

## Ableitung von Landoberflächenparametern aus flugzeuggetragenen voll-polarimetrischen E-SAR-Daten unter Berücksichtigung von freiem Vegetationswasser

CHRISTIAN THIEL & TANJA RIEDEL, Jena

**Zusammenfassung:** Voll-polarimetrische L-Band Daten des flugzeuggetragenen experimentellen SAR (E-SAR des DLR) wurden in Hinblick auf ihr Potential zur Ableitung hydrologischer Parameter analysiert. Im Rahmen zweier Projekte (PHYMO und TerraDew) wird der Informationsgehalt verschiedener SAR Parameter hinsichtlich Bodenfeuchte, Oberflächenrauigkeit, Biomasse und Landnutzung untersucht. Außerdem wird der Einfluss von freiem Vegetationswasser (Tau, Interzeption) auf das Rückstreusignal im Hinblick auf die Beeinträchtigung der Ableitung von Landoberflächenparametern beleuchtet. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Polarisationsparameter eine wertvolle Erweiterung der SAR-Datenbasis vor allem in Bezug auf Bodenfeuchte, Oberflächenrauigkeit und Biomasse darstellen. Die Landnutzungs-klassifikation auf alleiniger Basis der Polarisationsparameter erwies sich jedoch als schwierig. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass das Radarsignal im Tagesgang auf Grund von Wasser auf Pflanzenoberflächen variiert und die thematische Auswertung von SAR-Daten beeinträchtigt werden kann.

**Summary:** *Derivation of land surface parameters from fully-polarimetric E-SAR data in consideration of free vegetation water.* Fully-polarimetric L-band data of the airborne experimental SAR (E-SAR) of the DLR were analysed with regard to their potential to derive hydrological parameters. Within the scope of two projects (PHYMO and TerraDew) the information content of different SAR parameters regarding soil moisture, surface roughness, biomass and land use is investigated. Furthermore, the effect of free vegetation water (dew, interception) on the radar backscatter and on the derivation of hydrological parameters is outlined. First results show that polarimetric SAR-parameters provide a valuable additional level of information, especially with regard to soil moisture, surface roughness and biomass estimation. However, land use classification on the basis of polarimetric parameters alone proved to be difficult. In addition, the radar backscattering coefficient shows diurnal variations resulting from free water on the vegetation surface. This particularly affects the thematic analysis of SAR-data.

### 1 Einleitung

Multifrequente, multipolarimetrische SAR Daten bieten die Möglichkeit der Ableitung von Landoberflächenparametern wie Landnutzung, Bodenfeuchte, Oberflächenrauigkeit und Vegetationsparameter. Besonders die Verwendung der polarimetrischen Parameter (Alpha-Winkel, Entropie, Anisotropie,  $\Lambda$  1–3,  $\alpha$  1–3), welche anhand der Eigenvektorendeckomposition nach Cloude (CLOUDE & POTTIER 1996) aus multipolarimetrischen SAR Daten extra-

hiert werden können, zeigten hier bereits ihr Potential (HAJNSEK et al. 1999, HELLMANN et al. 1999). Bei der Auswertung der Daten ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Radarrückstreuung im Tagesgang u. a. auf Grund von Veränderungen des auf Pflanzenoberflächen befindlichen Wassers aus Taubenetzung, Guttation und Interzeption variiert (GILLESPIE et al. 1990, HOBBS et al. 1998). Allerdings erlaubt es der Stand der Forschung nicht, eindeutige Aussagen über die Auswirkung von benetzter Vegetation auf das Radarrückstreusignal sowie auf die

Ableitung hydrologischer Parameter aus SAR-Daten zu treffen.

Ziel des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projektes TerraDew ist daher, den Einfluss von benetzten Vegetationsbeständen systematisch zu untersuchen und quantitativ zu erfassen sowie ein Radarrückstreu-Modell zu entwickeln. In diesem Artikel werden Zusammenhänge zwischen freiem Vegetationswasser und Radarrückstreuung dargelegt und interpretiert.

