

Erkennung landwirtschaftlicher Nutzpflanzenbestände mittels multitemporaler ERS-1/-2 Radaraufnahmen

MARIA HAMACHER, INGO RADEMACHER, STEFAN HAWLITSCHKA & WALTER KÜHBAUCH, Bonn

Zusammenfassung: Ein wesentliches Ziel der Fernerkundung in der Landwirtschaft ist die großräumige Inventur der Bodennutzung. Optische Satelliten lieferten hier bereits gute Ergebnisse, sind jedoch vom Tageslicht und dem Bewölkungsgrad abhängig. Demgegenüber sind Radarsensoren unabhängig von Witterung und Tageslicht.

In dieser Arbeit wurde untersucht, inwieweit Radaraufnahmen der ERS-Satelliten (5,3 GHz; VV-Polarisation) geeignet sind, verschiedene Feldfruchtarten anhand ihrer Signaturen zu unterscheiden. Als Testgebiet diente das Gemeindegebiet Weilerswist im südlichen Teil der Köln-Aachener Bucht. Aufnahmen des Testgebietes standen alle 35 Tage, in der Hauptvegetationszeit alle 17,5 Tage, zur Verfügung. Zeitgleich zu den Überflügen wurden Bestandeshöhe, Entwicklungsstadium, Frisch- und Trockenmasse in ausgewählten Zuckerrüben- und Getreidebeständen des Testgebietes bestimmt.

Auf Grund der Stabilität und Genauigkeit des ERS-SAR-Instrumentes konnten temporale Signaturen verschiedener Feldfruchtarten ermittelt und miteinander verglichen werden. Jede Fruchtart wies ein eigenes temporales Rückstreuprofil auf. Winterweizen, Wintergerste und Winterroggen konnten so in den Wachstumsphasen ab Ährenschieben bis zur Fruchtbildung voneinander unterschieden werden. Zuckerrüben ließen sich von Getreide im Mai und im August unterscheiden. Als wichtige Vorausinformation wurden die Arten der im Testgebiet angebauten Hauptkulturen eingesetzt. Rückstreuprofile von Getreide ermöglichen zudem die Beobachtung der Pflanzenentwicklung. Bei Zuckerrüben ist dies nicht möglich.

Summary: *Determination of field crops using multitemporal ERS-1/-2 radar images.* An important aim of remote sensing in agriculture is to determine large scale cropping patterns. Optical sensors have been used successfully in classification of field crops. However, they are sensitive to weather conditions and daylight. The advantage of radar systems compared with optical sensors is their capability to acquire images of the earth's surface independent of daytime and cloud cover. In this study backscatter profiles of ERS images (5,3 GHz; VV-polarisation) were used to classify different field crops. The test area was located south-west from Cologne around the village of Weilerswist. ERS-scenes from the test area were available every 35 days, and during the main growth period every 17,5 days. At each fly-over of the satellite, ground truth data like fresh weight and dry weight, plant height and developmental stage were collected for selected sugar beet and winter cereal fields within the test area.

Between the growth stages ear emergence and grain filling radar signatures were suitable to distinguish between winter wheat, winter barley and winter rye. Signatures from sugar beet were significant different from signatures of winter cereals in May and in August. However, a prerequisite to classify field crops with radar sensors is the knowledge of the typical crop rotation in the area of interest. Additionally, the backscatter profiles of winter cereals were suited to monitor the developmental progress of these crops. For sugar beet no such relation was found.

1 Einleitung

Regionale, nationale oder globale Informationen über die Landnutzung werden regelmäßig für die Agrarstatistik genutzt. Bisher wurden Daten der landwirtschaftlichen Flächennutzung i.d.R. durch zeitaufwändige und teure Bodenerhebungen gewonnen (STADLER 1996). Dieses Verfahren wird seit einigen Jahren zum Teil durch die Fernerkundung abgelöst oder ergänzt, wie beispielsweise zur Kontrolle von Flächenstilllegungen, Erhebung des Anbauumfangs der Hauptfruchtarten innerhalb der EU oder auch für Ertragsabschätzungen in einzelnen Kulturen.

Häufig werden für diese Aufgabe hochauflösende, optische Sensorsysteme wie z. B. Landsat-TM oder SPOT eingesetzt (z. B. das MARS-Programm der Europäischen Kommission), die jedoch vom Tageslicht und dem Bewölkungsgrad abhängig sind. In Regionen mit gemäßigttem oder humidem Klima kommt es daher vor, dass in manchen Jahren optische Fernerkundungsszenen nicht oder nur in unzureichender Anzahl zur Verfügung stehen.

