert, d.h. Objekte und Gegebenheiten identifiziert werden können, daß andererseits ein Rechner, gefüttert mit den erweiterten menschlichen Erfahrungen, weitgehend die Auswertung der Fernerkundungsdaten ausführen kann. Damit dies routinemäßig erfolgen kann, müssen rechnerisch Korrekturen der Parameter erfolgen, die das Fernerkundungssignal verfälschen oder relativieren (bezogen auf ein enges Gebiet und auf einen Aufnahmezeitpunkt): die Morphologie des Geländes, die Beleuchtungs- und Aufnahmewinkel, die Atmosphäre, deren dichtester Teil zweimal von den elektromagnetischen Wellen durchlaufen wird (Strahlungsquelle - Erdoberfläche - Sensor) und letztlich auch die Verfälschungen, die durch den Sensor auftreten (z.B. geometrische Verzerrung). Abbildung 1 zeigt das oben Gesagte. Zusammenfassende Darstellungen über Grundlagen, Auswerteverfahren und Anwendungsmöglichkeiten der Fernerkundung finden sich in (1) - (4).

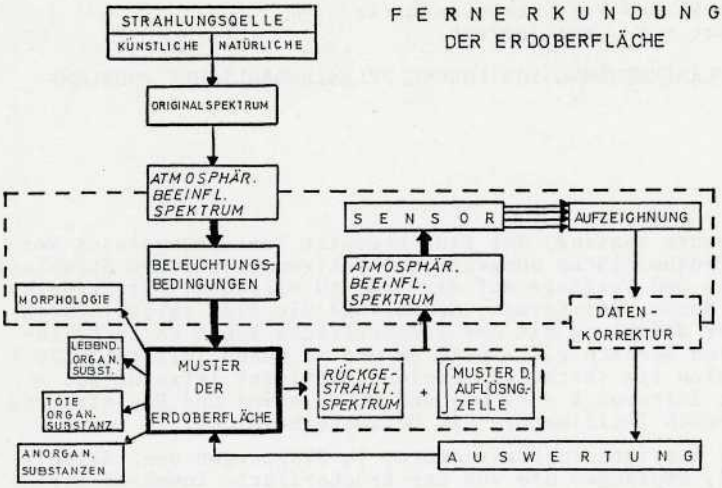

Abbildung 1: Blockschema zur Fernerkundung der Erdoberfläche

2. Methodik

Die Fernerkundung der Erde begann, als es gelang, aus Flugzeugen fortlaufend Senkrechtphotographien aufzunehmen. Die Luftbilder dienten zwar im wesentlichen der topographischen Aufnahme, wurden aber bald auch von Erdwissenschaftlern (z.B. von Geologen - Photogeologie) zur Unterstützung ihrer Kartierungen herangezogen.

Die Interpretation der Luftbilder ist u.a. ein Erkennen der Anzeigerwirkung der Vegetation. Dies wurde wesentlich erleichtert, als es gelang, Filmemulsionen herzustellen, die auch für das nahe Infrarot (bis 1 µm) empfindlich sind. In den Falschfarbeninfrarot-Photographien, die mit den normalen Luftbildkammern aufgenommen werden, werden überwiegend infrarot-reflektierende Objekte in Rottönen abgebildet. Stark infrarotreflektierende Objekte sind grüne Pflanzen. Die Intensität der Reflexion hängt nicht nur von der Pflanzenart ab, sondern auch von ihrem Zustand ((5), (6), Abb. 2). Sobald sich der Gewebezustand von Blättern, z.B. aufgrund von Mangelerscheinungen, verändert, sinkt die Intensität der Infrarotreflexion noch bevor eine Farbänderung der Blätter erkennbar ist.