Das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Projekt PHYMO hingegen verfolgt die Zielsetzung der Ableitung flächenhafter Inputparameter aus SAR-Daten für die Modellierung von Stofftransporten und anderen hydrologischer Fragestellungen. Datengrundlage beider Projekte bilden jeweils multifrequente, polarimetrische E-SAR Daten des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Die Befliegung für PHYMO fand im März 1999 statt. Die SAR-Datenakquisition für TerraDew wurde an zwei Tagen im Juni 2000 zu jeweils 3 Zeiten (6, 9 und 12 Uhr) durchgeführt, um die Rückstredynamik im Tagesgang erfassen zu können.

Das Untersuchungsgebiet des Projektes PHYMO, ein Teil des Trinkwassertalsperreneinzugsgebietes Zeulenroda, befindet sich in den Nordausläufern des Thüringer Schiefergebirges. Zur Erfassung der Schadstoffeinträge in die Talsperre infolge der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung dieser Region wurden bisher mehrere Studien durchgeführt und Modelle hergeleitet (FLÜGEL et al. 2000).

Zur Quantifizierung des Einflusses von benetzten Vegetationsoberflächen auf die Radarrückstreuung wurde ein intensiv landwirtschaftlich genutztes Testgebiet bei Alling in Südbayern gewählt. Während der Befliegungen fanden intensive Geländearbeiten zur Erfassung der Landnutzung, Vegetationsparameter, Bodenfeuchte und Oberflächenrauigkeit statt. Um den Einfluss benetzter Vegetationsoberflächen im Testgebiet Alling zu quantifizieren, wurden dort zusätzlich umfangreiche klimatologisch relevante Parameter aufgezeichnet.

## 2 Datengrundlage und Vorverarbeitung

### 2.1 Polarimetrische Dekomposition

Aus den komplexen L-Band Daten von Zeulenroda wurden die Polarisationsparameter auf Basis der Cloude-Dekomposition (CLOUDE & POTTIER 1996) abgeleitet. In die Berechnung gehen die Co-Polarisationen und eine Kreuzpolarisation ein. Zunächst werden die Eigenwerte ( $\lambda_{1-3}$ ) und die Eigenvektoren ( $e_{1-3}$ ) extrahiert. Letztere bilden die Grundlage zur Berechnung der Alpha Winkel ( $\alpha_{1-3}$ ), welche die Streumechanismen darstellen. Aus diesen drei Winkeln wird der mittlere Rückstredmechanismus ( $\alpha$ ) hergeleitet. Die Entropie (H), ein Maß für die Verteilung der Streumechanismen und die Anisotropie (A) werden aus den Eigenwerten extrahiert. Die Anisotropie stellt das Verhältnis zwischen zweitem und drittem Eigenwert dar und kann bei einer mittleren Entropie zusätzliche Informationen liefern. Nach der Dekomposition wurden die Polarisationsparameter einer Filterung unterzogen.

Neben den Polarisationsparametern wurden für die Zeulenrodadaten die Hauptkomponenten ( $pc_{1-3}$ ) sowie für beide Testgebiete die Rückstrekoeffizienten ( $\sigma^0$ ) berechnet.

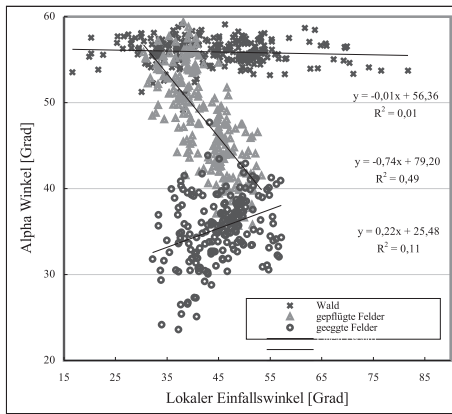
### 2.2 Normalisierung des Lokalen Einfallswinkels

