

# Extraktion von Landbedeckungsinformationen - ein automatisierter Ansatz mittels multitemporalen C-Band Daten

T. RIEDEL<sup>1</sup>, C. THIEL, C. SCHMULLIUS & K.-H. FRANKE<sup>2</sup>

*Zusammenfassung: Die Verfügbarkeit von aktuellen und zuverlässigen Landbedeckungskarten ist für viele Anwendungsgebiete in den Erdwissenschaften von herausragender Bedeutung. Das Envisat-Projekt verfolgt die Entwicklung innovativer Methoden zur Ableitung von Landbedeckungsinformationen unter Verwendung von optischen und SAR Daten. Ein Projektziel, die Klassifikation der Hauptlandbedeckungsklassen Wasser, Wald, landwirtschaftliche Nutzflächen / Grünland und Siedlungen, soll dabei vollautomatisch ablaufen. Als Testgebiet für die Untersuchungen wurde der östliche Harz sowie die südlich angrenzenden Regionen einschließlich des Kyffhäusers gewählt. Im Zeitraum vom April bis Dezember 2005 wurden über dem Gebiet kontinuierlich optische und SAR Daten erhoben. Die Zeitreihen umfassen u.a. 17 Envisat ASAR APP und 10 ERS-2 Szenen.*

*Zur Ableitung der vier Hauptlandbedeckungsklassen wird ein hierarchisches, objektbasiertes Klassifikationsschema vorgeschlagen. Die Ableitung der Bildsegmente wurde mit der eCognition Software auf Basis von Landsat-5 TM Daten durchgeführt. Die Unterscheidung der vier Landbedeckungskategorien erfolgte anschließend durch die Anwendung charakteristischer, klassenspezifischer Bildmerkmale wie z.B. Schwellwerte für den mittleren Radarrückstreuoeffizienten, Ratios und Texturparameter, wobei im Rahmen dieses Artikels der Klassifikationsansatz für die SAR-Daten vorgestellt werden soll. Für die Kartierung von Siedlungsgebieten ist der Einsatz geeigneter Texturparameter von besonderer Bedeutung. Das Potential der NGLD-Matrix, die in der Fernerkundung nur selten Anwendung findet, wird demonstriert. Zur Ausweisung der Hauptlandbedeckungsklassen auf alleiniger Basis von SAR-Daten werden als Minimalanforderung 3 Szenen in HH- und HV-Polarisation benötigt, wobei die Akquisition der Daten im Frühjahr und kurz vor Beginn sowie nach der Haupterntezeit erfolgen sollte. Durch den zusätzlichen Einsatz von VV-polarisierten Datensätze konnte kein weiterer Informationsgewinn festgestellt werden.*

## 1 Einleitung

Die Verfügbarkeit von zuverlässigen und aktuellen Landbedeckungsinformationen ist für eine Vielzahl von Anwendungen auf unterschiedlichen Maßstabsebenen von herausragender Bedeutung. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang beispielsweise die Beobachtung des Landnutzungswandels und der Landdegradation in bestimmten Regionen, die Aktualisierung von Karteninformationen, Management- und Planungsaktivitäten sowie die Umsetzung und Kontrolle nationaler und internationaler Übereinkommen (Franklin & Wulder, 2002 und Jensen, 2000).

Die Erdbeobachtung bietet die einzigartige und kostengünstige Möglichkeit zur Erhebung räumlich konsistenter und aktueller Daten. In Hinblick auf eine operationelle Anwendung der Techniken der Fernerkundung ist aus Kostengründen die Entwicklung von halb- und vollau-

---

<sup>1</sup> T. Riedel, Dr. C. Thiel & Prof. C. Schmullius, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fernerkundung, Lödbergraben 32, D-07737 Jena, e-mail: [tanja.riedel@uni-jena.de](mailto:tanja.riedel@uni-jena.de)

