

## Ausweisung ehemaliger Flussläufe anhand von multifrequenten, multipolarimetrischen SAR- und multispektralen ASTER-Daten am Beispiel des Oderbruch bei Goltzow

OLIVER MÜLLENHOFF & TORSTEN PRINZ, Münster

**Keywords:** remote sensing, SAR, multi-frequent, multi-polarimetric, river beds, historic data, retention areas

**Zusammenfassung:** Langwellige Radar-Daten des E-SAR wurden hinsichtlich ihres Potentials zur Rekonstruktion von ehemaligen Flussläufen in Auengebieten analysiert und bewertet. Dabei kamen verschiedene Farbkompositen aus multifrequenten und multipolarimetrischen sowie synthetisch erzeugten Daten zum Einsatz.

Mithilfe der Radarfernerkundung und ergänzender optischer Sensoren sowie historischer Daten wurde versucht, die Verlagerungen von Wasserflächen und ihrer Nebengewässeranbindungen aufzuzeigen. Dabei konnten besonders die entlang von Strömungsrinnen umgelagerten Sande, die den Uferverlauf rezenter oder ehemaliger Flussarme nachzeichnen, gut anhand der SAR-Daten identifiziert werden. Hinsichtlich der hydraulischen Wirksamkeit der alten Flussläufe ist das Wissen um ihre Lage besonders wichtig, da die Fließbewegungen auf den vorgezeichneten Bahnen alter Flussläufe weiter funktionieren. Anhand von Bodenuntersuchungen konnten die Ergebnisse verifiziert und mit dem historischen Kartenmaterial verglichen werden. Derartige Betrachtungen können für die Planung zukünftiger Retentionsflächen von Bedeutung sein.

**Summary:** *Search and classification of former river courses by using multi-frequent, multi-polarized SAR- and multi-spectral ASTER data: The Oderbruch near Goltzow.* Microwave remote sensing at wavelengths ranging from 1 cm to 1 m has gained a lot in importance over the last decade since the availability of active radar imaging systems has increased for a wide range of scientific applications. Synthetic aperture radar proved to be of great benefit, due to its day and night capabilities and weather independence. In contrast, optical sensors strongly dependent on weather conditions, consequently only 10% of the data collected over Europe throughout a year proves to be usable. Long-wave multi-polarimetric radar data of the E-SAR were analyzed and evaluated regarding their potential for the reconstruction of old river courses in marsh lands by calculating false colour composites. It became clear that applied radar remote sensing combined with supplementary optical data as well as historical maps leads to a detailed reconstruction of former river beds, particularly along old river gutters now filled with sandy fluvial deposits. To estimate their hydraulic impact on groundwater movements it is particularly important to obtain field data regarding to soil type and its *in situ* characteristics. On the basis of such soil analysis the results of the remote sensing interpretation could be verified and compared with the historical data. This methods underline the importance of applied SAR remote sensing for the future establishment of new river retention areas.

## 1 Einleitung

In Gebieten mit starker landwirtschaftlicher Nutzung und einem hohen Grad an Vegetationsbedeckung stoßen optische Fernerkundungssysteme bei der Aufzeichnung von Informationen der oberen Bodenschichten an ihre Grenzen. Zudem sind lediglich im Durchschnitt 10% der über Europa durch optische Systeme aufgezeichneten Daten eines Jahres aufgrund der Wetterbedingungen (Bewölkung) nutzbar. Der Einsatz von aktiven Mikrowellensensoren (Radar) bietet gegenüber den passiven optischen Fernerkundungssystemen in bestimmten Bereichen deutliche Vorteile, die einen komplementären Einsatz der unterschiedlichen Sensoren nahe legen.

Im Gegensatz zu passiven Fernerkundungsverfahren, die eine Oberfläche durch Aufnahme des reflektierten Sonnenlichts oder der emittierten Wärmestrahlung abbilden, beleuchten Radarsysteme aktiv eine Szene und nehmen die an ihr gestreute Strahlung wieder auf. Die Mikrowellenfernerkundung ist damit nahezu unabhängig von Tageszeit und Wetterbedingungen. Ein zusätzlicher Informationsgewinn gegenüber den optischen Sensoren ist auf die Fähigkeit zurückzuführen, in natürliche Oberflächenmaterialien im beschränkten Maße einzudringen sowie die Oberflächenrauigkeit und den Feuchtigkeitsgehalt des streuenden Mediums widerzuspiegeln. Letztere Eigenschaft des Oberbodens spielt für die Betrachtung des Oderbruchs mittels SAR-Daten eine bedeutende Rolle.

Mit Beginn der Eindeichung der Oder vor 250 Jahren wurde die Mäanderexpansion (quer zur Hauptfließrichtung) und die Laufmigration (Verlagerung in Längsrichtung) sowie die periodischen Überflutungen und damit jegliche Sedimentation unterbunden. Das Oderbruch verlor seinen Auencharakter. Im Zuge der Trockenlegung entwickelte sich die Landwirtschaft fortwährend, während viele ehemalige Flussarme in Vergessenheit gerieten. Die zur Verfügung stehenden historischen Unterlagen (ab 1743) aus den Archiven dokumentieren zwar eine Vielzahl von Informationen zu den Gewäs-

sern im Oderbruch, zeigen jedoch nicht den Zustand vor der ersten systematischen Regulierung der Oder (1717).

