

Die Aktualisierung der »Digitalen Grundkarte Landwirtschaft« in Thüringen mit Hilfe von Fernerkundungsdaten

VOLKER HOCHSCHILD, Tübingen, CHRISTIAN WEISE & PETER SELSAM, Jena

Keywords: remote sensing, updating of maps, digital basemap agriculture, Thuringia, orthophoto

Zusammenfassung: Im Rahmen des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS) benötigt der Freistaat Thüringen aktuelle Informationen über die Nutzungsarten und Schlaggrenzen landwirtschaftlicher Nutzflächen. Bisher wurde die flächendeckende Inventarisierung auf der Basis von nur heterogen aktualisierten Orthophotos bewerkstelligt. Ziel der vorgestellten Studie ist die Analyse, ob die Orthophotos eventuell durch satellitengetragene Fernerkundungsdaten ersetzt werden können und die Entwicklung einer zeit- und kostensparenden operationellen Auswertemethode, die sowohl Change-Detection-Methoden als auch optimierte Geländekontrollen beinhaltet.

Summary: *Use of Remote Sensing Data for Updating of the Digital Basemap Agriculture in Thuringia.* On the base of the Integrated Agricultural Administration and Controlling System (InVeKoS) the Federal State of Thuringia (Germany) has a strong interest in actual, area covering land use types and borders. Until now the area covering inventory is based on optical orthophotos, which are updated only heterogeneously. Goal of this study is to analyze whether these orthophotos might be replaced by spaceborne remote sensing data and the development of a time and cost efficient operational evaluation method, which comprises change-detection-methods as well as optimized field control.

1 Einleitung

Laut EU-Recht sind alle Bundesländer ab 01.01. 2005 dazu verpflichtet, flächendeckende Informationen über landwirtschaftliche Nutzflächen digital in Geographischen Informationssystemen bereitzustellen. In Thüringen wird das in Form der Digitalen Grundkarte Landwirtschaft (DGK-Lw) als Teil des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS) durchgeführt. Zu ihrer Erstellung sind aktuelle Informationen über Landnutzungstypen und Schlaggrenzen notwendig.

Bisher wurde die Digitale Grundkarte Landwirtschaft anhand visueller Interpretation von SW-Orthophotos aktualisiert. Leider konnte jedes Jahr aber nur ein kleiner Bereich von Thüringen befliegen werden, so dass sich im Hinblick auf den Aktualitäts-

status ein sehr heterogener „Flickenteppich“ ergab. Daraus ergab sich die Zielsetzung für die von der Universität Jena in Zusammenarbeit mit der Firma HUGIN GmbH und der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei durchgeführte Studie:

- die gleichzeitige Erfassung der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche Thüringens mit satellitengestützter Fernerkundung,
- die Entwicklung eines operationellen Verfahrens zur flächendeckenden Datenauswertung,
- die Bewertung der Fernerkundungsmöglichkeiten hinsichtlich Kostenersparnis und Aktualisierung der DGK-Lw sowie
- die Bestimmung der Landnutzungsänderung zur Optimierung der Vor-Ort-Kontrolle.

Im Einzelnen stellte sich daher die Aufgabe der Erkennung der realen Nutzungsgrenzen, der Trennung zwischen extensiv bewirtschaftetem Grünland und Ackerland sowie der Differenzierung zwischen verschiedenen Feldfrüchten. In Anlehnung an bestehende Untersuchungen zur landwirtschaftlich orientierten Auswertung optischer Fernerkundungsdaten (GONZALES 2001, LUDOWICY et al. 2002, OWE et al. 2004) erfolgte die multitemporale Analyse von IRS-1D und Landsat 7 ETM Daten. Dabei ging es vor allem um die Ableitung der Schlaggrenzen aus den räumlich hoch auflösenden panchromatischen IRS-1D-Daten (5,8 m). Leider erlauben die Witterungsbedingungen in Mitteleuropa mit häufiger Bewölkung nur wenige Aufzeichnungen optischer Satellitensysteme, keine optimalen Bedingungen für die Beobachtung der phänologischen Entwicklung. Hier liegt der wesentliche Vorteil von satellitengestützten Mikrowellensystemen, die kontinuierliche Datenakquisitionen ermöglichen. Landwirtschaftliche Auswertungen von Radardaten wurden schon von GOODING et al. 1989 vorgestellt. Verschiedene Untersuchungen nutzten flugzeuggetragene Systeme (SCHMULLIUS 1992, FREEMAN et al. 1994, TACONET et al. 1994, SCHMULLIUS et al. 1994, SCHMULLIUS & NITHACK 1996, HEROLD et al. 2000), andere wurden mit multifrequenten Systemen durchgeführt (WEVER & BODECHTEL 1994, BAYER 1995, HAGG & STIES 1996). BARTSCH et al. 1999 waren in der Lage 13 verschiedene Landnutzungsklassen auf Grundlage der Kohärenzinformation aus ERS-Tandem-Daten zu unterscheiden. THIEL 2004 präsentierte ein Klassifikationsschema zur Unterscheidung von Landnutzungsklassen aus polarimetrischen Radardaten, das Genauigkeiten optischer Klassifikationen erreicht.