Ein weiteres Charakteristikum des Infrarotfilms ist, daß er sehr deutlich auf Bodenfeuchtigkeitsgehalte reagiert (s. Abb. 2). Die genannten Eigenschaften sowie die Möglichkeit der stereographischen Auswertung von Luftbildern machen die Falschfarbenphotographie zu einem relativ billigen Hilfsmittel, das u.a. in der Forstwirtschaft und in der geologischen Landesaufnahme (z.B. in Nordrhein-Westfalen) routinemäßig eingesetzt wird.

Die Interpretation von Luftbildern jeder Art erfolgt manuell-visuell und hängt damit von der Erfahrung des Interpreten ab. Diese Methode der Interpretation läßt sich nicht umgehen, wenn es darauf ankommt, aus vielen Merkmalen indirekt auf die gesuchte Größe zu schließen (z.B. Bodenkartierung nach Vegetation, Feuchte und Morphologie). Luftbilder haben aber den Nachteil, daß sie die spektrale Information sehr breitbandig wiedergeben und damit vielfach mehrdeutig sind. Daher nahm die moderne Fernerkundung ihren Aufschwung, als es gelang, flugtaugliche Aufnahme-

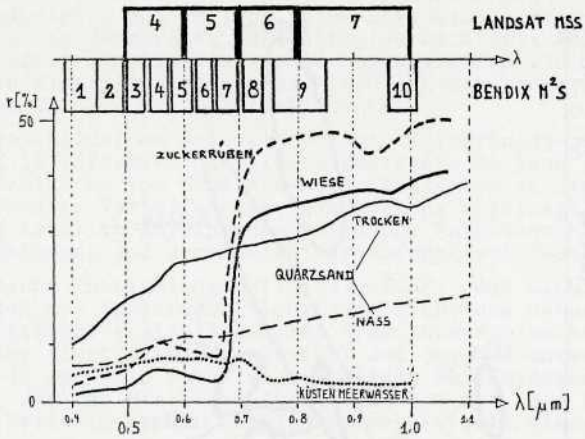

Abbildung 2: Spektralkurven verschiedener Oberflächen und Lage der Spektralkanäle von Landsat-MSS und flugzeuggetragenen Bendix M²S (nach (6))

geräte zu bauen, die die spektrale Information in sehr enge Bänder (Kanäle) trennen und digital aufzeichnen. Dies sind die multispektralen Scanner (Zeilenabtaster), mit denen die Erdoberfläche zeilenmäßig quer zur Flugrichtung aufgenommen wird und das empfangene Spektrum in enge Wellenlängenintervalle (bis zu $\Delta\lambda$ von 0,05 μm; s. Abb. 2) aufgeteilt wird. Die analog empfangenen Signale werden digitalisiert und auf Magnetband aufgezeichnet. Damit ist die Möglichkeit gegeben, Rechner zur Unterstützung der Auswertung einzusetzen. Die qualitative Luftbildinterpretation wird durch die quantitativen Methoden der Bilddatenverarbeitung ersetzt, ergänzt oder erleichtert.

Allerdings treten mit der neuen Technik auch neue Schwierigkeiten auf. Die Probleme entstehen durch das Aufnahmesystem, durch die "Erfahrungslosigkeit" des Rechners und letztlich auch durch die Inhomogenität und Komplexität natürlicher Oberflächen.

Der Multispektralscanner hat ein begrenztes Auflösungsvermögen (beim Bendix M²S : 2,5 mr ≙ 2,5 m senkrecht bei 1000 m Flughöhe; beim Landsat-MSS ca. 60 x 80 m aus 915 km Höhe). Das bedeutet, daß in einem Bildpunkt mehrere Oberflächen (z.B. Pflanzen und Boden, verschiedene Pflanzenarten) enthalten sein können, die alle zum Signal beitragen: es entsteht eine Mischsignatur.