Die Radarparameter für Zeulenroda zeigten je nach Landnutzung und Rauigkeit eine mehr oder weniger signifikante Abhängigkeit vom Lokalen Einfallswinkel (lia) (Abb. 1). Diese Korrelation wurde jeweils mittels Regressionsgleichung formuliert, anhand derer der Faktor (lia) normalisiert wurde (Gleichung (1)).

$$RP_{\text{norm}} = RP_{\text{unnorm}} + D_{\text{SP}} - (m \cdot \text{lia} + n) \quad (1)$$

(RP) steht für den jeweiligen Radarparameter, ( $D_{\text{SP}}$ ) ist der Mittelwert von (RP) aller einbezogenen Pixels und (m, n) bezeichnen die Regressionsgerade.

Abb. 1 zeigt die Abhängigkeit des mittleren Streumechanismus, repräsentiert durch



**Abb. 1:** Abhängigkeit des Alpha-Winkels für verschiedene Landoberflächen.

den Alpha-Winkel, vom Lokalen Einfallswinkel. Während die Korrelation zwischen ( $\lambda_1$ ) und ( $\alpha$ ) für die Klasse Wald gering ist, wird bei gepflügten Feldern eine starke Abhängigkeit deutlich. Die geringe Korrelation bei Wald kann durch den dominierenden Anteil an Volumenstreuung erklärt werden. Bei gepflügten Feldern geht die dominierende Dipol-Streuung mit zunehmenden ( $\lambda_1$ ) in Oberflächenstreuung über, was sich mit den Aussagen der Rauigkeitskriterien (Ray-

leigh, Fraunhofer etc.) deckt. Diese beschreiben eine Abnahme der wirksamen Rauigkeit mit zunehmendem Lokalen Einfallswinkel, was zu einer Zunahme der Oberflächenstreuung führt. Bei glatten Oberflächen wie geeggtten Feldern ist, wenn auch deutlich weniger signifikant, ein entgegengesetzter Trend zu erkennen. Der Anteil der Oberflächenstreuung am Rückstreusignal nimmt mit zunehmenden Einfallswinkel ab, da mehr Strahlung vom Sensor weg gestreut wird. Die restlichen Streuanteile wie die Volumenstreuung bleiben nahezu konstant. Demzufolge steigt deren Anteil am gesamten Rückstreusignal mit zunehmendem Lokalen Einfallswinkel.

Die Abhängigkeit der Polarisationsparameter vom Lokalen Einfallswinkel für verschiedene Landoberflächen ist in Tab. 1 zusammengefasst. Es werden hier wiederum die Klassen geeggte Felder, gepflügte Felder und Wald unterschieden.

Die Ergebnisse zeigen eine starke Abhängigkeit der meisten Polarisationsparameter vom Lokalen Einfallswinkel für gepflügte Felder, während für geeggte Felder und Wald diese Abhängigkeit deutlich weniger signifikant ist. Die Parameter der Regressionsgeraden werden durch (m) und (n) re-

**Tab. 1:** Abhängigkeit der Polarisationsparameter vom Lokalen Einfallswinkel.

	geeggte Felder			gepflügte Felder			Wald		R <sup>2</sup>
	m	n	R <sup>2</sup>	m	n	R <sup>2</sup>	m	n	
$\alpha_1$	-0,003	0,52	0,04	-0,018	1,57	0,48	-0,0005	1,07	0,01
$\alpha_2$	0,003	1,09	0,05	0,017	0,08	0,46	0,0007	0,75	0,01
$\alpha_3$	0,001	1,33	0,05	0,002	1,29	0,09	-0,0002	1,08	0,001
$\alpha$	0,220	25,5	0,11	-0,738	79,2	0,49	-0,01	56,4	0,01
$\lambda_1$	22,01	1883	0,01	-495,6	25135	0,66	-400	58197	0,11
$\lambda_2$	62,28	5405	0,01	-1124	56579 50478	0,66	-1357	151254	0,23
$\lambda_3$	-1146	83657	0,18	-10098	504782	0,71	-4346	414869	0,29
H	0,009	0,220	0,34	0,001	0,42	0,01 0,000	0,002	0,72	0,27
A	0,011	-1,04	0,32	0,0001	-0,78	0,0002	0,002	-0,47	0,09