<sup>2</sup> Prof. K.-H. Franke, Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e.V. (ZBS), Gustav Kirchhoff Straße 5, D-98693 Ilmenau

tomatischen, auf andere Gebiete übertragbaren Verfahren von enormer Bedeutung. Ziel des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR e.V.) geförderten Enviland-Projektes (FKZ 50EE0405) ist die Entwicklung von Methoden zur integrativen Nutzung von SAR und optischen Instrumenten zur Ableitung von Landbedeckungsinformationen. Im Rahmen des Projektes soll hierfür ein Software-Prototyp entwickelt werden, in dem Module zur Vorverarbeitung als auch zur Segmentierung und Klassifikation von Fernerkundungsdaten implementiert sind. Im Zuge der 1. Projektphase ist der Entwurf eines automatischen Klassifikationsschemas zur Ableitung der Hauptlandbedeckungsklassen Wasser, Wald, Siedlung und landwirtschaftliche Nutzflächen / Grünland vorgesehen. Die vorgeschlagene Methodik sollte unabhängig vom Aufnahmezeitpunkt und –gebiet robuste Ergebnisse für Daten unterschiedlicher Sensoren liefern. Da aufgrund von Bewölkung die Anzahl der verfügbaren optischen Szenen häufig begrenzt ist, wurde der Schwerpunkt dieser Arbeit darauf gelegt ein Klassifikationsschema zu entwickeln, das den Schwerpunkt auf den Informationsgehalt multitemporaler SAR-Daten legt. Dieser Artikel präsentiert erste Ergebnisse, die im Rahmen des Teilprojektes „Skalenintegration“ erzielt wurden.

## 2 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

Als Untersuchungsgebiet wurden der Harz und die südlich angrenzenden Gebiete einschließlich des Kyffhäusers gewählt. Es umfasst sowohl landwirtschaftlich geprägte, als auch stark bewaldete und reliefierte Bereiche. Eine Landsat-5 TM RGB Komposite vom 21. April 2005 ist in der Kanalkombination 5-4-3 in Abbildung 1 dargestellt.

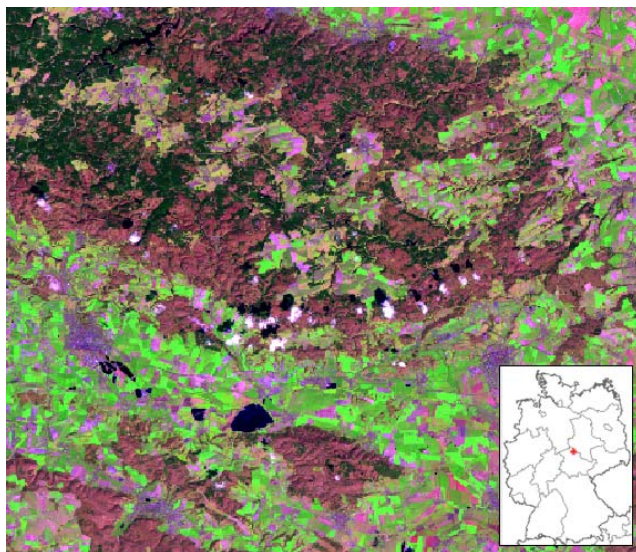


Abb. 1: Landsat-5 TM Szene des Untersuchungsgebiets vom 21. April 2005

Im Zeitraum vom April bis Dezember 2005 wurden kontinuierlich optische und SAR Daten über dem Testgebiet akquiriert. Die im Rahmen des Teilprojektes zur Verfügung stehenden Datensätze sind in Abbildung 2 dargestellt, wobei in dieser Studie vornehmlich auf die Landsat-5 TM, Envisat ASAR APP und ERS-2 Daten zurückgegriffen wurde. Durch die nahezu simultane Aufnahme der ERS-2 und ASAR APP Daten in HH/HV-Polarisation stehen für mehrere Zeitpunkte C-Band SAR Daten in allen Polarisationen zur Verfügung.