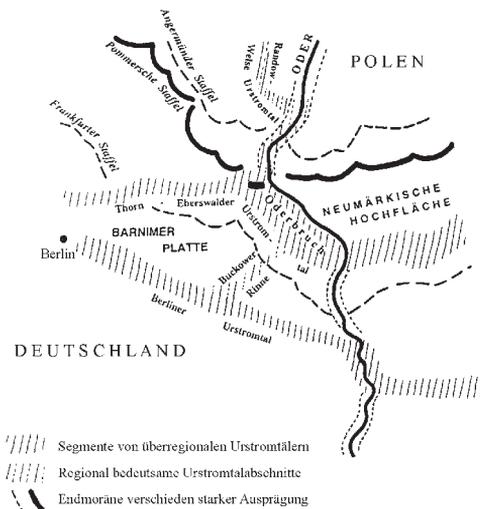
Mithilfe der Radarfernerkundung und ergänzenden optischen Daten wurde versucht, die Veränderungen hinsichtlich Wasserflächen und Nebengewässernbindungen aufzuzeigen.

## 2 Das Oderbruch

Das Oderbruch stellt eine deutlich begrenzte Aufweitung des mittleren Odertales zwischen Neumärkischer Hochfläche im Osten und Barnimer sowie Lebuser Platte im Westen dar (Abb. 1) und ist damit das größte geschlossene Flusspoldergebiet Deutschlands (KOFOD et al. 1997). Es erstreckt sich von Südosten nach Nordwesten auf ca. 60 km Länge bei einer Breite von etwa 12 km. Die Höhenlagen des Oderbruchbodens nimmt in Längsrichtung von Süden nach Norden von 14 m ü. NHN (bei Reitwein) bis auf 3 m ü. NHN (bei Bad Freienwalde) ab (DALCHOW & BORK 1998). Während sich das Oderbruch selbst nur wenige Meter über den Meeresspiegel erhebt, erreichen die umliegenden, zum Jungmoränengebiet gehörenden Hochflächen Höhen von über 100 m über NN, wobei die unmittelbare Stufe des Oderbruchrandes 15–40 m hoch ist.

Das gesamte Oderbruch bildete im Holozän eine Flussauenlandschaft, durch welche die Oder mäandrierte. Die periodisch auftretenden Überflutungsphasen führten zu flächenhaften Ablagerungen feinstkörniger Schwebfracht, dem so genannten Auelehm. Neben dem Auelehm treten zudem entlang von Strömungsrinnen umgelagerte Sande auf, die in Form von Dünen reliktsch erhalten oder fluviatil umgelagert wurden (MÜLLER 1992). Bisweilen bilden sie im Gelände kaum wahrnehmbare Erhöhungen, die den Uferverlauf rezenter oder ehemaliger Flussarme nachzeichnen (HRABOWSKI et al. 1983).

Die Eindeichung der Oder vor 250 Jahren unterband jegliche Sedimentation und das Bruch verlor seinen Auencharakter. Der Oder wurde durch die Umlegung in den „Neue-Oder-Canal“ östlich der Neuenha-



**Abb. 1:** Heutiger Oderverlauf im Oderbruch und seiner weiteren Umgebung mit Darstellung wichtiger Endmoränenstufen und Urstromtalabschnitte (aus DALCHOW & BORK 1998).

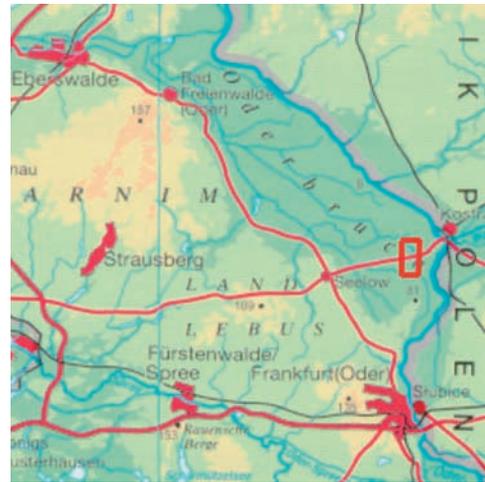
gener Insel ein kürzerer Abfluss verschaffen. Ferner wurde die linke Oderseite bis Hohenstaaten vollständig eingedeicht und ein umfangreiches Binnenentwässerungssystem mit Gräben angelegt. Seit der Trockenlegung des Oderbruchs entwickelte sich die Landwirtschaft fortwährend und wurde schnell zum Haupterwerbszweig der ansässigen Bevölkerung.

### 3 Datengrundlage

Für das Projekt standen Daten unterschiedlicher Sensoren, (historische) Kartenwerke und Geländebefunde zur Verfügung.

Der Schwerpunkt der Datenauswertung lag in der Analyse und Bewertung multifrequenter und multipolarimetrischer Radardaten vom 27. August 2002. Als Sensor diente das Experimentelle SAR-System (E-SAR) des Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR, Institut für Hochfrequenztechnik). Es kamen das kurzwellige X-Band in horizontaler Polarisation sowie die langwelligen multipolarisierten L- und P-Bänder zum Einsatz.