präsentiert, ( $R^2$ ) bezeichnet den jeweiligen Standardfehler. Für diese Untersuchung wurden jeweils 200–250 Testpixels pro Klasse herangezogen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Landnutzungsklassifikation

a) Klassifikation auf Basis der Intensitäten  
Die Klassifizierung der Landnutzung der SAR Szene Zeulenroda fand in Anlehnung an DOBSON et al. (1995) und HEROLD et al. (2000) in zwei Levels statt. Im ersten Level wurden die Klassen Siedlung/Wald, Wasser/Schatten und kurze/keine Vegetation unterschieden. Die Segmentierung erfolgte unüberwacht mittels *isodata-clustering*. Klassifiziert wurden anhand der lia-normierten Intensitäten L-HH, L-VV, L-HV, X-HH und X-VV.

Im zweiten Level wurden in getrennten Arbeitsschritten die Mischklassen Siedlung/Wald und kurze/keine Vegetation separiert. In beiden Fällen fand eine überwachte *maximum likelihood* Klassifikation Anwendung. Zur Unterteilung der Klasse kurze Vegetation/keine Vegetation in die Unterklassen Ackerfläche und Grünland wurden ausschließlich die X-Band Intensitäten benutzt. Die spärliche Vegetation wird vom L-Band nahezu vollständig durchdrungen, so dass

die Rauigkeit bzw. die Bodenfeuchte in dieser Frequenz die Rückstreuung bestimmen.

Die Trennung von Siedlung und Wald allein auf Basis der Intensitäten ist auf Grund der ähnlichen spektralen Signaturen nicht möglich. Daher wurde die Texturinformation integriert. Die mittlere Euklidische Distanz erwies sich als geeigneter Parameter. Die Fenstergröße von  $5 \times 5$  Pixel stellte den besten Kompromiss zwischen optimaler Erfassung der Siedlungstextur bei gleichzeitigem Erhalt von Details wie Stadträndern dar. Für die Texturberechnung wurden die L-Band Intensitäten sowie ein Differenzbild (L-HH minus L-HV) herangezogen. Dieser Ansatz führte zu einer deutlichen Trennung von Wald und Siedlung. Durch verschiedene Nachbearbeitungsschritte konnten fehlklassifizierte Pixel der richtigen Klasse zugeordnet werden. Angaben zur Klassifikationsgenauigkeit sind Tab. 2 zu entnehmen.

b) Klassifikation auf Basis der Polarisationsparameter

Für die Landnutzungsklassifikation auf Basis der Polarisationsparameter wurde der kombinierte Ansatz aus *fuzzy-logic* und Neuronalem Netz von HELLMAN et al. 1999 angewandt. Die Genauigkeit ist im Vergleich mit der auf Intensitäten beruhenden Klassifikation geringer. Auch hier bestehen Probleme bei der Unterscheidung von Wald

**Tab. 2:** Abschätzung der Klassifikationsgenauigkeit.

	Producers accuracy [%]	Users accuracy [%]	Class proportion [%]
Siedlung	93,98	81,25	3,86
Wald	98,99	99,68	27,40
Wasser/Schatten	95,71	98,98	1,87
Grünland	89,26	73,10	16,52
Ackerfläche	95,81	98,29	50,35 100,00
<b>Gesamtgenauigkeit</b>	<b>96,11%</b>	<b>Kappa Koeffizient</b>	<b>0,93</b>