2 Datengrundlage und Datenintegration im GIS

Als optische Satellitenbilder standen drei panchromatische IRS-1D (03.04., 09.07. und 17.07.2002) sowie zwei Landsat 7 ETM (05.04. und 12.08.2002) Szenen zur Verfügung. Die Radardaten umfassten ERS-2

und ENVISAT A-SAR Bilder. Als digitales Geländemodell stand ein DGM des Thüringer Landesvermessungsamtes auf Grundlage der TK10 in einer Rasterauflösung von 25 m zur Verfügung. Ortholuftbilder lagen im Maßstab 1:12 500 für ausgewählte Landkreise im Norden Thüringens vor. Die Digitale Grundkarte Landwirtschaft mit den aus den Ortholuftbildern erfassten Grenzen der Landnutzung (Ackerland, Grünland, Wälder, Gewässer, Obst, Sonderflächen) lag nur als Rohvektorenkarte (digitale Feldblockkarte) vor, in die die Anbaudaten noch zugewiesen werden mussten.

3 Multitemporale Auswertung optischer Daten

Die optischen Datensätze von Landsat und IRS wurden zunächst standardisierten Vorverarbeitungsmethoden wie Atmosphärische Korrektur, Geokodierung und Topographischer Normalisierung unterzogen. Danach schloss sich die eigentliche Datenanalyse und -auswertung in Form der Trainingsgebietsauswahl, deren statistischer Spektralanalyse sowie der anschließenden überwachten Klassifikation der multitemporalen Aufnahmen an. Dabei wurde ein objektorientierter Ansatz mit einem eigens von HUGIN entwickelten Objektbildungsalgorithmus angewendet. Er beruht im Wesentlichen auf texturanalytischen Methoden und erzeugt Bildobjekte die innerhalb der Objektgrenzen sehr wenig Textur aufweisen und am Außenrand eine Kante (Farb- oder Helligkeitskontrast) besitzen. Der verwendete Algorithmus nutzt hoch auflösende panchromatische und multispektrale Bilddaten in einem Arbeitsgang. Ziel des Vorgehens ist, die geometrische Genauigkeit des panchromatischen Bildes mit der Information über Objektgrenzen zu kombinieren, die hauptsächlich an Farbkontrasten erkennbar werden und im panchromatischen Bild allein nicht detektierbar sind (KRAUSE et al. 2004).

Im Vorfeld der eigentlichen Klassifikation wurde zunächst ein wissenschaftlicher Klassenschlüssel erstellt, in dem die Kriterien zur Trennung landwirtschaftlicher Nutzflächen

