

Anisotropie der Rückstrahlung – Störfaktor oder Informationsquelle? Erörterung anhand des Beispiels „precision farming“

THOMAS SCHNEIDER, MÜNCHEN

IOANNIS MANAKOS, FREISING

Abstract

Bei der Auswertung von Fernerkundungsdaten wird die Anisotropie der Rückstrahlung in der Regel als Störfaktor empfunden. Soll das Signal auf bio-geo-chemo-physikalischen Eigenschaften des Oberflächenelements zurückgeführt werden, müssen die Anisotropieeffekte berücksichtigt werden. Dieses gilt insbesondere auch für die Teilschlagbewirtschaftung, wenn Fernerkundungsdaten genutzt werden, um den aktuellen Zustand der Feldfrüchte teilflächenscharf zu beurteilen. Die korrekte Unterscheidung, von Wachstumsunterschieden ist in diesem Falle eine Grundvoraussetzung für die teilflächenspezifische Ausbringung von Düngemitteln. In der heute üblichen fernerkundlichen Praxis werden Anisotropieeffekt entweder korrigiert oder umgangen. Der vorliegende Beitrag diskutiert die Auswirkungen der Anisotropie der Rückstrahlung im Hinblick auf die Teilschlagbewirtschaftung. Ein Konzept wird vorgestellt, um diese physikalische Grundgröße des Reflexionskomplexes zusätzliche Informationen über den Zustand der ackerbaulichen Flächen abzuleiten.

1 Einführung

Teilschlagbewirtschaftung wird derzeit im Zusammenhang mit den Bemühungen zur Reduktion des Pestizid-, Düngemittel- und/oder Wassereinsatzes in der Landwirtschaft intensiv diskutiert. Eine Kernfrage im Bereich der Teilschlagbewirtschaftung ist, wie bzw. anhand welcher Informationen die Ausbringung der Düngemittel zu steuern ist. In diesem Zusammenhang wird der Fernerkundung eine Schlüsselstellung zugesprochen.

Zwei Methoden werden international operationell eingesetzt: Die Steuerung anhand von Vorinformationen (Böden, Vorfrucht, Düngemaßnahmen, etc.), optional ergänzt durch die Kartierung von Teilschlägen über Satellitendaten (mapping approach) und die on-line Erfassung über lokal am Schlepper montierte Systeme (on-line oder real-time approach). Beide Ansätze zeigen systemimmanente Schwachstellen. Der „mapping approach“ ist nicht in der Lage z.B. Fruchtfolge- und/oder Bearbeitungseffekte, sowie Witterungseinflüsse der gegenwärtigen Vegetationsperiode zu berücksichtigen. Die ausschließliche Beurteilung des Zustandes über einen real-time Sensor führt unweigerlich zu Problemen etwa in den Bereichen, in denen das Pflanzenwachstum durch die effektive Feldkapazität eingeschränkt ist. Im DFG Gruppenvorhaben IKB Dürmast wird ein Ansatz erprobt, der beide Verfahren in einem „real-time approach with map overlay“ (Auernhammer et al., 1999) kombiniert und somit die jeweiligen Nachteile mit den Vorteilen beider Verfahren ausgleicht.

2 Fernerkundliches Umfeld

In der Fernerkundung sind fünf Signaturtypen bekannt, die grundsätzlich zur Ableitung thematischer Informationen geeignet sind: Spektrale, texturale, temporale, polarisations- und richtungsabhängige Signaturen. Die Aussagenschärfe steigt mit der Anzahl auswertbarer Signaturen. Bei teilschlagspezifischen Zielsetzungen sind Aussagen zum Momentzustand des Bestandes mit möglichst hoher geometrischer Auflösung gefragt. **Texturale, temporale und**

polarisations- Signaturen sind, zumindest beim on-line approach, von untergeordneter Bedeutung.