Panchromatische (s/w-) Luftbilder aus den Jahren 1997 und 2001 sowie CIR Luft-



**Abb. 2:** Geographische Übersicht des Untersuchungsgebietes – rot umrandet (aus STACKEBRANDT 1997).

bilder, die zeitgleich mit der E-SAR Befliegungskampagne aufgenommen wurden, dienen zur Landnutzungsbestimmung.

Multispektrale Daten des ASTER-Sensor (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) vom 18. Juli 2001 wurden für die Berechnung des NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) eingesetzt.

Das für die Ableitung von Reliefparameter sowie der Berechnung des Topographic Wetness-Index (TWI) verwendete Raster-DGM wurde aus Laser Scan Daten des Landesvermessungsamtes Brandenburg generiert und lag in einer Auflösung von 5 m/Pixel vor.

Die amtliche topographische Karte (TK10) diente als Basis für die Georeferenzierung der CIR Luftbilder und der historischen Karten. Zur pedologischen Interpretation des Untersuchungsraumes diente die Reichsbodenschätzung im Maßstab 1:25.000 des Landes Brandenburg von 1900. Die Situationskarte der Oder von 1745 wurde als Referenz zur Kartierung ehemaliger Wasserläufe herangezogen (Staatsarchiv Berlin).

Zur Validierung der E-SAR Daten wurden während der Befliegungskampagne auf

zuvor festgelegten Testflächen mithilfe von Stechzylindern (0–4 cm und 4–8 cm) Bodenproben erhoben. Diese wurden später nach der gravimetrischen Methode auf ihren Feuchtegehalt hin bestimmt.

#### 4 Synthetic Aperture Radar (SAR)

Das Wort *Radar* ist abgeleitet aus dem englischen *Radio Detection and Ranging* und beschreibt die ursprüngliche Aufgabe der Lokalisierung und Entfernungsmessung von Objekten mittels Radiowellen. Das Abbildungsradarsystem mit synthetischer Apertur bietet gegenüber den herkömmlichen Radarsystemen den Vorteil einer Verbesserung der geometrischen Auflösung in Azimutrichtung. Radar-Abbildungssysteme sind aktive Systeme, die im Mikrowellenbereich des elektromagnetischen Spektrums mit Wellenlängen zwischen etwa 1 cm und 1 m operieren.

##### *Spezielle Rückstreuereigenschaften*

Mit abbildenden Radarsystemen (*Imaging Radar*) wird eine zweidimensionale Abbildung (CURLANDER & McDONOUGH 1991) des überflogenen Gebietes ermöglicht. Aus der Rückstreuung des Radarsignals können wichtige Informationen über Rauigkeit, geometrische Struktur und dielektrische Eigenschaften der Oberfläche sowie des oberflächennahen Untergrundes abgeleitet werden.

Unter identischen Rahmenbedingungen (Einfallswinkel u. Frequenz) gilt für Radarsysteme: Je rauer die Oberfläche, desto diffuser ist die Rückstreuung bzw. je glatter die Oberfläche, desto gerichteter die Reflexion. Dabei kann eine Oberfläche, die bei kurzwelligem Radar (z. B. X-Band) rau erscheint, bei größeren Wellenlängen (z. B. P-Band) Eigenschaften einer glatten Fläche aufweisen.

Die Änderung der Dielektrizitätskonstante bei Änderung des Bodenwassergehaltes führt zu einem veränderten Rückstreuverhalten des Bodens. Dabei spielt der große Unterschied der Dielektrizitätskonstante von Wasser (80) und trockenem Boden (3-8)

die entscheidende Rolle (LEWIS et al. 1998). Bei steigendem Bodenwassergehalt nimmt die Dielektrizitätskonstante zu. Die hohe Dielektrizitätskonstante von Wasser ist in der leichten Polarisierbarkeit der Wasserdipole begründet. Bei Änderung des angelegten elektrischen Feldes (Umpolung) richten sich die Dipole neu aus. Besonders die Verwendung von niedrigen Frequenzen (z. B. L- und P-Band) eignen sich, um Bodenfeuchteunterschiede zu detektieren, da die Wasserdipole genügend Zeit haben sich neu zu orientieren. Die Ausrichtung der Dipole ist somit für die Intensität der Rückstreuung entscheidend.

Die Bindung des freien Wassers ist pedologisch von der Bodentextur und Lagerungsdichte abhängig. Die freien Wassermoleküle bewirken einen Anstieg der Dielektrizitätskonstante. Tonige Böden mit großer spezifischer Oberfläche binden eine größere Menge Wasser fest an der Oberfläche als sandige Böden. Im Allgemeinen gilt: je länger die Wellenlänge, je kleiner der Einfallswinkel und je trockener das Material, desto tiefer dringt die Welle in ein Medium ein (HAJNSEK 1999, ULABY et al. 1981, 1982 und 1986).

#### 5 Methodik

Alle zur Verfügung stehenden Daten wurden gemäß ihrer speziellen Charakteristika mittels geeigneter Software und Laboranalytik aufbereitet und innerhalb eines gemeinsamen Raumbezugssystems in einem Geographischen Informationssystem (GIS) zusammengeführt.