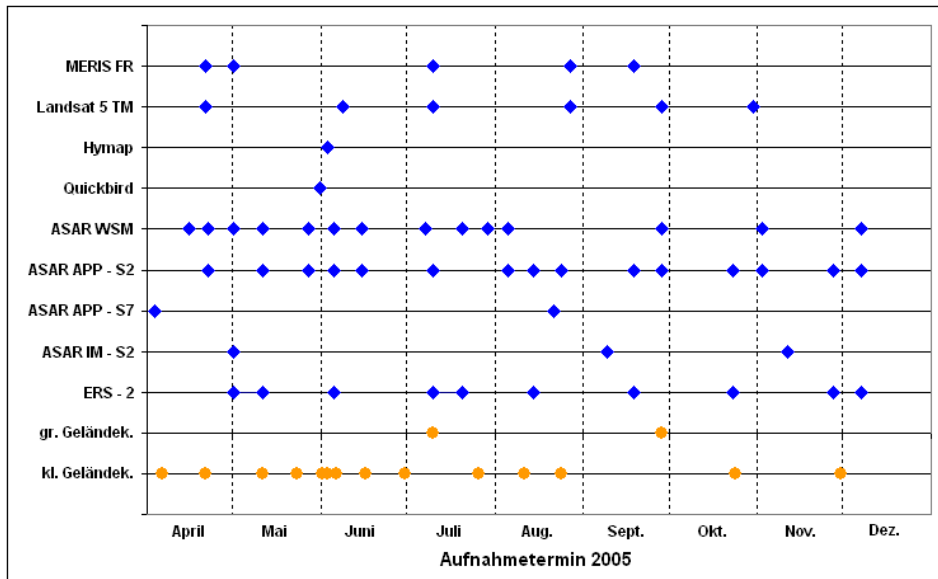


Abb. 2: Datengrundlage

### 3 Methodisches Vorgehen

Die Ableitung der Landbedeckungsinformationen erfolgte über einen objektbasierten, hierarchischen *decision tree* Klassifikationsansatz. Ein großer Vorteil dieser Methode ist in deren einfachen Übertragbarkeit auf andere Gebiete zu sehen, was in Hinblick auf eine Operationalisierung von großer Bedeutung ist. Der erste Prozessierungsschritt umfasste die Vorverarbeitung der zur Verfügung stehenden Fernerkundungsdaten mittels gängiger Verfahren. Die Kalibrierung und Georeferenzierung der SAR-Daten erfolgte mit der Gamma-Software. Da Teile des Untersuchungsgebietes durch starkes Relief charakterisiert sind, wurde darüber hinaus eine topographische Normalisierung nach dem von STUSSI ET AL. (1995) vorgeschlagenen Verfahren durchgeführt. Die Vorverarbeitung der optischen Daten beinhaltete eine Atmosphärenkorrektur mit ATCOR 2 sowie eine Orthorektifizierung auf Basis des C-Band SRTM DEMs.

Im Anschluss an das Preprocessing der Fernerkundungsdaten wurden unter Anwendung des in der eCognition Software implementierten *multiresolution segmentation* Ansatzes (BAATZ & SCHÄPE, 2000) homogene Bildobjekte auf Basis der Landsat-5 TM Daten abgeleitet, wobei der *Scale*-Faktor stufenweise erhöht wurde. Die Segmentierung erfolgte anhand der optischen Daten mit der Absicht eine bestmögliche Abgrenzung der einzelnen Landnutzungskategorien zu erreichen und steht somit im Einklang mit dem Projektziel, das eine synergetische Nutzung der optischen und SAR Daten vorsieht. Die Zuordnung einer Landnutzungs-kategorie zu jedem Objekt erfolgte über charakteristische Grenzwerte der Radarrückstreuung, Rückstreu-ratios sowie Texturinformationen. Zur optimalen Auswahl dieser Bildmerkmale wurden die SAR-Zeitreihen systematisch analysiert und die Ergebnisse mit Informationen aus verfügbaren Datenbanken abgeglichen (z.B. European Radar-Optical Research Assemblage library - ERA-ORA). Insbesondere zur Abgrenzung von städtischen Gebieten wurde auf Texturinformationen zurückgegriffen, auf deren Bedeutung in der Literatur mehrfach hingewiesen wurde (DEKKER, 2003; DELL'ACQUA & GAMBA, 2003 und NYOUNGUI ET AL., 2002). Im Rahmen dieser Studie wurde das Potential verschiedener Texturmaße wie Standardabweichung, Datenstreuung und auf Basis der *co-occurrence* Matrix abgeleiteter Parameter zur Siedlungskartierung untersucht. Ein in der Fernerkundung nur selten eingesetztes Verfahren zur Ableitung von Texturinformationen besteht in der Berechnung der Grauwertabhängigkeitsmatrix