Die **spektrale Signatur** ist bis auf die unterste, die Zellebene bzw. noch tiefer, auf die atomare/molekulare Ebene, zurückzuführen. Auf dieser Ebene finden die Absorptions- und Mehrfachreflexionsvorgänge, aber auch die Emissionsvorgänge statt, die die charakteristische Spektralsignatur von Objekten der Erdoberfläche bestimmen. Hinzu kommt, daß sich die spektralen Signaturen durch alle fernerkundlich erfassbaren Skalenebenen durchpausen und auch auf allen Skalenebenen relevant sind. Spektralen Signaturen wird daher allgemein der höchste Informationsgehalt bezüglich der ableitbaren Objekteigenschaften zugerechnet.

Bezogen auf den landwirtschaftlichen Bereich, nennt Gerstl (1990) die **richtungsabhängigen Signaturen** als diejenigen mit dem möglicherweise höchsten Informationsgehalt. Richtungsabhängige Signaturen sind auf die Anisotropie der Rückstrahlung zurückzuführen. Diese beschreibt die Eigenschaft der Oberflächen des natürlichen Umfeldes, die eingestrahlte elektro-magnetische Strahlung (EM) entweder spiegelnd oder diffus zu reflektieren. Zwischen vollkommen spiegelnd und vollkommen diffus (Lambert Reflektor) kommen alle Übergänge vor. Beide, Spektral- und Anisotropiesignatur, werden von den Transmissions-, Mehrfachstreu- und Spiegelungseigenschaften der Vegetationsdecke bestimmt. Das Anisotropiesignal wird von der Pflanzenarchitektur und Bestandesstruktur kontrolliert und überlagert die Spektralinformation.

3 Verknüpfung von Fernerkundung und Bestandesparameter

In der pflanzenbaulichen Praxis wird der Zustand eines Bestandes über verschiedene Faktoren, wie Entwicklungsstadium, Bestandesdichte, Bestandeshöhe, Blattflächenindex, Chlorophyllgehalt usw. angegeben. Bei fernerkundlichen Auswertungen ist man bestrebt, die Ergebnisse der Signaturanalyse in die pflanzenbaulichen Beurteilungsschemata einzuhängen (Reusch, 1997; Schneider, 1995).

Die heutige Entwicklung geht dahin, anhand gemessener geo-biophysikalischer und bestandesstruktureller Parameter die Modellierung des Reflexionsverhaltens von Pflanzenbeständen zu versuchen („physikalische Modelle“). Eine Beschreibung der objektspezifischen Strahldichtevertelung der reflektierten Strahlung $L_r(\theta_r, \phi_r)$ bei gegebener Strahldichtevertelung der einfallenden Strahlung $L_e(\theta_e, \phi_e)$ liefert die Reflexionsfunktion (Bidirectional Reflection Distribution Function, BDRF)(Nicodemus et al., 1976), deren Dimension 1/ Steradian ist (KRIEBEL, 1976).

$$\text{Reflexionsfunktion: } f(\theta_e, \phi_e; \theta_r, \phi_r) = \frac{dL_r(\theta_e, \phi_e; \theta_r, \phi_r)}{dE_e(\theta_e, \phi_e)} \text{ [sr}^{-1}\text{]}$$

Die BDRF ist meßtechnisch nicht faßbar. Bei der praktischen Datenerfassung im Geländeexperiment wird der gerichtete Reflexionsgrad ermittelt. Er gibt die Strahldichtevertelung der reflektierten Strahlung $L_r(\theta_r, \phi_r)$ in einem bestimmten Raumsegment mit endlich kleinem Raumwinkel zu der Bestrahlungsstärke E_e aus dem oberen Halbraum an:

$$\text{Gerichteter Reflexionsgrad: } \rho(\theta_r, \phi_r) = \frac{\pi \times L_r(\theta_r, \phi_r)}{E_e}$$