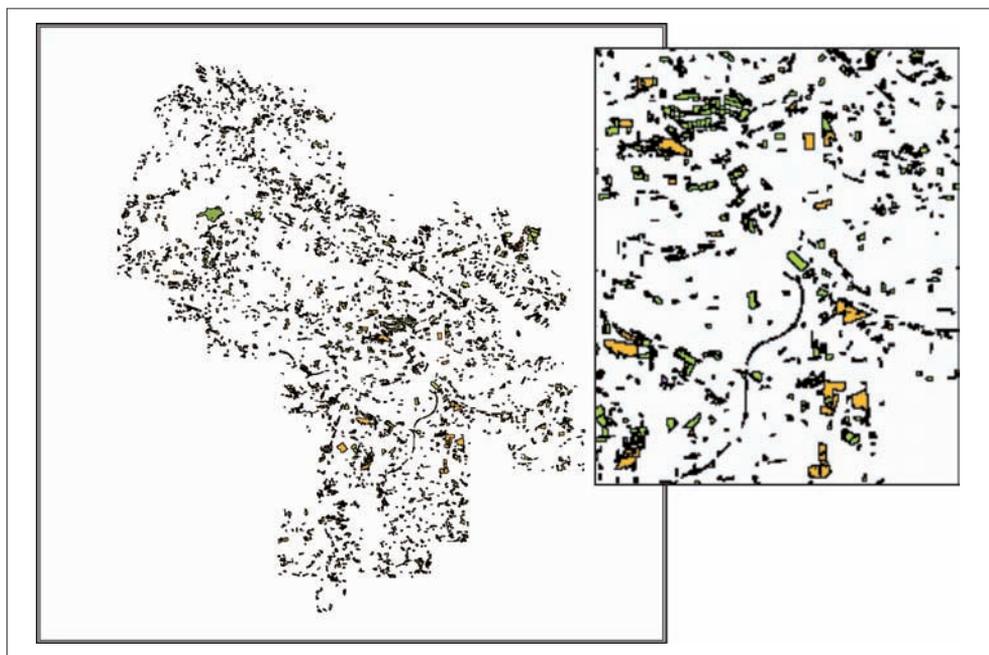


Abb. 1: Differenzen der optischen Bildanalyse zur »Digitalen Grundkarte Landwirtschaft«.

von anderen Landnutzungen (Größe, Form, Homogenität) formuliert wurden. Dabei ließen sich Ackerflächen sehr gut ableiten, allerdings ist die Zuordnung der angebauten Feldfrucht schwierig. Diese hängt wesentlich von der phänologischen Entwicklung (Anbau-, Wachstums- und Reifezeitpunkt) sowie der Farbe der reifen Frucht ab. Frisch umgebrochene Äcker sind leicht zu erkennen, frisch angesäte Frucht sieht dagegen überall gleich aus (KRAUSE et al. 2004).

Die Klassifikation wurde anhand von 1400 Referenzflächen durchgeführt, die 80 interne Klassen (mit Beschreibung der Klassenvariabilität) bildeten. Diese wurden als Ergebnis zu 21 semantischen Klassen zusammengefasst. Als weitere Ergebnisse wurden eine generalisierte Klassifikation, die der digitalen Feldblockkarte entspricht sowie eine Differenzkarte (Abb. 1) angefertigt.

Zum Abschluss der Auswertungen wurde eine Genauigkeitsbewertung durchgeführt. Dazu wurde eine Matrix mit 1000 Punkten

als Stichprobe ausgewählt, in der das Klassifikationsergebnis mit der DGK-Lw verglichen wurde. Ackerland und Holzung/Wald wurden zu 90 % richtig klassifiziert, lediglich die Grünlandklasse wurde deutlich schlechter klassifiziert (ca. 60%). Das liegt in erster Linie daran, dass in der DGK-Lw auch verbuschte- und Brachflächen in der Grünlandklasse vorgefunden werden.

4 Multitemporale Auswertung der Radardaten

Die Vorteile von Mikrowellendaten im Rahmen der Erfassung landwirtschaftlicher Nutzflächen sind nahe liegend:

- Kostenersparnis im Vergleich zu digitalen Orthophotos;
- sie liegen flächendeckend vor und sind komplett digital auswertbar;
- da sie unabhängig von Wetter- und Beleuchtungsbedingungen sind, können mehrere Aufzeichnungen während der Vegetationsperiode gemacht werden.

Während der ERS-2-Satellit C-Band Daten in VV-Polarisation aufzeichnet, ermöglicht der ENVISAT A-SAR Sensor die Kombination von 3 Polarisationen. Zur maximalen Informationsextraktion als Ergänzung zum ERS-Sensor wurde der alternierende Polarisationsmodus (HH und HV) gewählt. Dadurch waren für jeden Überflug theoretisch 3 Polarisationen verfügbar.