(NGLD). Der Vorteil dieses Ansatzes liegt in seiner Richtungsunabhängigkeit. Im Zuge dieser Arbeit wurde die NGLD-Matrix auf Grundlage eines 5x5 Pixel großen *moving window* berechnet. Für jedes Pixel des Untersuchungsfensters wird dabei geprüft, inwieweit für alle benachbarten Pixel mit der Entfernung  $d$  eine zu definierende Relation erfüllt ist. Die Anzahl aller Pixel  $nr$ , die diese Relation erfüllen, wird in den Reihen der NGLD-Matrix festgehalten. Für  $d = 1$  besitzt die NGLD-Matrix somit 5 Reihen ( $nr = 0$  bis 4). Die Spalten der NGLD-Matrix repräsentieren hingegen den Grauwert  $gw$  der Pixel, d.h. im Falle eines 8-bit Bildes umfasst die NGLD-Matrix 255 Spalten. Die Elemente der NGLD-Matrix beschreiben schließlich die Häufigkeit, mit der die möglichen Kombinationen von  $gw$  und  $nr$  im Untersuchungsfenster auftreten. Analog zur weit verbreiteten *co-occurrence* Matrix können auf Grundlage der NGLD-Matrix zahlreiche Texturmaße extrahiert werden wie z.B. *entropy*, *energy*, *minimal* und *maximal emphasis*. Das Potential der verschiedenen Texturparameter zur Siedlungskartierung wurde auf Grundlage von Trennbarkeitsanalysen und der ermittelten Klassifikationsgenauigkeiten abgeschätzt. Die Jeffries-Matusita Distanz (JM-Distanz) stellt ein in der Fernerkundung häufig zum Einsatz kommendes Maß zur Abschätzung der Separierbarkeit zweier Klassen dar. Dabei ist ein Wert von 0 ein Indiz für keine und ein Wert von 1414 für eine sehr hohe Klassentrennbarkeit.

Die Genauigkeit der generierten Kartenprodukte wurde über die Berechnung der Konfusionsmatrix mit der eCognition Software ermittelt. Die zur Berechnung der Konfusionsmatrix verwendeten Referenzsegmente wurden auf Grundlage der räumlich hochaufgelösten optischen Daten (Quickbird und Hymap) sowie von Schwarz-Weiß-Luftbildern mit einer reduzierten Auflösung von 2m bestimmt. Die Robustheit des vorgeschlagenen Klassifizierungsschemas wurde durch die Anwendung auf verschiedene Datensätze von 2005 sowie auf einen Datensatz von 2003 überprüft. Eine Übertragung auf andere Gebiete in Europa steht noch aus.

## 4 Ergebnisse und Diskussion

Der zur Klassifikation der SAR Daten angewandte *decision tree* ist in Abbildung 3 dargestellt und soll im Folgenden näher erläutert werden.

Der erste Prozessierungsschritt des hierarchischen Klassifikationsverfahrens liegt in der Kartierung von Wasserflächen. In HV-polarisierten Datensätzen sind diese durch eine sehr niedrige Radarrückstreuung während des gesamten Jahres charakterisiert. Der Anstieg des Radarsignals gegen Ende des Jahres 2005 ist durch das Ablassen einiger Fischteiche und der Kelbra-Talsperren zu erklären. Zur Ausmaskierung von Wasserflächen sind kurz vor der Haupterntezeit Ende Juli / Anfang August aufgenommene Szenen besonders geeignet. Zu diesem Zeitpunkt sind nahezu alle Felder durch eine Rückstreuung über -19 dB gekennzeichnet (Abb. 4). Insbesondere im Frühjahr treten hingegen starke Überschneidungen mit unbestandenen oder spärlich bewachsenen Ackerflächen auf und der Einsatz multitemporaler Szenen ist erforderlich. Co-polarisierte C-Band Daten sind für eine vollautomatische Detektion von Wasserflächen ungeeignet. Im Jahresverlauf sowie innerhalb einer einzigen Szene treten in Abhängigkeit von der Oberflächenrauigkeit sehr starke Schwankungen in der Radarrückstreuung auf und stehen einer operationellen Ausweisung auf Basis von Schwellwerten entgegen.