Sowohl Reflexionsfunktion als auch gerichteter Reflexionsgrad sind nicht nur richtungs-, sondern auch wellenlängenabhängig. Die Eichung solcher physikalischen Modelle erfolgt über feldspektroskopisch gemessene Reflexionsdaten (Kuusk, 1996; Völlger, 1993; Meister, 1996) und vor Ort erhobener Bestandesparameter. Bei feldspektroskopischen Untersuchungen

können die Einflußgrößen am Meßort beobachtet und anschließend der entsprechenden Signatur zugeordnet werden (Boochs et al., 1989; Schneider, 1995; Reusch, 1997). Zum jetzigen Zeitpunkt wird vor allem bei der Invertierung der direkten Reflexionsmodelle Entwicklungsbedarf gesehen (Verstraete, 1999). Ein Grund hierfür ist die Mehrdeutigkeit der spektralen Signaturen (spectral confusion), die eine eindeutige Zuordnung (Identifizierung) von Oberflächentypen erschwert. Pflanzenmorphologie und Bestandesstruktur, die bei der visuellen Beurteilung vor Ort wesentlich zur Charakterisierung der Vegetationsoberfläche beitragen und über ihren Einfluß auf die richtungsgebundene Signatur auch das Reflexionssignal beeinflussen, waren bisher über Fernerkundungsdaten nicht parameterisierbar. Die Entwicklung von Systemen zur on-track Stereodatenerfassung (MOMS-02/P, Quick Bird, Spot 6, ALOS) eröffnet die Möglichkeit, richtungsabhängige Signaturen, die auf der Anisotropie der Rückstrahlung beruhen, in den Interpretationsprozess zu integrieren. Kombiniert man diese Möglichkeit zusätzlich mit spektralen Informationen, sei es aus zeitgleich oder auch zeitversetzt erfassten Datensätzen, ist eine signifikante Verbesserung von Identifikation und Zustandsbeschreibung zu erwarten (Schneider et al., 1999).

4 Konzept für den Bereich „precision farming“

Der vorgestellte Ansatz baut auf den Erkenntnissen von heute auf und untersucht Strategien, die in dem technischen, aber auch agrarpolitischen Umfeld von morgen relevant sein könnten. Der Zeithorizont der Realisierbarkeit wird mit etwa fünf bis zehn Jahren angenommen. Im agrarpolitischen Bereich wird eine Verschärfung der Wasserschutzverordnung sowie eine Kürzung der Agrarsubventionen erwartet. Ersteres wird der Teilschlagbewirtschaftung Auftrieb bringen, die zweite Annahme wird im technischen Bereich u.a. zu einer Verbreiterung der Arbeitsweiten führen. Bei den erwarteten Spurweiten von bis zu 40 m (Ehlert, 1996) kann der Heterogenität der Schläge mit der pragmatische Lösung des Hydro Agri Sensors nicht mehr Rechnung getragen werden. Um den gesamten Arbeitsbereich abzudecken, müssen mehrere Sensoren eingesetzt werden, die jeweils Teilbereiche abdecken. Die Signalanalyse erscheint nur über den Abgleich mit Modellvorhersagen zum Erfolg führen zu können, die, zumindest im Forschungsstadium, alle theoretischen Möglichkeiten berücksichtigen müssen.

Das vorgeschlagene Konzept sieht eine Verknüpfung von Wachstums- und Ertragsmodellen mit Reflexionsmodellen vor, die das zu erwartende Signal für jede beliebige Beleuchtungs- und Beobachtungsgeometrie vorhersagen. Durch Abgleich (i) mit den Satellitendaten (erweiterter „mapping approach“) kann das Modell nachgeeicht werden, so daß beim (ii) real-time Sensor gestützten Düngungs- oder Bewässerungseinsatz auf die jeweils aktuellste „a priori“ Zustandserwartungskarte zurückgegriffen werden kann. Von Vorteil ist hierbei, daß in der Teilschlagbewirtschaftung die angebaute Feldfrucht nicht mehr identifiziert werden muß. Die Analyse kann sich auf die Zustandsbeschreibung konzentrieren und dabei auf die detaillierten Vorinformationen zurückgreifen, die für jeden Schlag existieren. In der praktischen Umsetzung soll das real-time Signal durch diese Vorinformationen dahingehend gewichtet werden, daß jeweils nur die Düngemittelmenge ausgebracht wird, die von der Nutzpflanze aufgenommen werden kann. Das System kann auf maximalen ökonomischen oder aber maximalen ökologischen Wirkungsgrad eingestellt werden.