Informationszugewinn aus Fernerkundungsdaten basiert auf der Interaktion elektromagnetischer Strahlung mit Objekten an der Erdoberfläche. Besonders Feldfrüchte durchlaufen verschiedene phänologische Stadien (Aussaat, Aufgang, Blüte, Ernte) in denen sich die Pflanzenphysiologie verändert. Diese Stadien beeinflussen die Radarrückstreuung sehr stark. Man kann daher verschiedene Landnutzungsarten aufgrund ihrer multitemporalen Rückstreueigenschaften unterscheiden, was bei einem singulären Aufnahmezeitpunkt nicht immer möglich ist. Die Beobachtungsperiode dauerte daher von März bis Oktober 2003. Abb.2 zeigt den phänologischen Kalender mit den Überflugszeitpunkten der Radarsensoren ERS-2 und ENVISAT A-SAR.

Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Landnutzungsklassifikation sind zuverlässige Geländevergleichsdaten. Hierzu lagen zum Einen GIS-Karten ausgesuchter Betriebe Nordthüringens vor (Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei) und zum Anderen wurden simultan zu den Satellitenüberflügen Geländekartierungen der Landnutzung durchgeführt und ebenfalls digital erfasst.

Auch die Radardaten wurden verschiedenen Vorverarbeitungsschritten unterzogen. Dazu gehörten im Einzelnen die Geokodierung anhand von etwa 300 Passpunkten sowie eine Speckle-Filterung mit einem 11 × 11 Gamma-Map-Filter. Zum Schluss wurde der Rückstreuoeffizient σ^0 berechnet, um Objekte die von verschiedenen Sensoren aufgezeichnet wurden verglichen zu können. So konnten multipolarimetrische Kompositen eines einzelnen Aufnahmeterrains oder multitemporale Kompositen einer einzelnen Polarisation zusammengestellt und visuell interpretiert werden.

Darüber hinaus wurden aber auch statistische Signaturanalysen der Rückstreuoeffizienten in den einzelnen Polarisatio-

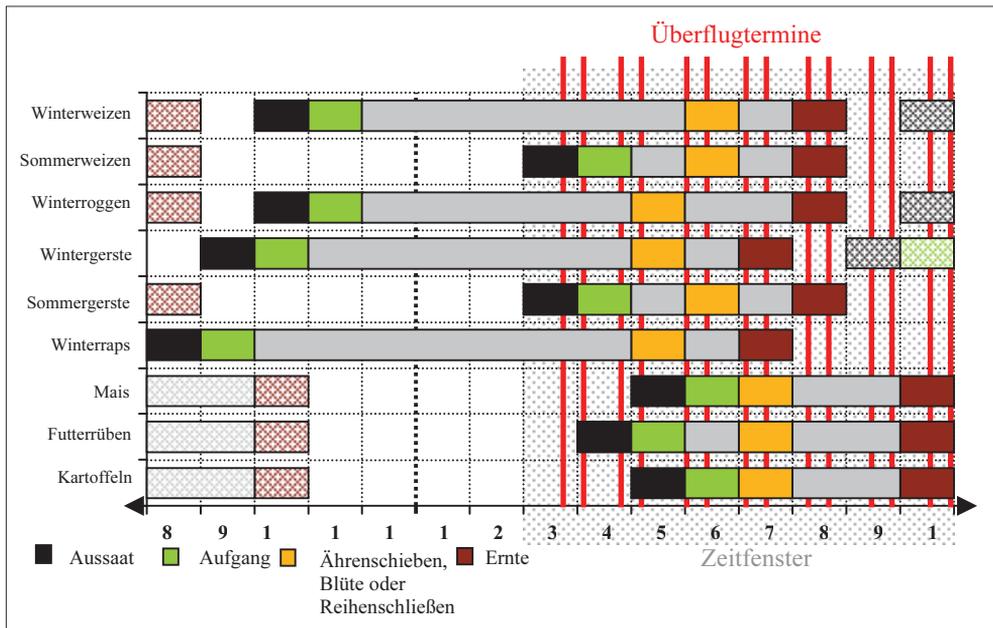


Abb. 2: Zeitfenster der Datenaufnahme und phänologische Stadien ausgewählter Fruchtarten.