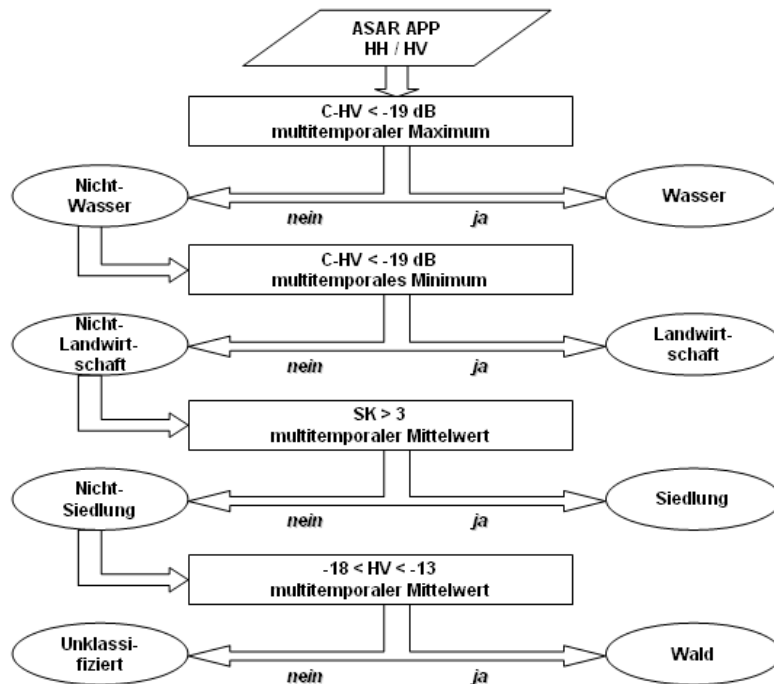


Abb. 3: decision tree für ASAR APP HH/HV Daten

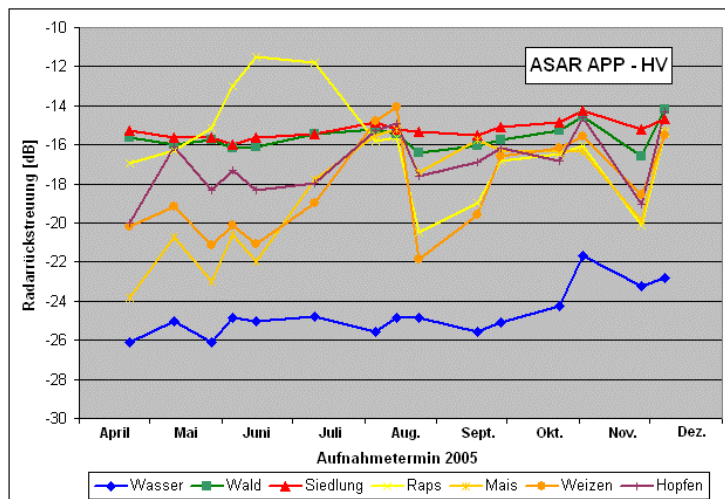


Abb. 4: Jahresgang der Radarrückstreuung in HV-polarisierten C-Band Daten

Landwirtschaftliche Nutzflächen sind durch eine sehr starke Variation des Radarsignals im Laufe einer Vegetationsperiode gekennzeichnet. Zur Kartierung dieser Flächen einschließlich der Grünlandareale wird das multitemporale Minimum im C-HV Band vorgeschlagen. Besonders geeignet ist hierbei die Kombination einer Aufnahme aus dem Frühjahr und nach der Haupterntezeit Mitte bis Ende August. Zu Beginn der Vegetationsperiode sind viele Felder noch unbestanden bzw. die Feldfrüchte befinden sich in einem sehr frühen Wachstumsstadium und können aufgrund der niedrigen Radarrückstreuung kartiert werden. Nicht erfassbar sind zu diesem Termin Raps und einige Wintergetreidefelder, die allerdings durch Hinzunahme des zweiten Aufnahmetermins kartiert werden können. Steht keine nach der Haupterntezeit akquirierte HV-polarisierte SAR-Szene zur Verfügung, so ist eine Ausweisung der Rapsfelder alternativ durch deren charakteristischen, starken Anstieg der Radarrückstreuung zwischen April und Juni möglich. Allerdings ist hierbei mit deutlich geringeren Klassifikationsgenauigkeiten zu rechnen.

Die dritte auszuweisende Landnutzungskategorie im vorgestellten *decision tree* sind urbane Gebiete. Eine Kartierung der Siedlungsflächen auf alleiniger Basis von multitemporalen Rückstreuintensitäten und deren Standardabweichung über die Zeit erbrachte keine vielversprechenden