So ist es einerseits möglich, aufgrund der spektralen Signatur verschiedener Oberflächen, deren Lage im Merkmalsraum, dessen Dimensionen durch die Anzahl der gewählten Spektralbereiche gegeben ist, festzulegen (s. Abb. 3). Andererseits läßt es sich nicht vermeiden, daß sich einige Oberflächen (Klassen) teilweise oder ganz überlagern. Im mehrdimensionalen Merkmalsraum können die Mehrdeutigkeiten zwar durch mathematische Manipulationen (Hauptachsentransformation z.B.) verringert, aber nicht gänzlich ausgeschaltet werden, und es kommt zu den sogenannten Mißklassifikationen.

Die Bildverarbeitungsanlage wird mit den statistischen Verteilungen im multispektralen Merkmalsraum für verschiedene Landnutzungs-Arten gefüttert und muß dann entscheiden bei vorgegebener Wahrscheinlichkeit, in welche Klassen die restlichen Bildpunkte der aufgenommenen Szene gehören (überwachte Klassifikation: z.B. Maximum-Liklihood-Methode). Dabei wird oft vergessen, daß die Trainingsgebiete vom Menschen nach seinem

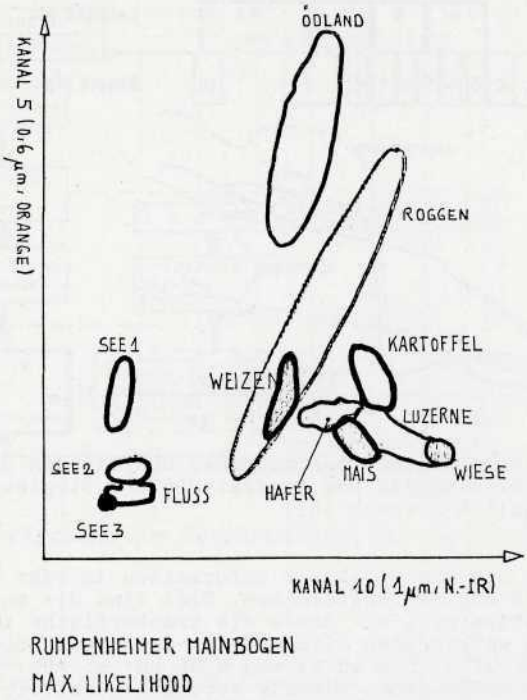

Abbildung 3: Beispiel für die multispektrale Klassifizierung, dargestellt im zweidimensionalen Merkmalsraum (nach (7))

Wissen ausgewählt werden. Das System Scanner-Rechner sieht und klassifiziert Mischsignaturen; der Mensch weiß, was im Untersuchungsgebiet nach seiner Fachnomenklatur existiert oder existieren wird. Ein krasses Beispiel: Aufnahmezeit Frühjahr, vorhandene Flächennutzung: unbestellte Felder, Wintergetreide, Sommergetreide. Trotz Training mit den verschiedenen Klassen wird der Rechner unbestellte Felder und Sommergetreide nicht richtig unterscheiden können, weil beide Feldarten nur unbedeckten Boden zeigen. Das Wintergetreide wird er wesentlich besser erkennen, da in der Spektralsignatur zum Boden zusätzlich auch schon Vegetation enthalten ist. Unterscheidungen innerhalb der Wintersaat wird er aber nicht richtig machen können, da keine oder nur sehr geringe spektrale Unterschiede zwischen den Blättern der verschiedenen Getreidearten bestehen.

Der Auswerter multispektraler Daten wird sich also gemäß der Feldgrößen, des Auflösungsvermögens des Systems und des spektralen Verhaltens der Oberflächentypen eine gegenüber seiner vertrauten Nomenklatur modifizierte Klasseneinteilung erstellen. Bei Kenntnis des Objektinhaltes der Trainingsgebiete für den Rechner können sogar "Mißklassifikationen" Informationen über Zustandsunterschiede innerhalb einer Klasse liefern.