und Siedlung, d. h. nicht nur die Rückstreuintensitäten, sondern auch die Rückstreumechanismen beider Klassen lassen auf Grund ihrer Ähnlichkeit keine eindeutige Trennung zu. Als Siedlungsfläche werden im Wesentlichen nur die dem Sensor direkt zugewandten Hauswände klassifiziert, welche durch *double bounce* gekennzeichnet sind. Gerade im ländlichen Raum deckt dies nur einen Bruchteil der tatsächlichen Siedlungsfläche ab. *Double bounce* tritt allerdings auch häufig an Waldkanten auf. Problematisch erweist sich ferner die Trennung von glatten Oberflächen und Gewässern. Beide Landnutzungen zeichnen sich durch Oberflächenstreuung aus. Außerdem ist die Phaseninformation für die meisten Wasserflächen nicht ausreichend, um Erkenntnisse über die Rückstreuprozesse zu erlangen. Das schlechtere Signal zu Rauschen Verhältnis der Polarisationsparameter, als auch die Überlappung der verschiedenen Objektklassen im Alpha-Entropie-Lambda1 Merkmalsraum führt zu einer Vielzahl kleinräumiger Fehlklassifikationen.

Trotz genannter Schwierigkeiten bietet die Klassifikation von Polarisationsparametern den Vorteil unüberwacht Objektklassen auszuweisen, wenn deren Streumechanismen bekannt sind. Eine entsprechende Nachbearbeitung mittels GIS-Analysen und Filtern könnte einen großen Teil fehlklassifizierter Pixels korrigieren (HELLMAN et al. 1999).

### 3.2 Empirische Zusammenhänge zwischen Radarparametern und Landoberflächenparametern

Für das Testgebiet Zeulenroda wurde der Zusammenhang zwischen allen Radarparametern (Intensitäten, Hauptkomponenten, polarimetrische Parameter) und den Landoberflächenparametern feuchte Biomasse, Oberflächenrauigkeit und Bodenfeuchte anhand empirischer Regressionsmodelle untersucht. Die Betrachtung der Parameter Oberflächenrauigkeit und feuchte Biomasse wurde für das gesamte Gebiet angestellt, die der Bodenfeuchte erfolgte feldweise. Datengrundlage für diese Analysen bildeten die

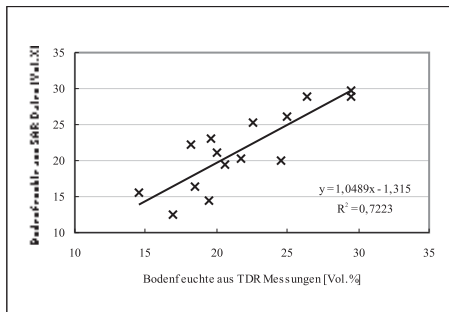
hinsichtlich des lokalen Einfallswinkels normalisierten Radarparameter.

Es zeigte sich für die verschiedenen Landoberflächenparameter eine unterschiedliche Sensitivität der Radarparameter. So korreliert die Bodenfeuchte vor allem mit den Eigenwerten eins ( $\lambda_1$ ) und drei ( $\lambda_3$ ), den Intensitäten L-VV und L-HV sowie der ersten (pc1) und dritten (pc3) Hauptkomponente. Sensitiv für Rauigkeit hingegen zeigen sich die Parameter Alpha eins ( $\alpha_1$ ) und zwei ( $\alpha_2$ ), der mittlere Alpha-Winkel ( $\alpha$ ) sowie der erste Eigenwert. Die feuchte Biomasse ist primär in der Anisotropie (A), der dritten Hauptkomponente und den Alpha-Winkeln eins und zwei repräsentiert.

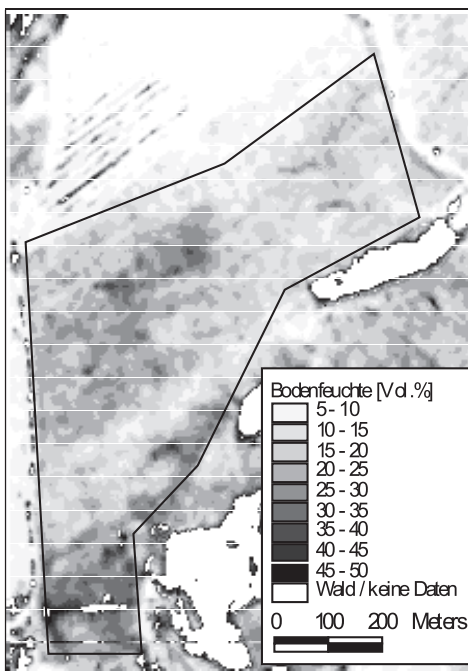
Die Eigenvektoren-Dekomposition erweist sich demnach als wertvolles Werkzeug, um die Radarrückstreuung in für die jeweiligen Landoberflächenparameter relevanten Streuprozesse bzw. Streuteile zu zerlegen.