Ergebnisse. Im Rahmen dieser Studie wurde deshalb das Potential verschiedener Texturparameter getestet. Eine Auswahl verschiedener Texturparameter, die auf Grundlage der HH-polarisierten ASAR APP Szene vom 22. April 2005 abgeleitet wurden, ist in Abbildung 5 dargestellt. Eine visuelle Interpretation der Texturbilder deutet ein hohes Potential der NGLD-Matrix zur Kartierung urbaner Gebiete hin. Zur Berechnung der NGLD-Matrix wurde für die Relation  $r$  eine Differenz von 0,1 zwischen benachbarten Pixeln mit einem Abstand  $d$  von 1 und 2 Pixeln definiert. Zur Festlegung dieser Relation wurden für verschiedene Testgebiete statistische Analysen durchgeführt. Es zeigte sich, dass im Gegensatz zu den anderen Hauptlandbedeckungsklassen in urbanen Gebieten über 40 % der benachbarten Pixel durch eine Differenz des Radarrückstreusignals von über 0,1 charakterisiert sind. Ein weiteres Merkmal von Siedlungsgebieten ist eine hohe Rückstreuung in co-polarisierten Datensätzen. Der auf der Basis der NGLD-Matrix berechnete Texturparameter, der im Folgenden als SK bezeichnet wird, trägt beiden oben genannten Eigenschaften Rechnung und ergibt sich aus folgender Formel:

$$SK = \sum_{g_w=0}^{g_z-1} \sum_{n_r=0}^N Q_d(g_w, n_r) * n_r * g_w$$

mit  $g_w$  = Radarrückstreuung in HH-Polarisation  
 $n_r$  = Anzahl der Pixel, die Relation erfüllen  
 $Q_d$  = Häufigkeit des Auftretens der Kombination  $g_w$  und  $n_r$  im Untersuchungsfenster

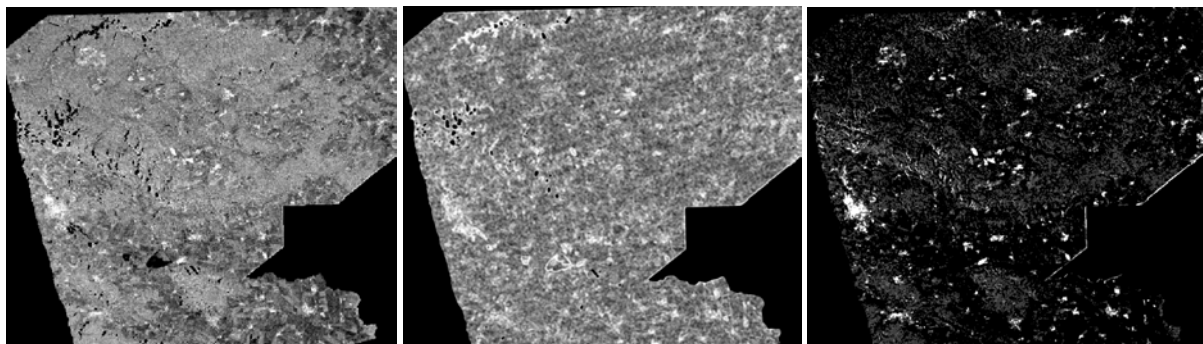


Abb. 5: SAR-Bild (links) und abgeleitete Texturparameter *entropy* (Mitte) und SK (rechts)