Als Beispiel für eine solche Klassifizierung sei hier die Landnutzungskartierung erwähnt, die im Auftrag des BMBau am Institut für Nachrichtentechnik (DFVLR-Oberpfaffenhofen) durchgeführt wurde (8). Zwei Landsat-Aufnahmen wurden geometrisch entzerrt und an das Kartenblatt 1 : 200.000 CC 7110 Mannheim angepaßt. Aus dem vierkanaligen Datensatz

(s. Abb. 2: Spektralkanäle bei Landsat) wurden acht Klassen ermittelt: lockere und dichte Besiedelung, Grün-Gartenland, Weinbaugebiete, Ackerland, Laub- und Nadelwald, Gewässer). Je nach Art, Flächenausdehnung und Homogenität der Klassen wurden Genauigkeiten von 50-90 % erreicht. Eine solche Klassifizierung einschließlich der geometrischen Entzerrung kostet etwa DM 4,-- pro Quadratkilometer.

Nach der geschilderten Art verarbeitete Fernerkundungsdaten sind zur Verwendung in Informationssystemen geeignet. So kann z.B. durch Eingabe der Eckkoordinaten von Gemeinde- oder Kreisgrenzen die Art, prozentuale und flächenhafte Verteilung der Landnutzung abgefragt werden. Durch Verwendung zeitlich aufeinander folgender Aufnahmen können so frühzeitig Veränderungen und deren Richtung automatisch festgestellt werden.

Die technische Entwicklung hat dazu geführt, daß nicht nur der reflektive Bereich des Spektrums (sichtbares Licht und nahes Infrarot), sondern auch größere Wellenlängen für Erderkundungszwecke genutzt werden können. Hier liegt das Schwergewicht auf den Aufnahmen im thermalen Infrarot (8-14 µm). Die Strahlung in diesem Wellenlängenbereich entspricht der Wärme, die der Mensch zu fühlen gewohnt ist; die Bilder geben die räumliche Verteilung von Oberflächentemperaturen wieder.

Die Oberflächentemperatur und deren tageszeitlicher Verlauf geben Auskunft über das wärmephysikalische Verhalten von Vegetation, Böden und Gesteinen. Es handelt sich also um eine zusätzliche Information zu den bisher beschriebenen Spektralsignaturen: z.B. in bezug auf Vegetationszustand, Bodenfeuchteverteilungen und zur rechnergestützten Bodenkartierung (s. Abb. 4, (9)).

Für Überwachung und Erkennen dynamischer Prozesse (z.B. Umweltveränderungen, Vegetationswachstum), zur Kartierung wärmephysikalischer Eigenschaften und von Landnutzungsformen sind multitemporale Befliegungen notwendig. Diese können für großmaßstäbige Kartierungen mit dem Flugzeug erfolgen; für großräumige Aufnahmen sind am besten kontinuierlich aufzeichnende Satelliten geeignet. Die Sensoren, die im sichtbaren Bereich, im nahen und thermalen Infrarot aufnehmen, bedürfen allerdings guter Sichtverhältnisse. (In Mitteleuropa z.B. gibt es durchschnittlich etwa 15 Tage mit den erforderlichen optimalen Witterungsbedingungen).

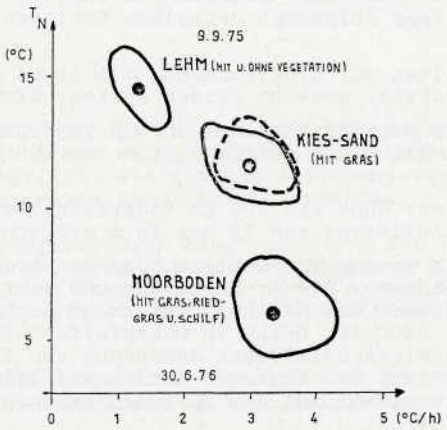

Abbildung 4: Trennbarkeit von verschiedenen bewachsenen Böden nach ihrem thermalen Verhalten (nach (9)).
(Abszisse: Aufheizungsgradient; Ordinate: Temperatur vor Sonnenaufgang)