5 Beispiele

Anhand von Beispielen aus dem IKB Dürnast Vorhaben soll gezeigt werden:

- a. Das Potential der richtungsabhängigen Signatur bei Auswertung von Stereodatensätzen operationaler Erdbeobachtungssatelliten anhand eines MOMS-2P Mode 3 Datensatzes
 - b. Die Meßmethode und Datenbeispiele der feldspektroskopischen Messungen für die Optimierung der Reflexionsmodelle der untersuchten Feldfrüchte.
- Der MOMS-2P Datensatz vom 25.06.98 wurde unter Auswertung (i) der spektralen, (ii) der richtungsabhängigen und (iii) einer Kombination beider Informationsquellen klassifiziert. Der Vergleich der Klassifikationsergebnisse bestätigt den höheren Informationsgehalt spektraler Signaturen, zeigt das Potential der richtungsabhängigen Signaturen mit nur geringfügig schwächeren Resultaten und veranschaulicht vor allem auch die Synergiemöglichkeiten beider Signaturen, die sich im eindeutig genauesten Klassifikationsergebnis ausdrückt. Anhand von Beispielen der feldspektroskopisch erfaßten Strahlungsverteilung soll die Größenordnung der Signalveränderung aufgrund der Anisotropie der Rückstrahlung bei unterschiedlichen Beleuchtungs- und Beobachtungswinkeln deutlich gemacht werden.

6 Literatur

- AUERNHAMMER H., DEMMEL, M., MAIDL, F.X., SCHMIDHALTER, U., SCHNEIDER, T., WAGNER, P., 1999: An On-Farm Communication System for Precision Farming with Nitrogen Real-Time Application. ASEA Paper No. 99 11 50, St. Joseph, MI, USA
- BOOCHS, F., GODDING, R., V. RÜSTEN, CH., RUWWE, TH., TEMPELMANN, U., 1989: Informationsgehalt von Fernerkundungsdaten im Bereich landwirtschaftlicher Anwendungen. BuL, 57, Heft 3 S. 112-125
- EHLERT, D., 1996: Großflächige Anwendung von Satellitenortung in der Landwirtschaft; Teilflächenspezifischer Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln; Forschungs Report Nr 96-1,
- GERSTL, S. A. W., 1990. Physics concepts of optical and radar reflectance signatures - A summary review. *International Journal of Remote Sensing*, 11(7):1109-1117.
- KRIEBEL, K.T., 1978: Average variability of the radiation reflected by vegetated surfaces due to differing irradianations. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 7:81-83
- MEISTER, G., 1996: Messung der spektralen Reflexionsfunktion (BRDF) ausgewählter Oberflächen bei natürlicher Beleuchtung; CENSIS Report-18-96.
- NICODEMUS, F.E., RICHMOND, J.C., HSIA, J.J., GINSBERG, J.W., LIMPERIS, T., 1977: Geometrical considerations and nomenclature for reflectance; *National Bureau of Standards (U.S.)*, Tech. Note 236-942.
- REUSCH, S. (1997): Entwicklung eines reflexionsoptischen Sensors zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Diss. CAU Kiel
- SCHNEIDER, Th., 1995: Möglichkeiten und Grenzen der spektralen Trennbarkeit ackerbaulicher Oberflächentypen - eine Abschätzung anhand spektroskopischer Untersuchungen über die Vegetationsperiode; Dissertation am Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz der LMU München. *Schriftenreihe der ZADI*, Band 4, ISSN 0947-661X
- SCHNEIDER, TH., BUHK, R., AMMER, U., 1999. Investigations on synergy and complementarity of multispectral and anisotropy information from MOMS-02/D2-Mode 3-data for land use classification in the Sinaloa district of Mexico. *International J. Remote Sensing*, 20(8):1499-1526.
- VERSTRAETE, M., 1999: Zusammenfassung der wissenschaftlichen Erkenntnisse des IWMM2 Workshops am gemeinsamen Europäischen Forschungszentrum (GFZ, Joint Research Centre, JRC) in Ispra, Italien, mündliche Aussage