Eine kontinuierliche und regelmäßige Beobachtung der Vegetation ist bisher nur mit abbildenden Radarsystemen an Bord von Raumfähren oder Satelliten möglich. Bei Radar handelt es sich zum einen um ein aktives Mikrowellensystem, bei denen der Radarstrahl als Strahlungsquelle dient und somit unabhängig vom Tageslicht ist. Weiterhin sind Mikrowellen in der Lage, Wolken zu durchdringen, was sie zusätzlich unabhängig von der Wettersituation macht. Wie in der Fernerkundung mit optischen Sensoren gilt auch für die Mikrowellenfernerkundung, dass eine Interpretation der Radardaten Zusatzinformationen erfordert, wie z. B. den Verlauf von Schlaggrenzen und regional übliche Fruchtfolgen. Erst die Gegenüberstellung von Fernerkundungsdaten mit Bodendaten aus kleinräumigen Testgebieten ermöglicht die gezielte Anwendung der Radarfernerkundung zur großflächigen Landnutzungsinventur.

Mit dem *European Remote Sensing Satellite* (ERS) steht ein System zur Verfügung,

das langfristig Radardaten von der Erdoberfläche liefert. Die Repetitionsrate von 35 bzw. 17,5 Tagen des ERS ermöglicht die Beobachtung von Pflanzenbeständen in relativ kurzen Zeitabständen. Damit ist die Möglichkeit gegeben i) die Pflanzenentwicklung innerhalb einer Nutzpflanzenart über die Vegetationsperiode zu verfolgen und ii) signifikante Zeiträume oder Wachstumsstadien zu bestimmen, zu denen eine zuverlässige Unterscheidung verschiedener Fruchtarten möglich ist.

Es liegen bisher einige Arbeiten vor, in denen Szenen der ERS-Satelliten genutzt wurden, um Fruchtarten voneinander zu unterscheiden (BOUMAN & UENK 1992, SCHMULLIUS et al. 1993, BORGEAUD et al. 1995). Jedoch ist die Fruchtartenzusammensetzung und die terminliche Verfügbarkeit der Satellitenaufnahme eines jeden Testgebietes sehr unterschiedlich. Das Ziel unserer Untersuchung war es, anhand von ERS-Daten die typischen Signaturverläufe der wichtigsten Fruchtarten in der Köln-Aachener Bucht im Verlauf der Vegetationsperiode aufzuzeigen. Anhand der Signaturverläufe sollten des Weiteren kritische Phasen aufgezeigt werden, in denen sich die einzelnen Arten hinreichend voneinander unterscheiden, um eine treffsichere Inventur der Landnutzung durchzuführen.

2 Material und Methoden

2.1 ERS-1/ -2 (*European Remote Sensing Satellite*)

Die in der Untersuchung verwendeten Radarszenen wurden von den europäischen Erdkundungssatelliten ERS-1 und ERS-2 aufgenommen. ERS-1 wurde mit dem Ziel der Wetter- und Seegangsvorhersage, der Eisbeobachtung, der Erfassung von Ölverschmutzungen auf See sowie der Sammlung von Daten für die Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft im Auftrag der europäischen Raumfahrtagentur ESA von der Dornier GmbH, einem Unternehmen der Deutschen Aerospace AG, gebaut und im Juli 1991 erfolgreich gestartet (ESA 1996). ERS-2 wurde im April 1995 als Nachfolger

des ERS-1 gestartet, dessen Abschaltung im Juni 1996 erfolgte. Beide Satelliten bewegen sich in einer Flughöhe von 785 km und überfliegen den selben Aufnahmestreifen im zeitlichen Abstand von 35 Tagen. In mitteleuropäischen Breiten kommt es neben der kompletten Aufnahme der Erdoberfläche in den benachbarten Umlaufbahnen zu Überlappungen von ca. 50% und somit zu einer Verkürzung des Beobachtungsintervalls auf 17,5 Tage. Die Sensoren des Mikrowellensystems haben eine räumliche Auflösung von 30 m.

Die wichtigsten technischen Daten der Satelliten ERS-1 bzw. ERS-2 sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Tab. 1: Technische Daten des ERS-1/ERS-2 nach ESA BR-36 (1989).

Frequenz	4,20 GHz – 5,75 GHz (C-Band)
Wellenlängenbereich	5,22 cm – 7,14 cm
Polarisation	VV
Einfallswinkel	23°
Räumliche Auflösung	30 m
Streifenbreite der Aufnahme	100 km

2.2 Testgebiet

Das Testgebiet liegt in der vorwiegend ackerbaulich genutzten Region zwischen Euskirchen und Weilerswist 35 km nord-

westlich von Bonn. Das Gebiet zeichnet sich durch weitgehende Homogenität bezüglich des Bodens und des Klimas aus. Der Jahresniederschlag liegt zwischen 550 mm und 650 mm, die mittlere Jahrestemperatur bei 9°C. Als Bodentyp herrschen Braun-, Parabraunerden sowie Pseudogleye vor. Das Gelände ist eben und in für die Region relativ große Feldschläge (2–32 ha) unterteilt, auf denen hauptsächlich Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen und Zuckerrüben angebaut werden. Im Beobachtungszeitraum 1996 bis 1998 wurden die Signaturen von jeweils sechs bis neun Feldern der Wintergetreidearten ausgewertet. Von Zuckerrübenfeldern wurden nur im ersten Beobachtungsjahr die Radarsignaturen analysiert.