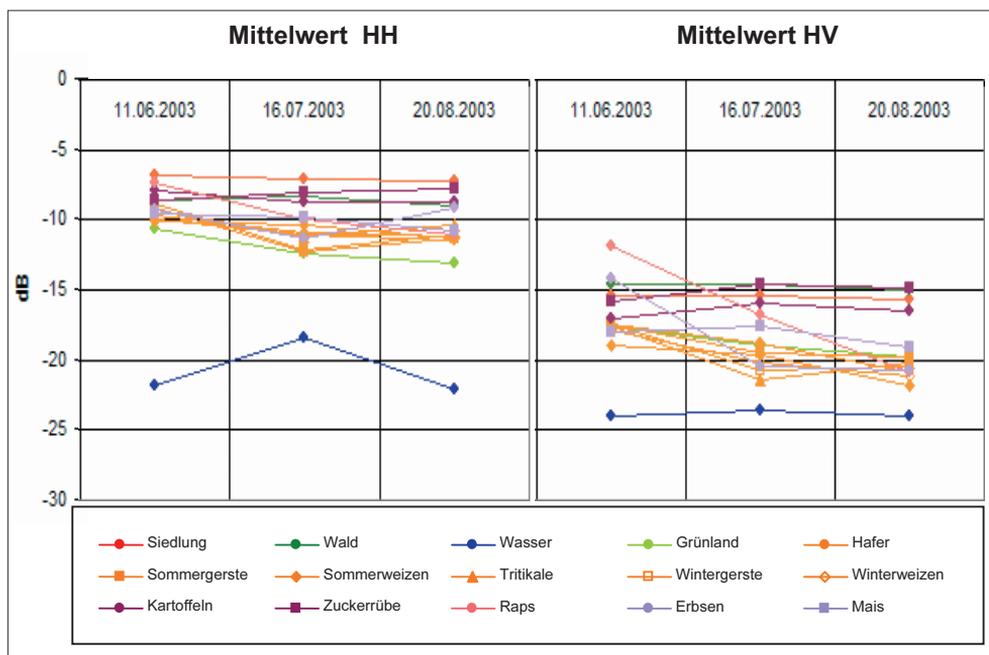


Abb. 3: Vergleich der Rückstreuung in der HH- (links) und der HV-Polarisation (rechts). Das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Klassen in der HH-Polarisation ist deutlich zu erkennen. Siedlungen haben eine höhere Rückstreuung als Getreide, Grünland oder Wasser. In die Klassifikation wurde aber auch die phänologische Entwicklung beispielsweise des Raps (deutliche Abnahme der Rückstreuung in der Kreuzpolarisation HV) einbezogen.

nen durchgeführt, um erste Abschätzungen der Klassendifferenzierung formulieren zu können. Im Allgemeinen zeigen alle landnutzungsspezifischen Kurven ähnliche Verläufe (Abb. 3), allerdings ist die Rückstreuung in der Kreuzpolarisation (HV) höher und weist eine höhere Varianz auf (10 dB gegenüber nur etwa 6 dB in den beiden Co-Polarisationen HH und VV). Schließlich wurde anhand von 10 Bändern eine multitemporale und multisensorale Klassifikation durchgeführt, bei der die Klassen „Wasser“, „Grünland“, „Kartoffeln“, „Zuckerrüben“, „Raps“, „Erbsen“ und „Mais“ einfach getrennt werden konnten. Dies gilt nicht für die verschiedenen Getreidearten, deren Standardabweichungen der Rückstreuung sich stark überlappten und somit eine eindeutige Klassenzuweisung aufgrund der Radarrückstreusignatur nicht erlaubten.

Neben dem pixel-basierten Klassifikationsansatz wurde eine objektorientierte Klassifikation durchgeführt.

Das hat den Vorteil, dass die Mittelung der spektralen Eigenschaften auch die Variabilität der Klassencharakteristik reduziert. Darüber hinaus können kontext- und nachbarschaftsbasierte Kriterien in den Klassifikationsprozess integriert werden.