Der Informationsgehalt hinsichtlich der Bodenfeuchte variiert für die verschiedenen Testfelder. Bei Wintertraps, welcher schon im März eine große feuchte Biomasse besitzt, enthält das Radarrückstreusignal keine signifikante Bodenfeuchteinformation. Die besten Korrelationen wurden für geegte Felder ohne bzw. mit niedriger Vegetation (z. B. Wintergetreide) ermittelt. Für diese Felder wurden die relevanten Radarparameter kombiniert und Bodenfeuchtearten generiert (Abb. 3). Durch diese Vorgehensweise wurde die Bodenfeuchteinformation betont, während sich das Rauschen verringerte. Die Korrelation zwischen gemessener und aus Radardaten ermittelter Bodenfeuchte kann im besten Fall mit einem Wert von  $r = 0,85$  beschrieben werden (siehe Abb. 2).

Für die Landoberflächenparameter feuchte Biomasse und Oberflächenrauigkeit wurden ebenfalls Karten erstellt. Hierbei fand der gleiche Ansatz wie für die Ermittlung der Bodenfeuchte Anwendung, wobei die Karten für das gesamte Gebiet erzeugt wurden. Dabei korreliert die aus SAR Daten ermittelte Oberflächenrauigkeit (RMS-Höhe) mit den Geländewerten nur mäßig ( $r = 0,62$ ). Für feuchte Biomasse hingegen konnte ein signifikanter Zusammenhang



**Abb. 2:** Korrelation zwischen gemessener und aus SAR-Daten ermittelter Bodenfeuchte für das Testfeld Lätwitz.



**Abb. 3:** Bodenfeuchtekarte aus SAR Daten, Testfeld Lätwitz.

( $r = 0,92$ ) ermittelt werden. Eine vergleichbare Korrelation wurde für den Pflanzenwassergehalt ermittelt, für den Parameter trockene Biomasse hingegen wurde kein signifikanter Zusammenhang gefunden. Ebenso konnte zwischen den Radarparametern und der Autokorrelationslänge keine Beziehung festgestellt werden.

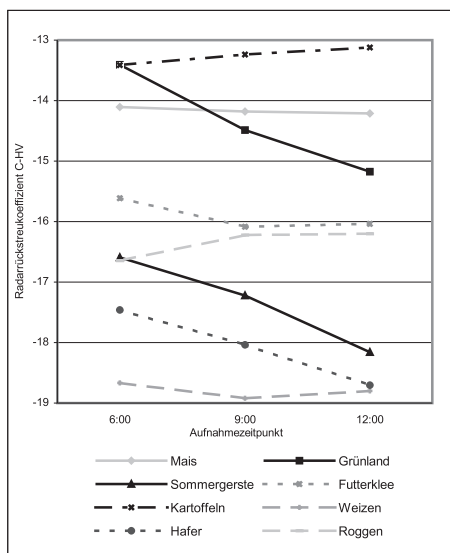
### 3.3 Einfluss von Tau- und Interzeptionswasser auf die Radarparameter