2.3 Satellitendaten

In den Jahren 1996–1998 standen acht bis zehn Radaraufnahmen des Testgebietes im Abstand von 35 bzw. 17,5 Tagen zur Verfügung (Tab. 2).

Die Datensätze der einzelnen ERS-Szenen wurden von der European Space Agency (ESA) im Single-Look-Complex (SLC)-Format zur Verfügung gestellt.

In allen Datensätzen wurde jeweils der Ausschnitt, der das Testgebiet beinhaltet, definiert und die aufeinander folgenden Szenen wurden mittels Passpunkten koreferenziert, d.h. pixelgenau übereinander gelegt. Um die Grauwertstatistik nicht zu verfä-

Tab. 2: Überflugtermine des ERS-1/-2 über das Testgebiet Weilerswist in den Jahren 1996–1998.

1996		1997		1998	
Datum	Satellit	Datum	Satellit	Datum	Satellit
14. 03.	ERS-2	08. 05.	ERS-2	12. 02.	ERS-2
17. 04.	ERS-1	27. 05.	ERS-2/2. Orbit	19. 03.	ERS-2
18. 04.	ERS-2	12. 06.	ERS-2	07. 04.	ERS-2/2. Orbit
22. 05.	ERS-1	01. 07.	ERS-2/2. Orbit	23. 04.	ERS-2
11. 06.	ERS-2/2. Orbit	17. 07.	ERS-2	12. 05.	ERS-2/2. Orbit
26. 06.	ERS-1	05. 08.	ERS-2/2. Orbit	28. 05.	ERS-2
01. 08.	ERS-2	21. 08.	ERS-2	16. 06.	ERS-2/2. Orbit
10. 10.	ERS-2	25. 09.	ERS-2	02. 07.	ERS-2
14. 11.	ERS-2			21. 07.	ERS-2/2. Orbit
				06. 08.	ERS-2

schen, wurde auf eine Geokodierung der ERS-Aufnahmen verzichtet, da die notwendige Entzerrung über ein Höhenmodell bewirkt hätte, dass dabei Pixel aufgefüllt oder entfernt werden. Durch die schräge Blickrichtung des Sensors senkrecht zur Flugbahn treten Effekte wie Layover, Foreshortening oder Radarshadow auf, die bei der Geokodierung nur über die in den aufgenommenen Szenen vorhandenen Bildpunkte korrigiert werden können. Die fehlenden Bildpunkte werden in den geokodierten Szenen anhand der im Radarbild tatsächlich dargestellten Pixel nach dem Nearest-Neighbour-Prinzip eingesetzt (SCHREIER 1993).

Statt dessen wurden die in geographischen Koordinaten vorliegenden Informationen (z.B. Feldgrenzen) mit dem Geokodierungsprogramm der Daimler Chrysler Aerospace Jena Optronik in Pixelkoordinaten transformiert (inverse Transformation) und auf die SLC-Bilder projiziert. Anschließend wurde zu jedem Termin die Intensität der Radarrückstreuung über alle Pixel ($25\text{ m} \times 25\text{ m}$) eines Feldes gemittelt. Zu den Feldgrenzen wurde dabei ein Abstand von 20 m eingehalten, um Mischpixel auszuschließen. Die Mittelwerte wurden des Weiteren nach dem Verfahren von LAUR (1998) kalibriert, um die Radardaten aus verschiedenen Umlaufbahnen und verschiedenen Jahre miteinander vergleichbar zu machen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Unterscheidung der Fruchtarten

In Abb. 1 ist ein Dreifarbenkomposit (blau codiert: 22. Mai, rot codiert: 26. Juni, grün codiert: 1. August) von 1996 dargestellt, in dem die Schlaggrenzen der Testfelder (Zuckerrüben: grün; Winterweizen: blau; Wintergerste: rot; Winterroggen: gelb) farblich umrandet sind. Weiterhin sind exemplarisch die Grauwerte der Rückstreuintensitäten der einzelnen Fruchtarten zu den jeweiligen Terminen dargestellt.

Die Intensitäten der Radarrückstreuung sind für jede Fruchtart entsprechend ihrer

Grauwerte im Dreifarbenkomposit farblich kodiert und anhand von drei verschiedenen ERS-Aufnahmen dargestellt. An einer Aufnahme eines einzelnen Termins betrachtet, sind Unterschiede zwischen den Grauwerten verschiedener Fruchtarten zwar erkennbar, sie reichen jedoch keinesfalls aus, um einzelne Flächen einer bestimmten Kulturart zuordnen zu können. Mit dem Dreifarbenkomposit hingegen gelingt eine gute Unterscheidung der verschiedenen Fruchtarten, da die fruchtartentypische Radarrückstreuung eine unterschiedliche Farbgebung zur Folge hat. So zeichnen sich z.B. die Zuckerrüben im Dreifarbenkomposit durch eine hellblaue Färbung aus, da die Radarrückstreuung im Mai (Termin 22.05.96: kodiert mit Blau) am höchsten war. Das Winterweizenfeld hat auf Grund der höheren Radarrückstreuung Anfang August (Termin 01.08.96: kodiert mit Grün) eine mehr grünliche Farbgebung.