##### 5.1 Datenaufbereitung E-SAR

Durch den Einsatz des kurzwelligen X-Bandes (3,1 cm) in der horizontalen Polarisation sowie der vollpolarisierten langwelligen L- (23,5 cm) und P-Bänder (68 cm) standen neun Kanäle und ihre jeweiligen Rückstreuintensitäten zur Verfügung.

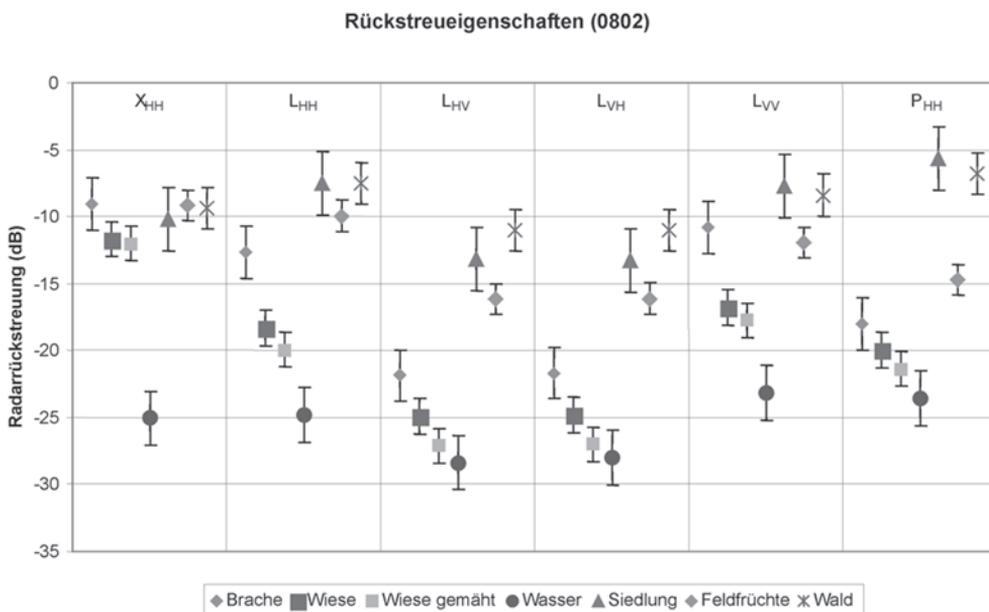
Durch die statistische Analyse der neun Einzelkanäle wurde deutlich, dass jeweils die beiden Kreuzpolarisationen (HV u. VH) im L- und P-Band nahezu identische statis-

tische Parameter aufweisen. Die visuelle Analyse bestätigte dieses Ergebnis. Infolge dessen wurde zur Datenreduktion auf die jeweilige Kreuzpolarisation (VH) im L- und P-Band verzichtet. Zudem ist das P-Band in der Kreuz- und der vertikalen Polarisation durch starke Störungen gekennzeichnet. Lediglich die horizontale Polarisation des P-Bandes weist schwächere Störungen auf, so dass diese Polarisation für die weitere Analyse mit Einschränkungen genutzt werden konnte. Diese Störungen sind vermutlich auf das Systemrauschen des Sensors sowie auf TV-/Mobilfunk-, Sende- und Empfangsanlagen im Untersuchungsgebiet zurückzuführen.

Die Auswertung der Daten belegt, dass sich besonders das langwellige L-Band durch eine hohe Sensitivität für Bodenfeuchtevariationen auszeichnet, die oft auf einen Substratwechsel im Untergrund hindeuten (s. Kap. 6). Dabei unterscheidet sich das Rückstreuverhalten der Oberfläche und der oberen Bodenschichten im  $L_{VV}$  von demjenigen im  $L_{HH}$  und  $L_{HV}$  durch eine insgesamt höhere Rückstreuung. Die vertikale

Polarisation des L-Bandes zeichnet sich zudem durch einen geringeren Einfluss der Vegetation aus. Grund hierfür ist die vertikale Oberflächenstruktur der Vegetation. Sie bedingt im  $L_{VV}$  ein stärkeres Durchdringen der Vegetationsschicht und liefert mehr Informationen über dielektrische Eigenschaften des Oberbodens. Das kreuzpolarisierte L-Band zeigt eine insgesamt niedrigere Rückstreuung, da nur die depolarisierte Strahlung aufgezeichnet wird (Abb.3).

Um die Datenredundanz in den stark korrelierten Radardaten zu reduzieren, kam die Hauptkomponentenanalyse (HKA) zur Anwendung (DRURY 1993). Sie erzeugt zusätzlich einen synthetischen Sekundärdatensatz, der die Reflexion aller Kanäle enthält und es ermöglicht, übergeordnete Rückstreuvariabilitätsmuster aus verschiedenen Kanälen abzuleiten. Die höherwertigen Hauptkomponenten zeigen dabei eine Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses sowie weitere radiometrische Effekte (z. B. geringerer Speckle) und eignen sich deshalb besonders für quantitative Auswerteverfahren. Nach visuellen Kriterien erweist sich die 1. Haupt-



**Abb. 3:** Rückstreueigenschaften für das Untersuchungsgebiet (Mittelwert und Standardabweichung) in unterschiedlichen Frequenzen (X-, L- u. P-Band) und Polarisationen (HH = horizontal, HV = kreuzpolarisiert u. VV = vertikal) für verschiedene Oberflächenkategorien.

komponente aus den multipolarimetrischen L-Banddaten als nützlich für die weitere Analyse der Bilddaten zur Ausweisung ehemaliger Flussläufe bzw. ihrer Relikte.