Erste Ergebnisse im Rahmen des TerraDew Projektes zeigen eine deutlich unterschiedliche Auswirkung von Wasser auf Vegetationsoberflächen in Hinblick auf Frequenz, Polarisation und Landnutzungskategorie. Im X-Band konnte kein signifikanter Einfluss von Tau auf die Radarrückstreuung festgestellt werden. Die meisten Felder zeigten eine Zunahme der  $\sigma^0$ -Werte um weniger als 0,5 dB. Beachtliche Varianzen des Radarsignals im Tagesgang traten hingegen für das X-Band nach einem Niederschlagsereignis von 24 mm auf. Insbesondere die VV-Polarisation zeigte eine starke Zunahme der  $\sigma^0$ -Werte, wobei die größten Unterschiede der Radarrückstreuung für Grünland und Getreide zu verzeichnen waren. Beispielsweise stiegen die  $\sigma^0$ -Werte von Sommergerstefeldern im Mittel um ca. 2,5 dB. Für großblättrige Pflanzen wie Mais und Kartoffeln sind die mittleren Differenzen zwischen den verschiedenen Aufnahmezeitpunkten eines Tages kleiner als 1 dB.

Im C-Band ist bei Taubenetzung für alle betrachteten Feldfruchtarten eine Abnahme der mittleren Radarrückstreuung um bis zu 1,5 dB festzustellen. Allerdings ist diese Erscheinung nur nach dem Tau-, nicht aber nach dem Niederschlagsereignis festzustellen. Interzeption führt sowohl im C-VV, als auch im C-VH zu einer signifikanten Zunahme der Rückstreuung für Grünland, Sommergerste und Hafer. Für die restlichen Feldfruchtarten zeigte sich kein Einfluss. Die geringste Reaktion der Radarrückstreuung auf freies Vegetationswasser im Tagesgang ist für L-VV zu verzeichnen. Das L-HV Band weist die größten Differenzen zwischen den verschiedenen Aufnahmen eines Tages auf. Sowohl für die durch Tau beeinflussten Aufnahmen erhöht sich die Rückstreuung für nahezu alle Feldfrüchte signifikant. Im L-HH zeigen alle Feldfruchtarten bei Tau nur eine sehr geringe Abnahme der Rückstreuung. Durch Interzeptionswasser steigen die  $\sigma^0$ -Werte im Mittel um 0,5–1,5 dB.

In Bezug auf die Ableitung hydrologischer Parameter aus SAR-Daten ist auf Grund der eben dargestellten Zusammenhänge mit unterschiedlichen Ergebnissen im Tagesgang zu rechnen. Insbesondere im X- und C-Band sind in Hinblick auf die Landnutzungskartierung unterschiedliche Klassifikationsergebnisse zu erwarten, da in diesen Frequenzen für die verschiedenen Feldfruchtarten eine deutlich unterschiedliche Beeinflussung der Rückstreuung festgestellt wurde. In Abb. 4 ist beispielsweise der Tagesgang der mittleren  $\sigma^0$ -Werte der einzelnen Landnutzungskategorien nach einem Niederschlagsereignis im C-HV Band dargestellt. Die Klassentrennbarkeit ändert sich im Laufe des Tages. Die mittlere Radarrückstreuung ist z. B. um 6 Uhr für Grünland und Kartoffeln nahezu identisch, wohingegen um 12 Uhr die Differenz beider Werte nahezu 2 dB beträgt. Im Gegensatz dazu besitzen die Feldfrüchte Hafer und Weizen sowie Roggen und Futterklee um 6 Uhr eine höhere Trennbarkeit als um 12 Uhr.

Die Analyse der E-SAR Daten im Rahmen des PHYMO-Projektes ergab, dass die



**Abb. 4:** Varianz der Radarrückstreuung im Tagesgang nach einem Niederschlagsereignis.

Bodenfeuchte u. a. mit den Intensitäten L-VV korreliert. Für dieses Band konnte für alle im TerraDew Projekt betrachteten Landnutzungsklassen keine signifikante Beeinflussung durch benetzte Vegetationsoberflächen festgestellt werden. Somit sind bei der Ableitung von Bodenfeuchteinformationen erhebliche Fehlinterpretationen auf Grund von Tau und Interzeption unwahrscheinlich. Weiterhin ist festzustellen, dass mit steigender Biomasse der Einfluss von Tau und Interzeption auf die Radarrückstreuung steigt. Für Grünland ergab sich außerdem mit zunehmender Benetzung der Vegetation eine höhere Sensitivität des Radarsignals für Biomasse.