Bei der Betrachtung von Abb. 2, in welcher der Verlauf der mittleren Radarrückstreuung der Getreidearten in den Jahren 1996–1998 sowie von Zuckerrüben im Jahr 1996 mit Standardabweichung dargestellt ist, zeigt sich dieser Unterschied in der Ausprägung der Rückstreuprofile. So weist jede Fruchtart ein eigenes temporales Rückstreuprofil auf. Dies ermöglicht die Auswahl der SAR Aufnahmen zu den Zeiten im Jahr, an denen die Trennung der Fruchtarten am besten gelingt. Es zeigte sich, dass die beste Trennung von Wintergetreide von Ende Mai bis Anfang Juli möglich ist. Zuckerrüben lassen sich von Getreide im Mai und im August unterscheiden.

3.2 Wachstumsabhängiger Verlauf der Radarrückstreuung

Wird der Verlauf der mittleren Radarrückstreuwerte der Zuckerrübenfelder (Abb. 2) im Testgebiet Weilerswist betrachtet, so zeigt sich innerhalb des Jahres 1996 ein charakteristisches Rückstreuprofil: eine hohe Radarrückstreuung im März ($-6,46\text{ dB}$), gefolgt von einer geringen Radarrückstreuung im April ($-13,22\text{ dB}$) und eine weitgehend gleich bleibende hohe Radarrückstreuung