Daher bestehen weltweit Bestrebungen, Wellenlängen für die Erderkundung nutzbar zu machen, die weitgehend witterungsunabhängig sind. Dies sind die Mikrowellen (Millimeter- bis Dezimeterbereich). Neben der vom Wetter wenig beeinflußten Einsatzmöglichkeit liefern Aufnahmen in diesem Wellenlängenbereich (vor allem Aufnahmen der aktiven Verfahren - Radar) Informationen über das elektrische Verhalten der Erdoberfläche. Zudem erhofft man sich durch die größeren Wellenlängen Aussagen über tieferliegende Bodenschichten oder von Vegetation verdecktem Boden. Während die kartographische und morphologische Auswertung von Radarbildern recht gute Ergebnisse bringt ((10) und (11)), befindet sich die Landnutzungsklassifizierung mit Radardaten noch im Experimentalstadium. Um die diesbezüglichen Probleme zu lösen, werden mit stationären und flugzeuggetragenen Radargeräten Grundlagenuntersuchungen durchgeführt (z.B. Institut für Hochfrequenztechnik, DFVLR-Oberpfaffenhofen).

3. Systeme

Ein deutsches flugzeuggetragenes Erderkundungssystem ist das Meßflugzeug der DFVLR. Es ist ausgerüstet mit einem Multispektralscanner (Bendix M²S; Spektralbereiche s. Abb. 2), mit einer Reihenmeßkammer, 6 Hasselbildkameras für Multispektral-Photographie und mit zwei Radiometern). Die Datenaufnahme vom Flugzeug aus wird ergänzt durch einen Meßwagen. Er liefert zu den Befliegungen radiometrische In-situ-Messungen, die u.a. der Scannerdatenkorrektur dienen.

Zur Auswertung wurde bei der DFVLR ein interaktives Bilddatenverarbeitungssystem (DIBIAS) aufgebaut. Mit seiner Hilfe kann der Nutzer geeignete Auswerteverfahren auswählen und routinemäßig einsetzen.

Nach Abschluß der Experimentalphase des Flugzeugmeßprogramms (FMP, 1975-1977), dessen Ergebnisse vor allem auch zur landwirtschaftlichen Nutzung von Fernerkundungsdaten in (12) zusammengefaßt sind, werden alle drei Teilsysteme bedarfsorientiert eingesetzt.

Das FMP-Flugzeug erreicht Höhen von 5000 m über NN und liefert damit maximale Scannerstreifenbreiten von 10 km. Für eine großräumige Landesaufnahme sind die Daten der US-Satelliten Landsat (früher ERTS) geeignet. Die Einzelszenen, aus einer Höhe von 915 km aufgenommen, zeigen in vier Spektralkanälen (s. Abb. 2) einen Erdoberflächenausschnitt von 185 km x 185 km. Die zwei noch arbeitenden Satelliten der Landsat-Serie liefern alle neun Tage Aufnahmen desselben Gebietes zur gleichen Ortszeit.

Experimentalsatelliten zur Erderkundung, mit deren Hilfe auch andere Spektralbereiche nutzbar gemacht werden sollen, sind:

HCMM (Heat Capacity Mapping Mission) in 620 km Höhe, der Aufnahmen im thermalen Infrarot mit einer Auflösung von ca. 500 m x 500 m liefert, und

SEASAT, der aus einer Höhe von 800 km Radaraufnahmen (20 cm-Wellen, L-Band) mit einer Auflösung von 25 m x 25 m erbrachte.

Die Satellitendaten werden von wenigen über die Erde verteilten Stationen empfangen (Earthnet). Die Archivierung und mehr oder weniger kommerzielle Verteilung haben die National Points of Contact (NPOC - für die Bundesrepublik das GSOC der DFVLR in Oberpfaffenhofen) übernommen. Die Ergebnisse der landwirtschaftlichen Anwendung von Satellitendaten füllen eine steigende Zahl von Konferenzbänden und Zeitschriften; es sei hier daher nur noch einmal auf die zusammenfassende Literatur verwiesen (1), (2), (4), (13).