Die zweite Hauptkomponente, die stark durch Vegetationseinflüsse geprägt ist sowie die Informationen der dritten HK, fanden in den weiteren Bildanalysen keine Anwendung.

Zusätzlich zu den Amplituden enthalten auch die Phasenverhältnisse zwischen den Polarisationen nützliche Information. Aus diesem Grund wird eine sogenannte PAULI-Dekomposition der Daten vorgenommen (REIGBER 2001). Sie ermöglicht die Zerlegung der Gesamtrückstreuung in mehrere Streuprozesse, wodurch die unterschiedlichen Streumechanismen bestimmt werden können. Die Rückstreuung lässt sich mithilfe der PAULI-Dekomposition der [S]-Matrix in drei verschiedene physikalisch interpretierbare Streumechanismen unterteilen: Zum einen in Einfachreflexionen (single bounce), in Doppelreflexionen an zwei zueinander senkrecht stehenden Ebenen (double bounce) und in einen Anteil, der die Rückstreuung der durch Reflexion an zwei um  $45^\circ$  zur Blickrichtung des Radars gedrehten Ebenen enthält (volume scattering).

Im Rahmen der Bildverarbeitung wurden aus den SAR-Daten und aus den synthetisch erzeugten Sekundärdatensätzen verschiedene Farbkompositen generiert, die Hinweise auf Substratwechsel im Oberboden liefern.

## 5.2 Datenaufbereitung ASTER

Die Daten des ASTER-Sensors dienen zur Generierung von Falschfarbenkompositen und zur Berechnung des Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Die Kanäle ASTER-321, ermöglichen die Vegetationsanalyse, wobei zwei sichtbare (Band 1:  $0.52 - 0.60 \mu\text{m}$ , Band 2:  $0.63 - 0.69 \mu\text{m}$ ) und ein Infrarotkanal (Band 3:  $0.76 - 0.86 \mu\text{m}$ ) miteinander kombiniert werden. Vegetationslose Flächen erscheinen türkis oder grünlich, Wasser ist je nach Wassertiefe blau oder schwarz, Vegetation erscheint je nach Vitalität und Wachstum in unterschiedlichen Rottönen. Der NDVI (ROUSE et al. 1973) der die normierte Differenz der Rück-

strahlung des NIR-Bereiches gegenüber dem Rotbereich darstellt, kann zur Erfassung der Biomasse bzw. des Blattflächenindex herangezogen werden.

## 5.3 Digitales Geländemodell (DGM)

Aus dem Laser Scan DGM wurde der Topographische Wetness-Index (TWI) abgeleitet sowie die Geländemorphologie analysiert. Das Konzept des „Wetness-Index“ ( $\omega$ ) (BEVEN & KIRKBY 1979, MOORE et al. 1993) bietet eine Methode zur flächenbezogenen Vorhersage der Bodenfeuchteverteilung. Er ist eine nichtlineare Verknüpfung aus dem spezifischen Einzugsgebiet ( $A_s$ ) eines Punktes und seiner lokalen Hangneigung ( $\tan\beta$ ). Basis dieses Konzeptes ist die Annahme, dass die Geländeform die Bewegung des Wassers auch im oberen Bodenbereich bestimmt und somit über die räumliche Verteilung des Bodenfeuchtemusters entscheidet. Die Wasserleitfähigkeit des Bodens im gesättigten Zustand wird dabei für die gesamte Landschaft als konstant ( $= 1$ ) angenommen, so dass auf die  $k_f$ -Werte des Bodens verzichtet wird. Ein konvergierendes, flaches Gelände wird durch einen hohen Index-Wert charakterisiert, während niedrige Werte steile Gebiete mit kleinem Zuflussgebiet kennzeichnen.

## 6 Datenanalyse

Die panchromatischen Luftbilder (Abb. 4) und die CIR-Aufnahmen wurden in einem ersten Schritt auf an der Oberfläche sichtbare Substratvariationen hin untersucht. Die so ermittelten Strukturen dienen als Referenz für die Analyse der SAR-Daten. Die Situationskarte der Oder von 1745 (Abb. 5) lieferte wichtige Hinweise bezüglich der Lage von rezenten und ehemaligen Flussarmen im Untersuchungsgebiet.

Der Vergleich der Luftbilder mit der historischen Karte ermöglicht eine Abschätzung der Veränderung hinsichtlich Wasserflächen und Nebengewässeranbindungen. Es zeigt sich, dass im Zuge der Trockenlegung des Bruchs sowie der Flurbereinigung und der landwirtschaftlichen Nutzung die