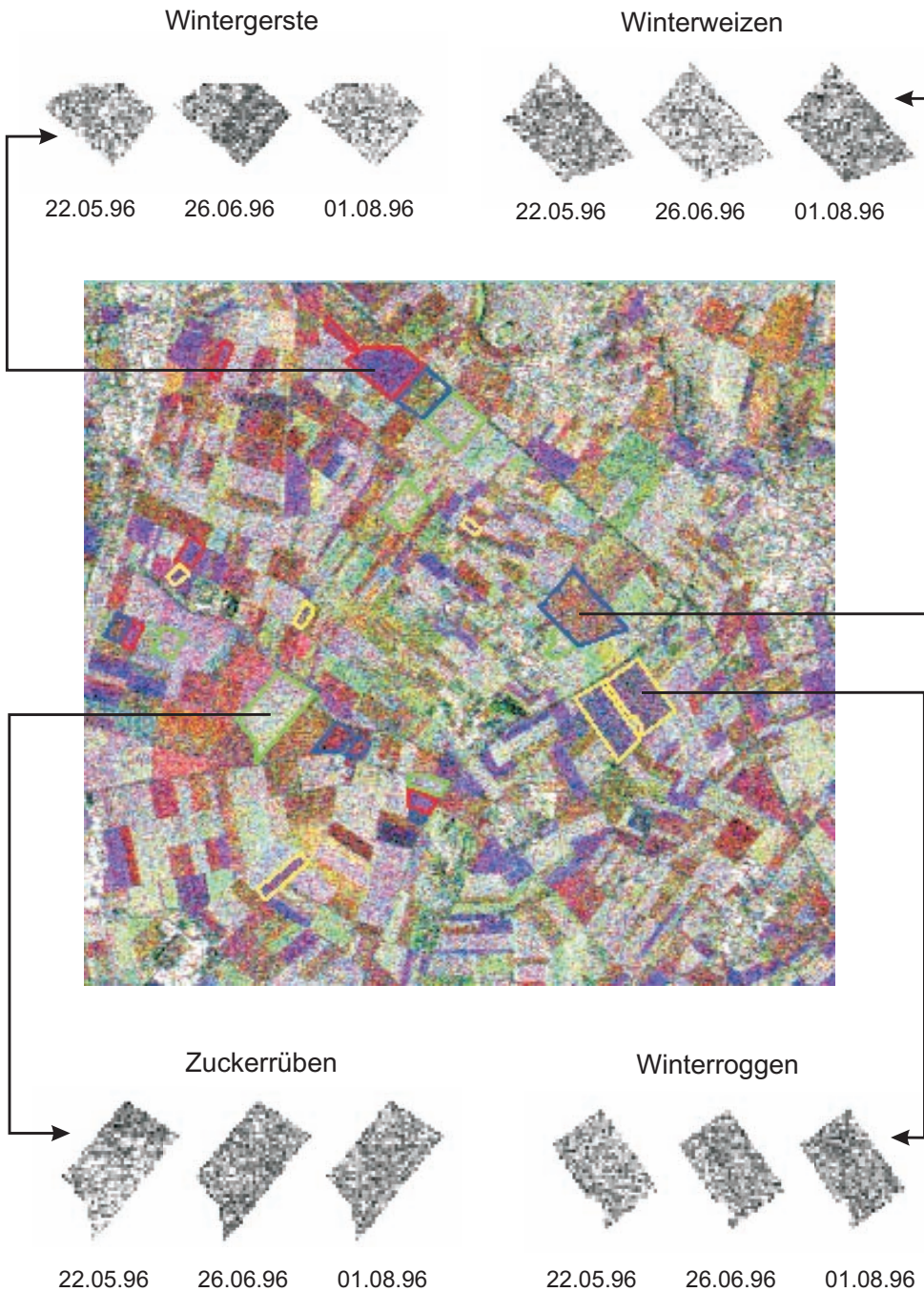


Abb. 1: Dreifarbenkomposit dreier ERS-Intensitätsbilder; blau: 22.05.96, rot: 26.06.96, grün: 01.08.96 mit den Testfeldern (Umrandung: rot: Wintergerste; blau: Winterweizen; gelb: Winterroggen; grün: Zuckerrüben) sowie exemplarisch die Grauwerte der Intensitäten der einzelnen Fruchtarten zu den jeweiligen Terminen.

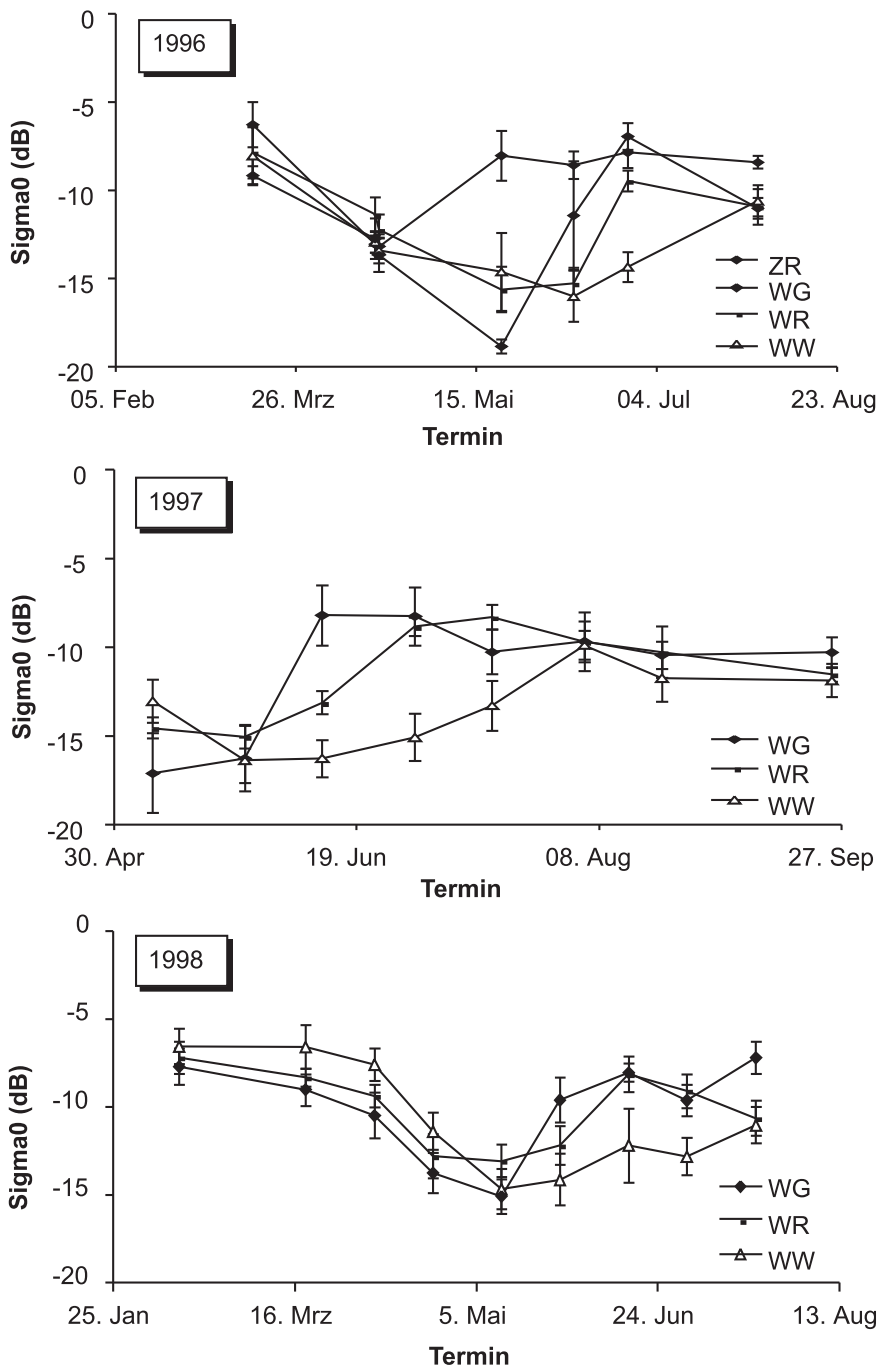


Abb. 2: Verlauf der mittleren Radarrückstreuung von Winterweizen (WW), Wintergerste (WG), Winterroggen (WR) und Zuckerrüben (ZR) in den Jahren 1996–1998. Der Fehlerbalken kennzeichnet +/- eine Standardabweichung (n = 6).