In einem ersten Schritt wurde die Segmentierung aller Radarbilder durchgeführt (Abb. 4). Dabei wurden die spektralen Eigenschaften (Grauwert-Homogenität) zu 90% und Formparameter (Beschreibung der äußeren Form der Segmente) zu 10% gewichtet. In einem zweiten Schritt wurden die Trainingsgebiete aufgrund der Geländekartierung ausgewählt und die Zugehörigkeitsfunktionen (Bsp.: Siedlung – Mittelwert VV 02.04.2003: –36 bis –34 dB) definiert. Darauf folgte im dritten Arbeits-

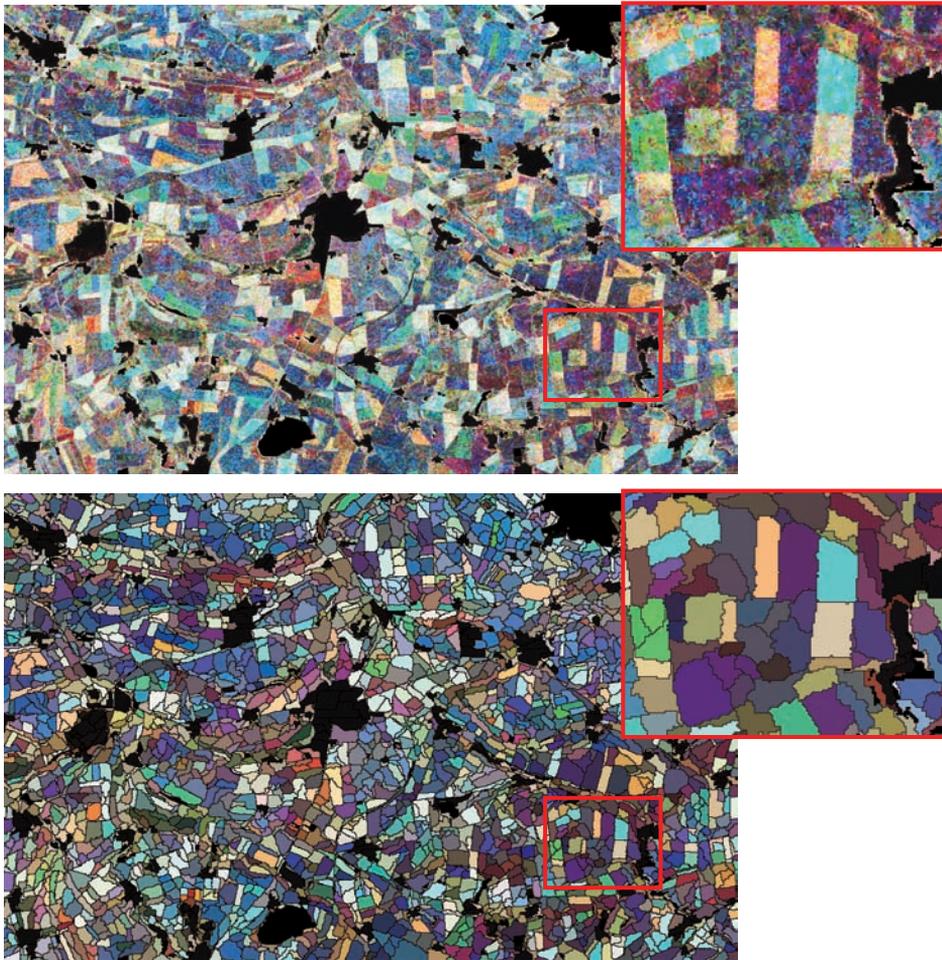


Abb. 4: Vergleich zwischen RGB-Komposite (oben) und objektorientiertem Segmentierungsergebnis (unten).

	Mikrowellen Klassifizierung					
DGK-Lw	Ackerland	Siedlung	Wasser	Grünland	Wald/ Kahlschläge	Summe
Ackerland	94,8	0,0	0,0	4,9	0,4	100,0
Grünland	42,9	0,0	0,0	57,1	0,0	100,0
Kahlschläge	0,0	0,0	0,0	15,4	84,6	100,0
Ungenutzt	35,7	38,1	4,8	7,1	14,3	100,0
Andere Flächen	71,4	0,0	0,0	28,6	0,0	100,0
Wald	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0

Abb. 5: Genauigkeitsbewertung durch Vergleich der Digitalen Grundkarte Landwirtschaft (DGK-Lw) mit dem Klassifikationsergebnis der Radardatenauswertung.

schritt die überwachte Klassifikation indem die Segmente den thematischen Klassen zugeordnet wurden. Dabei sind Algorithmen (z. B. Nearest Neighbour) für die eindeutige Zuordnung notwendig.