Im Zuge der Texturanalysen wurde der Einfluss der Fenstergröße, die zur Berechnung des Texturmaßes verwendet wurde, auf die Klassentrennbarkeit und das Klassifikationsergebnis analysiert. Die zur Berechnung der JM-Distanzen verwendeten AOIs wurden auf Siedlungsbereiche mit geringer Bebauungsdichte und hohem Vegetationsanteil gelegt, wie z.B. Wohngebieten mit Einfamilienhäuser, Schrebergärten und Dörfer. Hintergrund für diese Vorgehensweise ist, dass die Klassifikation und Trennbarkeit dieser Gebiete von den anderen Landnutzungskategorien als besonders kritisch anzusehen ist. Für alle Texturparameter mit Ausnahme von SK konnte ein signifikanter Anstieg der JM-Distanzen mit zunehmender Fenstergröße festgestellt werden (Abb. 6). Des Weiteren deuteten die Analysen für folgende Parameter ein hohes Potential zur Kartierung urbaner Flächen an, was durch die Klassifikationsergebnisse bestätigt werden konnte: Standardabweichung, SK sowie die *co-occurrence* Maße *entropy*, *dissimilarity* und *angular second moment*. Generell ist festzuhalten, dass durch starkes Relief charakterisierte bewaldete Gebiete in unmittelbarer Nachbarschaft zu Radarschat-



ten- und Overlay-Bereichen häufig als Siedlung fehlklassifiziert werden. Die besten Klassifikationsergebnisse wurden insgesamt für den Texturparameter SK erzielt (Tab. 1 - Inputdatensätze: 22. April, 14. August und 24. August 2005). Unabhängig von der Jahreszeit können bereits mit monotemporalen Daten verhältnismäßig gute Klassifikationsergebnisse erzielt werden.

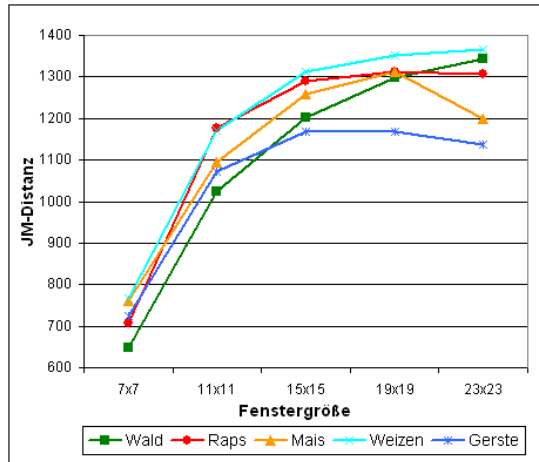


Abb. 6: Einfluss der zur Texturextraktion verwendeten Fenstergröße auf die Trennbarkeit urbaner Gebiete von anderen Landnutzungsklassen

	Standardabweichung	co-occ. dissimilarity	SK
Nutzergenauigkeit	79,3	73,1	87,2
Herstellergenauigkeit	89,3	82,4	87,7

Tab. 1: Klassifikationsgenauigkeiten für urbane Gebiete mittels verschiedener Texturparameter

Alle Segmente, die keiner der drei Klassen Wasser, Landwirtschaft / Grünland und Siedlung zugewiesen wurden, werden als Wald klassifiziert, unter der Bedingung, dass die Radarrückstreuung in C-HV einen Wert zwischen -18 und -13 dB annimmt.

In Abbildung 7 ist die unter Anwendung des vorgestellten Klassifikationsschemas abgeleitete Landnutzungskarte dargestellt. Als Eingangsdateien dienten aus den oben genannten Gründen HH- und HV-polarisierte ASAR APP Daten vom 22. April, 14. und 24. August 2005. Die Klassifikationsgenauigkeit beträgt 88,3% (Tab. 2). Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass zur Berechnung der Konfusionsmatrix nur Segmente herangezogen wurden, die eindeutig einer Landnutzungsklasse zuzuordnen waren und keine Mischformen enthielten.