**Abb. 4:** Luftbild von 2001 bei Goltzow.



**Abb. 5:** Ausschnitt der Situationskarte der Oder (1745) bei Goltzow.



**Abb. 6:** E-SAR Farbkomposite  $L_{VV}$ ,  $L_{HH}$ ,  $L_{HK1}$  für den Untersuchungsraum bei Goltzow.

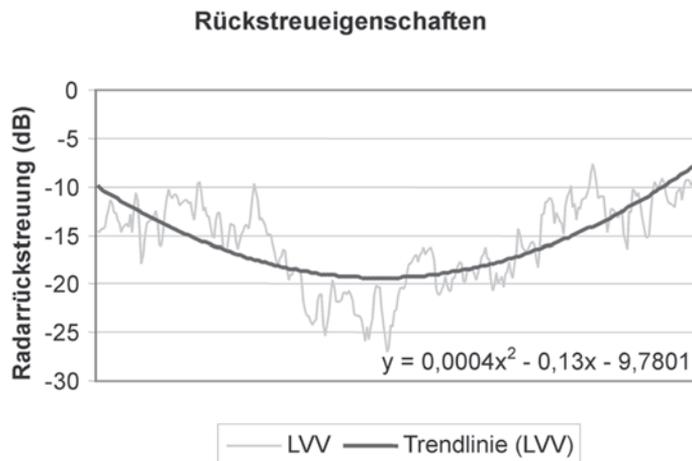


**Abb. 7:** E-SAR Farbkomposite  $L_{VV}$ ,  $L_{HH} + L_{VV}$ ,  $2 \times L_{HV}$ .

Flussarme südlich des „Goltzower Strohm“ heute nicht mehr existieren. Weiterhin fällt auf, dass die Flussarme in der Situationskarte von 1745 der Oder z. T. abrupt enden. Dieses Phänomen ist vermutlich auf die ersten Eindeichungsarbeiten zurückzuführen, die bereits 28 Jahre vor der Kartenerstellung durchgeführt wurden.

Verschiedene Farbkompositen, die aus den E-SAR-Daten generiert wurden, weisen

für den Bereich südlich des „Goltzower Strohm“ eindeutig mäanderähnliche Strukturen aus, die mit den Flussarmen aus der Situationskarte der Oder von 1745 in Verbindung gebracht werden können. Diese Strukturen lassen sich z. T. auch in den Luftbildern erkennen und sind auf einen Substratwechsel im Untergrund zurückzuführen. Den Farbkompositen in Abb. 6 und 7 liegen die Polarisationen des L-Band sowie



**Abb. 8:** Beispiel des Einfluss der fluviatilen Sedimente auf die Rückstreueigenschaften der vertikalen Polarisation des L-Bandes.

die synthetisch erzeugten Sekundärdatensätze zu Grunde. Sie geben die beschriebenen Strukturen besonders deutlich wieder und ermöglichen die Rekonstruktion des Verlaufs der abrupt endenden Flussarme aus den historischen Daten bis zum „Goltzower Strohm“.

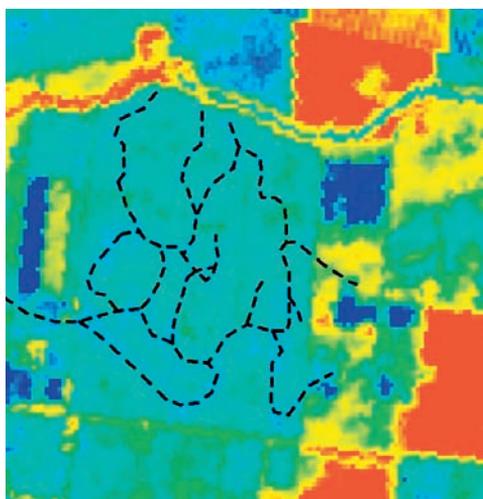
Die mäanderähnlichen Strukturen lassen sich über verschiedene Landnutzungen hinweg erkennen und zeichnen sich durch eine besonders niedrige Rückstreuung im Vergleich zu den umliegenden Bereichen aus (Abb. 8). Der Rückgang der Radarrückstreuung in Abb. 8 geht auf die beobachteten Strukturen zurück. Die Referenzlinie ist in Abb. 7 rot gestrichelt dargestellt.

Die bodenkundlichen Untersuchungen vor Ort haben für die Bereiche mit geringer Rückstreuung trockene Sande im Untergrund ergeben. Die überlagernden Bodenschichten sind mit dem Sand durchmischt und ebenfalls trockener als die benachbarten oberen Bodenschichten, die über feuchten Auenlehm lagern. Die Variationen in der Bodenfeuchte resultieren in unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten für den Oberboden. Mit steigendem Bodenwassergehalt erhöht sich die Dielektrizitätskonstante und somit die Intensität der Rückstreuung. Eine

Ausnahme bilden glatte Oberflächen (z. B. an Wasseroberflächen), da spiegelnde Reflexionen auftreten können.

Da die Vitalität der Vegetation eng an die Feuchtigkeit des Bodens gekoppelt ist, wurde für das Untersuchungsgebiet aus den ASTER-Daten der NDVI berechnet. Der NDVI (definiert von  $-1$  bis  $+1$ ) ist naturgemäß für nicht eutrophe Wasserflächen  $-1$ . Vitale, chlorophyllreiche Vegetationsflächen erreichen Werte größer  $0$  bis hin zu  $1$ . Es zeigte sich, dass Vegetation auf feuchtem Auenlehm einen höheren Index aufweist als vergleichbare Vegetation auf trockenem fluviatilen Sedimenten. Somit konnte indirekt ein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der SAR-Daten und den Bodenfeuchtevariationen belegt werden. Abb. 9 zeigt einen Ausschnitt des NDVI mit der TK10 südlich des „Goltzower Strohm“, der in Abb. 6 rot umrahmt dargestellt ist. Der NDVI ist von  $0$  (blau) bis  $1$  (rot) farbkodiert dargestellt. Die Bereiche mit geringerer Vegetationsvitalität lassen sich z. T. gut mit den Ergebnissen der SAR-Daten korrelieren (schwarz gestrichelte Linie in Abb. 9).