Zum Schluss wurde unter Verwendung der DGK-Lw analog zu den optischen Auswertungen eine Genauigkeitsbewertung durchgeführt. Da die Radardaten ein geringeres Gebiet abdeckten, wurden nur 400 Stichprobepunkte verwendet. Sehr gute Übereinstimmungen gab es bei den Klassen „Siedlung“, „Wasser“, „Ackerland“, „Holzung“ und „Wald“ (Abb. 5). Nur die „Grünland“-Klasse wies analog zu den optischen Daten die geringsten Klassifikationsgenauigkeiten auf. Die Gründe dafür liegen ebenfalls in der Einbeziehung der Verbuchungs- und Brachflächen sowie dem Vergleich mit der nicht aktuellen DGK-Lw. Insofern konnten Fehlklassifikationen auch Veränderungen enthalten. So konnten 54% der veränderten Gebiete bei einer Geländekontrolle tatsächlich als Landnutzungsänderung bestätigt werden.

5 Fazit

Die Veränderungsflächen wurden im Maßstab 1:25 000 kartiert und der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft zur Verfügung gestellt. Bisher wurden vergleichbare Inventuren nur etwa alle 4 Jahre mit Hilfe der Orthophotos durchgeführt. Jetzt besteht die Möglichkeit der jährlichen Aktualisierung, indem die Veränderungsflächen erfasst werden und damit die Vor-Ort-Kontrolle auf etwa 10% der bisherigen Belastung reduziert werden kann, die dafür notwendigen Kosten sich aber nicht vervierfachen, sondern lediglich das 1,5 bis 2-fache betragen.

Die Mikrowellenklassifikation konnte nicht alle Schlaggrenzen mit der geforderten Genauigkeit von weniger als 10 m erkennen. Dennoch sind signifikante Landnutzungsveränderungen deutlich sichtbar. Das im Vergleich zu den optischen Sensoren nur unwesentlich schlechtere Klassifikationsergebnis zeigt einen großen Vorteil der Radardaten: die aktuelle Verfügbarkeit der Radar-

sensoren ERS-2, ENVISAT und auch RADARSAT erlaubt eine kontinuierliche Datenaufzeichnung und eine regelmäßige Wiederholung der Inventarisierung. Damit können Landnutzungsstatistiken und Erntevorhersagen, gerade für kleinere räumliche Einheiten (beispielsweise Landkreise, etc.) zur Verfügung gestellt werden. Die bisher noch unzureichenden räumlichen Genauigkeitsanforderungen werden durch Mikrowellensysteme wie ALOS (vollpolarimetrisches L-Band-SAR, Start 2005) und TerraSAR-X (hoch auflösendes X-Band-SAR, Start 2006) in naher Zukunft gelöst werden können und damit einen weiteren Einsatz von Radardaten für landwirtschaftliche Inventarisierungen forcieren. Im Moment stellt die Kombination beider Aufnahmesysteme die beste Lösung dar: Kantenextraktion aus optischen Daten und Bestimmung der Landnutzungsart aus multitemporalen Radardaten.

Danksagung

Dank gebührt dem Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt für die Förderung der vorgestellten Projektarbeiten sowie dem Kompetenzzentrum „Dynamik komplexer Geosysteme“ für die Koordination. Die ERS und ENVISAT-Satellitendaten wurden von der ESA im Rahmen des AO731 zur Verfügung gestellt.