im Zeitraum von Mai bis Oktober ($-8,22$ bis $-7,41$ dB), d. h. in dem Zeitraum, in dem kontinuierliches Blattwachstum vorliegt.

Im Vergleich zu den Zuckerrüben veränderten sich die Rückstreuwerte der Wintergetreideflächen im Verlauf einer Vegetationsperiode wesentlich stärker. In den drei Beobachtungsjahren zeigten sich bei Winterweizen, Wintergerste und Winterroggen charakteristische Profile der Radarrückstreuung im Verlauf der Hauptvegetationsperiode. Die höhere Sensibilität des C-Bandes gegenüber Halmen bzw. schmalen Blättern liefert einen Erklärungsansatz, warum die Rückstreuprofile der Getreidearten ausgeprägter als die der Zuckerrüben sind (BARONTI et al. 1995). Die von BOUMAN & VAN KASTEREN (1991) beobachtete geringere Rückstreuintensität von Weizen und Gerste im Vergleich zu Kartoffeln und Zuckerrüben im X-Band mit VV-Polarisation erklärt KÜHBAUCH (1991) durch die lockere Struktur der Getreidebestände. Auf Grund der aufrechten Blatthaltung, senkrechter Orientierung der Halme und vermutlich infolge des relativ kleindimensionierten Blatt- und Halmaufbaus wird eine mehr diffuse Radarrückstreuung verursacht als an den planophil orientierten Blättern von Zuckerrüben und Kartoffeln.

Typisch für alle drei Getreidearten ist eine hohe Radarrückstreuung im Frühjahr (-6 bis -9 dB), die mit zunehmendem Pflanzenwachstum abnimmt und im Mai bzw. Juni ein Reflexionsminimum erfährt (WG bei ca. -17 dB; WW bei ca. -15 dB, WR bei ca. -14 dB). Im Verlauf der Abreife erfolgt ein Anstieg der Radarrückstreuung auf ca. -11 dB. Die Absorptionsmaxima der verschiedenen Getreidearten sind zeitlich verschoben und dies in der Reihenfolge, in der auch die Abreife der einzelnen Getreidearten erfolgt. REICH & GÜTH (1998) beobachteten dieses Verhalten bereits für Winterweizen, Wintergerste und Sommergerste.

In der vorliegenden Studie lag das Reflexionsminimum von Wintergerste Anfang (1998) bzw. Ende (1996) Mai und damit zeitlich vor den Reflexionsminima von Weizen

und Roggen. Das Rückstreusignal war zudem stärker gedämpft (ca. $1-4$ dB), d. h. es wurde ein absolutes Reflexionsminimum erreicht, das zum Zeitpunkt der Wachstumsstadien Ährenschieben bzw. Blüte beobachtet wurde. Der nächste Aufnahmetermin nach Erreichen des Reflexionsminimums war bei Wintergerste von einer im Vergleich zu den Rückstreuprofilen von Winterweizen und Winterroggen relativ hohen Radarrückstreuung (Differenz: 6 bis 8 dB) gekennzeichnet. Diese hohe Radarrückstreuung wird von SPÖNEMANN & SCHIECHE (1997) auf die Ausbildung der stark begranneten, waagrecht orientierten Ähren, die eine besonders starke Reflexion verursachen, zurückgeführt.

Im Vergleich zur Wintergerste, deren Rückstreuprofil im Zeitraum März bis Mai einen V-förmigen Verlauf nahm (Abb. 2), war die wachstumsabhängige Veränderung der Radarrückstreuung von Winterweizen weniger markant. Das Reflexionsminimum wurde Ende Mai (1998) bzw. Anfang Juni (1996, 1997) erreicht und der nachfolgende Anstieg war weniger stark ausgeprägt als bei Winterroggen und Wintergerste. Es war somit nicht möglich, den Signaturverlauf der Radarrückstreuung von Weizen mit einem bestimmten Wachstumsstadium in Verbindung zu bringen. In allen drei Versuchsjahren fiel jedoch der Bereich der minimalen Radarrückstreuung des ERS-C-Bands zwischen die Entwicklungsstadien Ährenschieben und Blüte.