Dieser Eindruck bestätigt sich auch vor Ort. Die Vegetation über dem Auenlehm er-



**Abb. 9:** Farbcodierter ASTER-NDVI für den Untersuchungsraum bei Goltzow.

scheint in einem kräftigen Grün, während sie über den fluviatilen Sedimenten blassgrün ausgeprägt ist (Abb. 10).

Für das Untersuchungsgebiet wurde aus dem DGM bzw. aus den daraus abgeleiteten Parametern Hangneigung und Fließakkumulation der Topographische Wetness Index (TWI) berechnet. Der TWI gibt einen flächenhaften Eindruck der Bodenfeuchteverteilung wieder, wobei ein höherer topographischer Index mit einem höheren Bodenwassergehalt gleichzusetzen ist.

Abb. 11 zeigt einen Ausschnitt des TWI mit der TK10 südlich des „Goltzower Strohm“, der in Abb. 6 rot umrahmt dargestellt ist. Die Bereiche mit einem hohen TWI-Index sind in dunklen Blautönen dargestellt. Der Vergleich mit den Ergebnissen der SAR-Daten (gelb gestrichelt) zeigt deutlich einen Zusammenhang zwischen niedrigen TWI-Index-Werten und den beobachteten mäanderähnlichen Strukturen. Dieser Zusammenhang spiegelt die im Gelände kaum wahrnehmbaren Erhöhungen wider, die durch die umgelagerten Sande entlang von Strömungsrinnen entstanden sind und die den Uferverlauf rezenter oder ehemaliger Flussarme nachzeichnen.



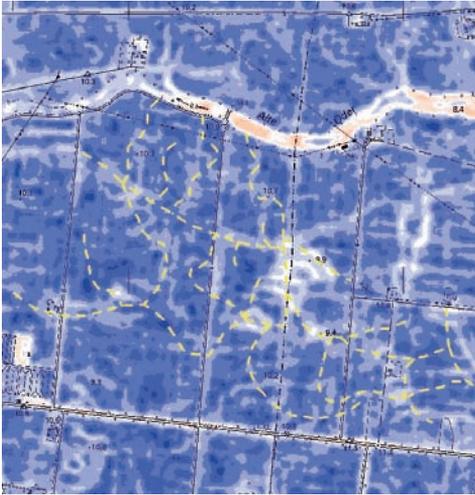
**Abb. 10:** Vitalitätsunterschiede innerhalb einer Getreidefläche im Untersuchungsgebiet (Mai 2001).

Ein Vergleich der aus den SAR-Daten gewonnenen Ergebnisse (Abb. 12 – blau gestrichelt) mit der Reichsbodenschätzung des Landes Brandenburg macht deutlich, dass die Rekonstruktion von ehemaligen Flussläufen nicht auf Grundlage der Reichsbodenschätzung erfolgen kann.

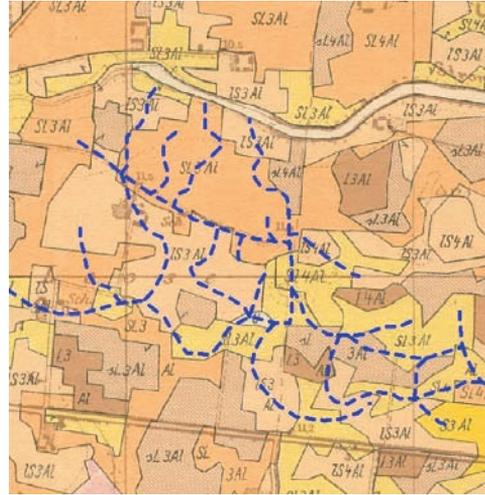
## 7 Schlussfolgerung

Die Untersuchungen belegen das hohe Potential, den der Einsatz von langwelligen multipolarimetrischen Radardaten für die Rekonstruktion von Flussläufen in Auengebieten besitzt, die im Zuge anthropogener Veränderungen in Vergessenheit geraten, aber für die zukünftige Beurteilung von Retentionsflächen wichtig sind. Besonders die entlang von Strömungsrinnen umgelagerten Sande, welche bisweilen im Gelände kaum wahrnehmbare Erhöhungen bilden und den Uferverlauf rezenter oder ehemaliger Flussarme nachzeichnen, lassen sich gut anhand von SAR-Daten erfassen. Hinsichtlich der hydraulischen Wirksamkeit der alten Flussläufe ist das Wissen um ihre Lage besonders wichtig, da die Fließbewegungen auf den vorgezeichneten Bahnen alter Flussläufe weiter funktionieren.