#### 4 Fazit

Es hat sich in dieser Studie gezeigt, dass die Eigenvektoren Dekomposition ein bedeutender Ansatz für die Extrahierung hydrologisch relevanter Parameter (Bodenfeuchte, Oberflächenrauigkeit, feuchte Biomasse) aus multipolarimetrischen SAR Daten darstellt. In diesem Anwendungsbeispiel werden die jeweiligen Landoberflächenparameter durch unterschiedliche SAR Parameter repräsentiert. Die Klassifikation der Landnutzung anhand der Polarisationsparameter kann in dieser Untersuchung nicht als Alternative, jedoch als Erweiterung der Klassifikation der Intensitäten gesehen werden. Die unüberwachte Unterscheidung verschiedener Rauigkeitsklassen oder die Erkennung einzelner Gebäude wären hierfür Beispiele.

In Hinblick auf benetzte Vegetationsoberflächen konnte eine deutlich unterschiedliche Beeinflussung des Radarsignals in Abhängigkeit von Frequenz, Polarisation und Feldfrucht festgestellt werden. Insbesondere im X- und C-Band ist im Tagesgang mit unterschiedlichen Klassifikationsergebnissen zu rechnen.

#### Danksagung

Unser Dank gilt Frau Prof. Dr. CHRISTIANE SCHMULLIUS und Herrn Dr. VOLKER HOCHSCHILD für die wissenschaftliche Betreuung

der Projekte. Des Weiteren unterstützten uns STEFFEN GRÜNLER und CARSTEN PATHE bei der Auswertung der SAR-Daten.

## 5 Literatur

- CLOUDE, S.R. & POTTIER, E., 1996: A Review of Target Decomposition Theorems in Polarimetry. – IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, **34** (2): 498–518.
- DOBSON, M.C., ULABY, F.U. & PIERCE, L.E., 1995: Land-cover classification and estimation of terrain attributes using synthetic aperture radar. – Remote Sensing of Environment, **51**: 199–214.
- FLÜGEL, W.-A. & MÜSCHEN, B., 2000: Applied Remote Sensing and GIS Integration for Model Parameterisation (ARSGISIP). – Second Progress Report, Unpublished Project Report, 122 S., Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- GILLESPIE, T. J., B. BRISCO, R.J. BROWN & SOFKO, G.J., 1990: Radar detection of a dew event in wheat. – Remote Sensing of Environment, **33**: 151–156.
- HAJNSEK, I., PAPATHANASSIOU, K.P., REIGBER, A. & CLOUDE, S., 1999: Soil-Moisture Estimation Using Polarimetric SAR Data. – Proceedings IGARSS 1999, Hamburg, V: 2440–2442.
- HELLMANN, M., JAEGER, G., KRAETZSCHMAR, E. & HABERMAYER, M., 1999: Classification of full polarimetric SAR data using artificial neural networks and fuzzy algorithms. – Proceedings IGARSS 1999, Hamburg, V: 1995–1997.
- HEROLD, M., HOCHSCHILD, V. & SCHMULLIUS, C., 2000: Multifrequente und multipolarimetrische Radarfernerkundung hydrologisch relevanter Parameter der Landoberfläche. – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, **2000** (5): 355–360.
- HOBBS, S., ANG, W. & SEYNAT, C., 1998: Wind and rain effects on SAR backscatter from crops. – Proceedings of the 2nd International Workshop on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications, ESTEC, Netherlands, 21.–23. Oktober 1998.

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Geogr. CHRISTIAN THIEL und Dipl.-Geogr. TANJA RIEDEL, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geographie, Löbdergraben 32, D-07743 Jena, Tel.: 03641-948875, e-mail: c5chth@geogr.uni-jena.de

Manuskript eingereicht: Juni 2001

Angenommen: Juli 2001