Die Rückstreuprofile von Winterroggen erreichten in allen drei Beobachtungsjahren das Reflexionsminimum gegen Ende Mai zum Zeitpunkt der Blüte, jedoch war die Absorption geringer als bei den anderen Getreidearten. Das Radarrückstreuprofil zeichnet sich im Zeitraum März bis Juli durch einen annähernd U-förmigen Verlauf aus (Abb. 2).

Ein Vergleich unserer Ergebnisse mit denen anderer Autoren ist erschwert durch die Wiederholrate von $17,5$ bzw. 35 Tagen sowie durch den festgelegten Termin der Satellitenaufnahmen. Dadurch erhält jeder Autor Satellitenaufnahmen zu verschiedenen Zeitpunkten und zu verschiedenen

Wachstumsstadien. Es ist somit nicht möglich, den kontinuierlichen Verlauf der Radarrückstreuung über die gesamte Vegetationsperiode in einem Untersuchungsgebiet zu verfolgen. Folglich kann man auch nicht jedem Wachstumsstadium einen Radarrückstreuwert zuordnen bzw. das Reflexionsminimum zu einem definierten Wachstumsstadium bestimmen. So beobachteten BAN & HOWARTH (1998) Reflexionsminima bei Winterweizen und Gerste erst zum Wachstumsstadium der Fruchtbildung. CLEVERS et al. (1996) beschreiben eine abfallende Radarrückstreuung während des Schossens und eine schon ansteigende Radarrückstreuung nach dem Ährenschieben. MANGOLINI & ARINO (1996) konnten eine abnehmende Radarrückstreuung zum Zeitpunkt der Bestockung und während des Ährenschiebens feststellen. WOODING et al. (1993) beobachteten ebenfalls bei Winterweizen ein Absinken der Rückstreuung von der Bestockung bis zum Erreichen der maximalen Frischmasse zum Zeitpunkt der Blüte, gefolgt von einem Anstieg während der Fruchtbildung bis zur Ernte.

Der fruchtartenspezifische Verlauf von Rückstreuprofilen kann grundsätzlich als Bestimmungsmerkmal für die Fruchtartenerkennung dienen (BOUMAN & UENK, 1992; KÜHBAUCH, 1991). BROWN et al. (1993) stellten in Kanada bei Sommergetreide fest, dass sich im Juli mit Erreichen des Wachstumsstadiums Ährenschieben/Blüte die Fruchtartenklassifizierung mittels Radarfernerkundung verbessert. Auch KEITHLEY & ROBERTS (1996) geben an, dass mit multitemporalen Radaraufnahmen Unterschiede in der Pflanzenphänologie bestimmt werden können, da sie Veränderungen der Radarrückstreuung bewirken. Beste Unterscheidbarkeit für Fruchtarten ergibt sich hierbei zu den mittleren Wachstumsstadien. LEMOINE et al. (1997) bemerkten, dass Winterweizen und Wintergerste am besten im Juni und Juli zu unterscheiden sind, da die Abreife einen klaren Effekt auf die Radarrückstreuung hat. Ebenso ermittelten REICH & GÜTH (1998) ein Minimum des Rückstreusignals bei Wintergerste und Winterweizen kurz vor der Abreife, wobei das Mi-

nimum bei Wintergerste durch die frühere Abreife auch zeitlich eher auftritt.

KOHL et al. (1994) beobachteten gleich verlaufende Rückstreuprofile einer Fruchtart auf unterschiedlichen Bodenarten. Dies zeigt, dass eine Fruchtart durch ihr Rückstreuprofil gut gekennzeichnet und hierdurch ein guter Ansatz zur Klassifikation geliefert wird.

Die oben beschriebenen Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, Fruchtarten zu bestimmten Zeiten des Jahres mit Hilfe des ERS SARs zu unterscheiden. Anders als mit optischen Satellitenaufnahmen ist jedoch die Szene eines einzelnen Aufnahmetermins für die Flächeninventur der Hauptfruchtarten untauglich. Es sollten mindestens drei Radarszenen für eine Landnutzungsinventur vorliegen.

Danksagung

Das Projekt wurde durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR, 50EE9708) und das Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten (BML, 95HS017) gefördert. Die European Space Agency (ESA) stellte die ERS-Szenen zur Verfügung (Förderkennzeichen A02.D141). Für die Unterstützung sei an dieser Stelle gedankt.

4 Literatur

- BAN, Y. & HOWARTH, P.J., 1998: Orbital effects on ERS-1 SAR temporal backscatter profiles of agricultural crops. – *International Journal of Remote Sensing* **19** (17): 3465–3470.
- BARONTI, S., DEL FRATE, F., FERRAZOLLI, P., PALOSCIA, S., PAMPALONI, P. & SCHIAVON, G., 1995: SAR polarimetric features of agricultural areas. – *International Journal of Remote Sensing*, Vol. **14**: 2639–2656.
- BORGEAUD M., NOLL, J. & BELLINI, A., 1995: On the Use of ERS-1 Multi-Temporal SAR Data for Agricultural Applications. – *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 904–907.
- BOUMAN, B.A.M. & VAN KASTEREN, H.W.J., 1991: Ground-Based X-Band (3 cm Wave) Radar Backscattering of Agricultural Crops. I. Sugar Beet and Potato; Backscattering and Crop Growth. – *Remote Sensing of Environment* **34**: 93–105.