LITERATUR

(1) REEVES, R.G. (Hrsg.): Manual of Remote Sensing. 2 Bde., 2144 S., Falls Church (ASP 1975.

(2) SCHANDA, A. (Hrsg.): Remote Sensing for Environmental Sciences. Ecological Studies, 18, 367 S., Berlin (Springer) 1976.

(3) SCHNEIDER, S.: Luftbild und Luftbildinterpretation. Lehrb. d. allgem. Geographie, 11, 530 S., Berlin (de Gruyter) 1974.

(4) SWAIN, P.H., DAVIS, S.M.: Remote Sensing: the Quantitative Approach. 396 S., McGraw Hill Inc. 1978.

(5) COLWELL, R.N. et al.: Analysis of Remote Sensing Data for Evaluating Forest and Range Resources. School of Foresty and Conservation, Univ. of California, S. 207, 1969.

(6) STÄTTER, R., SCHRÖDER, M.: Measurements of Spectral Characteristics of Natural Surfaces. ESA SP-134, 361-365, 1978.

(7) TRIENDL, E.: Was bringt die multispektrale Klassifikation)? BMFT-FB W 78-04 (Verf.: Albertz, J. u. Schröder, M.), 345-350, 1978.

(8) HABERÄCKER, P. et al.: Auswertung von Satellitenaufnahmen für die Landnutzung. Schriftreihe "Raumordnung" des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn 1980 (im Druck).

(9) NITHACK, J.: Application of Thermal Data to Soil Moisture Calculation and to Soil Mapping. Int. Archives of Photogrammetry, 22-7, S. 2331-2347, 1978.

(10) DELLWIG, L.F.: Geologic Evaluation of Radarimagery from Darien Province, Panama. Modern Geology, 1, 1-63, Belfast 1969.

(11) NITHACK, J.: Auswertung von Radarbildern mit visuellen Methoden. Int. Archives of Photogrammetry, 1980 (im Druck).

(12) ALBERTZ, J., SCHRÖDER, M. (Hrsg.): Berichte zum Symposium Flugzeugmeßprogramm. BMFT-FB W 78-04, 504 S., 1978.

(13) HILDEBRANDT, G., BOEHNEL, H.H. (Hrsg.): Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing, Freiburg 2.-8.7.1978. Int. Archives of Photogrammetry, 22-7, 3 Bde.

DISKUSSIONSBEITRÄGE

MANGSTL: Herr Nithack hat uns aufgezeigt, daß es eines Tages noch ganz andere Möglichkeiten geben wird, pflanzenbauliche Probleme zu lösen. Eine Frage ist sicherlich, wie gut das Auflösungsvermögen sein wird, um z.B. bei Versuchsparzellen den Stand aufzunehmen.

NITHACK: Das Auflösungsvermögen hängt ganz von der Flughöhe und vom Wellenlängenbereich ab. Wenn wir mit dem Flugzeug 500 oder 100 m über dem Boden fliegen, dann haben wir bei 100 m eine Auflösung von 25 cm. Nur ist es höchst unrentabel, wenn man dies flächendeckend machen möchte.

DESELAERS: Für welche Aufgaben im Agrarbereich wird Fernerkundung voraussichtlich einmal wirtschaftlich einzusetzen sein und wann könnte das der Fall sein?

NITHACK: - Ergänzende Aufnahme der Bodennutzung
- sehr teuer
- vorerst nur Tests; praktische Nutzung noch unbestimmt.

v. SELLE: Meines Wissens verwendet die FAO die Fernerkundung zur Ertragsschätzung in verschiedenen Erdteilen und damit zur Schätzung der Weltnahrungsmittelproduktion.

NITHACK: Ja. Auch die USA verwenden solche Systeme, um z.B. zu ermitteln, wieviel Weizen an die UdSSR verkauft werden kann.