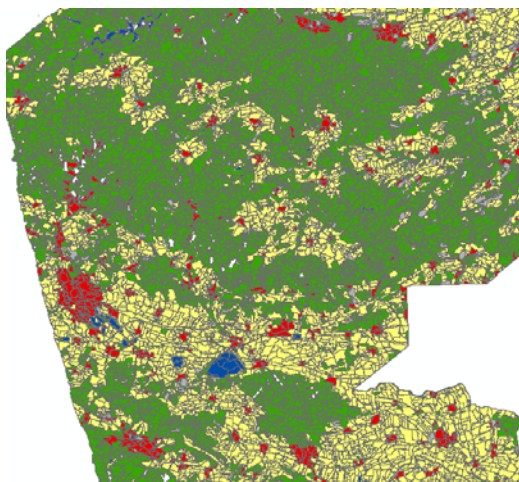


Abb. 7: abgeleitete Landnutzungskarte

	Wasser	Wald	Landw. / Grünland	Siedlung
Nutzergenauigkeit	98,3	88,5	90,1	88,5
Herstellergenauigkeit	95,1	90,5	86,0	90,5

Tab. 2: Klassifikationsgenauigkeit

## 5 Zusammenfassung

Inhalt dieser Studie war die Vorstellung eines objektbasierten *decision tree* Klassifikationsansatzes zur Ableitung von Hauptlandbedeckungskategorien aus multitemporalen SAR Daten. Zum Erreichen einer hinreichenden Genauigkeit der abgeleiteten Kartenprodukte sind mindestens drei Eingangsszenen aus dem Frühjahr sowie kurz vor und nach der Haupterntezeit in dem entsprechenden Gebiet notwendig. Der vorgestellte Ansatz basiert dabei auf der Verwendung von HH- und HV-polarisierten ASAR Daten im alternierenden Polarisationsmodus. Eine zusätzliche Einbindung von VV-polarisierten Daten erbrachte keine Verbesserung der Ergebnisse. Des Weiteren wurde im Rahmen der Studie das Potential der NGLD-Matrix zur Ableitung von Texturinformationen demonstriert. Diese stellt ein geeignetes Maß zur Kartierung von Siedlungsgebieten dar. Die Übertragbarkeit des vorgestellten Algorithmus auf andere Gebiete in Europa wird Gegenstand zukünftiger Analysen sein.

## 6 Danksagung

Für die Bereitstellung der Envisat ASAR und ERS-2 Daten im Rahmen des *Category-1* Projektes 3115 gilt unser besonderer Dank der Europäischen Luft- und Raumfahrtbehörde ESA.

## 7 Literatur

- DEKKER, R. J., 2003: Texture analysis and classification of ERS SAR images for map updating of urban areas in The Netherlands. - IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(9), pp. 1950 – 1958.
- DELL'ACQUA, F. & P. GAMBA, 2003: Texture-based characterization of urban environments on satellite SAR images. - IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(1), pp. 153 – 159.
- FRANKLIN, S. E. & M. A. WULDER, 2002: Remote sensing methods in medium spatial satellite data land cover classification of large areas. - Progress in Physical Geography, 26(2), pp. 173 – 205.
- JENSEN, J. R., 2000: Remote sensing of the environment – an earth resource perspective. - Prentice Hall, New Jersey.
- NYOUNGUI, A. D., E. TONYE & A. AKONO, 2002: Evaluation of speckle filtering and texture analysis methods for land cover classification from SAR images. International Journal of Remote Sensing, 23(9), pp. 1895 – 1925.
- STUSSI N., A. BEAUDOIN, T. CASTEL & P. GIGORD, 1995: Radiometric correction of multi-configuration spaceborne SAR data over hilly terrain. - Proceedings of International Symposium on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications, Toulouse, France, 10-13 October 1995, pp. 469-478.