- BOUMAN, B. A. M. & UENK, D., 1992: Crop Classification Possibilities with Radar in ERS-1 And JERS-1 Configuration. Remote Sensing of Environment **40**: 1–13.
- BROWN, R. J., BEDARD, D., BRISCO, B. & NAUNHEIMER, J., 1993: Multi-temporal ERS-1 for crop discrimination. – Proc. 2nd ERS-1 Symp., Hamburg, Germany: 57–62.
- CLEVERS, J. G. W., KRAMER, H., VAN LEEUWEN, H. J. C. & HOEKMAN, D. H., 1996: The merit of JERS-1 Data in addition to ERS-1 Data for land cover monitoring. – International Archives of Photogrammetric and Remote Sensing Vol XXXI, Part B7, Vienna.
- European Space Agency (ESA), 1989: ERS-1, A new tool for global environmental monitoring in the 1990's. – esa BR-36. ISBN 92-9092-019-X.
- European Space Agency (ESA), 1996: Applications Achievements of ERS-1. New Views of the Earth. – Esa SP-1176/II. ISBN 92-9092-141-2.
- LAUR, 1998: Calibration of the ERS SAR PRI data product. – earthnet online
- LEMOINE, G., KIDD, R., VAN LEEUWEN, H., 1997: Methodological advancements in using ERS SAR data for crop area estimation. – ESA, 3rd ERS Symp. Florence.
- KEITHLEY, C. & ROBERTS, M., 1996: Examination of multi-temporal ERS-1 radar over the Rainwater Basin. – IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens.: 227–229.
- KÜHBAUCH, W., 1991: Anwendung der Radarfotografie in der Landwirtschaft. – Die Geowissenschaften, 9. Jahrg. Nr. 4–5: 122–127.
- MANGOLINI, M. & ARINO, O., 1996: ERS-SAR and Landsat-TM multitemporal fusion for crop statistics. – Earth Observation Quarterly **51**: 11–15.
- REICH, M. & GÜTH, S., 1998: Improvement of agricultural land use information from multi-temporal ERS-SAR data for test site „Ostalb“/Germany. – Esa SP 441 Proc. Sec. Int. Workshop on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Landapplications. 21–23.10.98 Estec, Norwijk, Netherlands: 141–149.
- SCHMULLIUS, C., NITHACK, J. & KERN, M., 1993: Comparison of multi-temporal ERS-1 and airborne DLR E-SAR image data for crop monitoring. – Proc. 2nd ERS-1 Symp. Hamburg, Germany: 79–83.
- SPÖNEMANN, J. & SCHIECHE, B., 1997: Fernerkundung mittels Satelliten als Datenquelle der Agrarstatistik am Beispiel des Landkreises Göttingen. – Sonderdruck aus: Geographie in der Grundlagenforschung und als Angewandte Wissenschaft, Göttinger Akzente, Göttinger Geographische Abhandlungen 100.
- STADLER, R., 1996: Fernerkundung – ein neuer Weg zur Datengewinnung für die amtliche Statistik. – Jahrbuch Baden-Württemberg.
- WOODING, M. G., ZMUDA, A. D., GRIFFITHS, G. H., 1993: Crop discrimination using multi-temporal ERS-1 SAR data. – Proc. 2nd ERS-1 Symp., Hamburg, Germany: 51–56.
- Anschriften der Verfasser:
 Dipl.-Ing. agr. MARIA HAMACHER, Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau, Universität Bonn, Katzenburgweg 5, 53115 Bonn,
 e-mail: m.hamacher@freenet.de oder hamacher@lwk-rheinland.nrw.de
 Dr. INGO RADEMACHER, Universität Bonn, Institut für Pflanzenbau, Katzenburgweg 5, 53115 Bonn, Tel.: 0228-73-3262, Fax: 0228-73-2870,
 e-mail: radem@uni-bonn.de
 Dipl.-Phys. STEFAN HAWLITSCHKA, FGAN Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften e. V., Neuenahrer Straße 20, 53343 Wachtberg, Tel.: 0228-943 50, Fax: 0228-85 6277,
 e-mail: hawi@fgan.de
 Prof. Dr. WALTER KÜHBAUCH, Universität Bonn, Institut für Pflanzenbau, Katzenburgweg 5, 53115 Bonn, Tel.: 0228-73 3262, Fax: 0228-73 28 70,
 e-mail: lap@uni-bonn.de
- Manuskript eingereicht: November 2000
 Angenommen: Dezember 2000