Der Einsatz von multifrequenten und multipolarimetrischen SAR-Daten bietet innerhalb großflächiger Regionen die Möglichkeit einer ökonomischen Erfassung und Beurteilung ehemaliger und rezenter Fluss-



**Abb. 11:** Topographischer Wetness Index (TWI) bei Goltzow.



**Abb. 12:** Reichsbodenschätzung des Landes Brandenburg von 1903 für das Untersuchungsgebiet.

läufe in Auengebieten. Die Integration der aufbereiteten SAR-Daten in ein Geoinformationssystem (GIS) gestattet einen schnellen Abgleich der Ergebnisse mit aktuellen und historischen Daten sowie die Ausweisung rezenter oder ehemaliger Uferverläufe. Eine schnelle Auswahl von wenigen Testgebieten, in denen Geländereferenzdaten erhoben werden, wird so ermöglicht.

### Danksagung

Die Autoren möchten der EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH und dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LGRB), insbesondere Dipl.-Ing. JONA KAHL und Dr. NORBERT SCHLAAK, für ihre Unterstützung und die Bereitstellung der Daten danken.

### Literatur

- BEVEN, K.J. & KIRBY, M., 1979: A physically-based, variable contributing area model of basin hydrology. – *Hydrological Sciences Bulletin* **24**: 43–69.
- CURLANDER, J.C. & McDONOUGH, R.N., 1991: *Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing*. – Wiley, New York.
- DALCHOW, C. & BORK, H.-R., 1998: Das Oderbruch – Einführung in die Entstehungsgeschichte. – In: DARKOW, G. & BORK, H.-R. (Hrsg.): *Die Bewirtschaftung von Niederungsgebieten in Vergangenheit und Gegenwart*. – ZALF-Bericht, **34**: 13–17, 1 Abb., Münchenberg.
- DRURY, S.A., 1993: *Image Interpretation in Geology*. – 2. Aufl., 283 S., Chapman and Hall, London.
- HAINSEK, I., 1999: Pilotstudie Radarbefliegung der Elbaue. – Endbericht zum Verbundvorhaben Morphodynamik der Elbe (FKZ 0339566), FU Berlin.
- HRABOWSKI, K., JÄGER, K.-D. & LIPFERT, U., 1983: Naturräumliches Bebauungspotential und ingenieurgeologische Probleme in einer Wallnetz-Aue, dargestellt am Beispiel des unteren Oderbruchs. – In: KLIEWE, H. (Hrsg.): *Das Jungquartär und seine Nutzung*. – Petermanns Geographische Mitteilungen, Ergänzungsheft, **282**: 225–236, 13 Abb., 1 Tab., Gotha/Leipzig.
- KOFOD, M., SCHÜRING, J., MERZ, C., LIEDHOLZ, T., SIEKMANN, I. & ISENBECK-SCHRÖTER, M., 1997: Der geochemische Einfluss von Sickerwasser aus landwirtschaftlich genutzten Flächen auf das Grundwasser im Oderbruch. – *Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft*, **148** (3–4): 389–403, 9 Abb., 6 Tab., Stuttgart.

- LEWIS, A.J., HENDERSON, F.M. & HOLCOMB, D.W., 1998: Radar Fundamentals: The Geoscience Perspective. – In: HENDERSON, F.M. & LEWIS, A.J. (Hrsg.): Manual of Remote Sensing, Band 2: Principles and Applications of Imaging Radar, Kapitel 3. – 3. Aufl., Wiley, New York, USA.
- MOORE, I.D., GESSLER, P., NIELSEN, G. & PETERSON, G., 1993: Soil Attribute Prediction using Terrain Analysis. – Soil Science Society America Journal **57**: 443–452.
- MÜLLER, L., 1992: Die Agrarlandschaft Oderbruch; Böden, Gewässer, Nutzung. – Ein Informationsmaterial [3. Entwurf]: 104 S., 60 Abb., 33 Tab., 13 Taf., Müncheberg.
- REIGBER, A., 2001: Airborne Polarimetric SAR Tomography. – Dissertation, angefertigt am Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen, Institut für Navigation der Universität Stuttgart.
- ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A. & DEERING, D.W., 1973: Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. – Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309–317.
- STACKEBRANDT, W. (1997): Geographische Übersicht Brandenburgs. – In: EHMKE, G. & MANHENKE, V. (Hrsg.): Atlas zur Geologie von I Brandenburg im Maßstab 1 : 1.000.000. – 80 S., 10 Abb., 5 Tab., 22 Ktn., Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Kleinmachnow.
- ULABY, F., MOORE, R. & FUNG, A., 1981, 1982 und 1986: Microwave Remote Sensing – Vol. I: Microwave Remote Sensing fundamentals and Radiometry. Vol. II: Radar Remote Sensing and Surface Scattering and Emission Theory. Vol. III: From Theory to Applications. – Addison Wesley and Artech House.

## Anschriften der Autoren:

Dipl.-Geol. OLIVER MÜLLENHOFF  
Geologisch-Paläontologisches Institut, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Corrensstraße 24, D-48149 Münster  
e-mail: mullenh@uni-muenster.de

Dr. rer. nat. Dipl.-Geol. TORSTEN PRINZ, Informations-Verarbeitungs-Versorgungseinheit (IVV-FB14) Geowissenschaften, Robert-Koch-Straße 26, D-48149 Münster  
e-mail: prinz@uni-muenster.de

Manuskript eingereicht: August 2003  
Angenommen: November 2003