Literatur

- BARTSCH, A., HOCHSCHILD, V. & FLÜGEL, W.A., 1999: Land cover change detection with the use of ERS-1/2 tandem data on the northern bound of the Thüringer Wald. – Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 8, Vorträge 18. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF 13.–15. 10. 1999, Essen.
- BAYER, T., 1995: Untersuchung des Informationsgehalts und rechnergestützte Klassifikation multifrequenter und multipolarimetrischer DC-8-SAR-Daten des Untersuchungsgebietes Gilching-Oberpfaffenhofen. – DLR-FB-95-14, Oberpfaffenhofen.
- FREEMAN, A., VILLASENOR, J., KLEIN, J.D., HOOGEBOOM, P. & GROOT, J. 1994: On the use of

- multi-frequency and polarimetric radar backscatter features for classification of agricultural crops. – *International Journal of Remote Sensing*, **15** (9): 1799–1812.
- GONZALES, G., 2001: Agriculture and Earth Observation. – EO-workshops, European Earth Observation research and applications on the environment, EUR 20433, Brussels.
- GOODING, R., DOKTER, K., KUPFER, G. & KÜHBAUCH, W., 1989: Eignung von SAR-Daten zur Gewinnung von Agrarinformation. – *GIS*, **2** (2): 23–28, Karlsruhe.
- HAGG, W. & STIES, M., 1996: Bundesweite Landnutzungskartierung mit ERS-1 SAR-Bilddaten. – Karlsruhe.
- HEROLD, M., HOCHSCHILD, V. & SCHMULLIUS, C., 2000: Multifrequente und multipolarimetrische Radarfernerkundung hydrologisch relevanter Parameter der Landoberfläche. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, 2000 (5): 355–360, Stuttgart.
- KRAUSE, P., SELSAM, P., WEISE, C., CHMARA, S., SAGISCHEWSKI, H. & DONNARUMMA, F., 2004: Fernerkundungsbasierte Feststellung der Veränderungen der Grenzen der landwirtschaftlich genutzten Flächen, als Grundlage für die Aktualisierung der Digitalen Grundkarte Landwirtschaft (DGK-Lw). – Endbericht, Jena.
- LUDOWICY, C., SCHWAIBERGER, R. & LEITHOLD, P., 2002: Precision farming – Handbuch für die Praxis. – Frankfurt/Main.
- OWE, M., D'URSO, G., GOUWELEEUW, B.T. & JOCHUM, A.M., 2004: Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology VI. – *Proceedings of SPIE*, Volume 5568, Maspalomas.
- SCHMULLIUS, C., 1992: Radarfernerkundung landwirtschaftlicher Flächen mit einem flugzeuggetragenen L-, C- und X-Band Scatterometer. – *Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen, Reihe D, Band 3*, Berlin.
- SCHMULLIUS, C., NITHACK, J. & KERN, M., 1994: Comparison of multitemporal ERS-1 and airborne E-SAR image data for crop monitoring. – *Earth Observation Quarterly*, **43**: 9–12, Noordwijk.
- SCHMULLIUS, C. & NITHACK, J., 1996: Temporal multiparameter airborne DLR E-SAR images for crop monitoring. – Summary of the CLEOPATRA Campaign 1992.
- TACONET, O., BENALLEGUE, M., VIDAL-MADJAR, D., PREVOT, L., DECHAMBRE, M. & NORMAND, M., 1994: Estimation of Soil and Crop Parameters for Wheat from Airborne Radar Backscattering Data in C and X Band. – *Remote Sensing of Environment*, **50**: 287–294.
- THIEL, C. 2004: Polarimetrische Auswertung flugzeuggetragener E-SAR-Daten zur Bestimmung hydrologischer Modellparameter im Einzugsgebiet der Talsperre Zeulenroda (Thüringen). – Promotion Universität Jena.
- WEVER, T. & BODECHTEL, J., 1994: Simulation eines mehrfrequenten X-SAR/SIR-C Bildes aus Flugzeugdaten für die Erfassung der Landnutzung. – *ZPF* **62** (2): 72–75, Karlsruhe.

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr. rer. nat. VOLKER HOCHSCHILD
Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Geographisches Institut, Rümelinstr. 19–21, D-72074 Tübingen, Tel.: 07071-29 75316, Fax: 07071-29 5378
volker.hochschild@uni-tuebingen.de

Dipl.-Geogr. CHRISTIAN WEISE
Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geographie, Lößdergraben 32, D-07743 Jena, Tel.: 03641-948 853, Fax: 03641-948 852
christian.weise@uni-jena.de

Dr. rer. nat. PETER SELSAM
HUGIN GmbH, Talstraße 84, D-07743 Jena, Tel.: 03641-351 811, Fax: 03641-351 825
hugin.gmbh@t-online.de

Manuskript eingereicht: Januar 2005
Angenommen: Februar 2005