7 Schlussfolgerungen und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit werden am Beispiel des Untersuchungsgebietes im Oderbruch bei Manschnow mit der Verarbeitung und Interpretation von multifrequenten und multipolarimetrischen Radardaten des Flugzeug getragenen **E**xperimentellen **SAR**-Systems (E-SAR) des **D**eutschen Zentrum für **L**uft und **R**aumfahrt e.V. (DLR), Informationen aus Untersuchungen vor Ort sowie historischem Kartenmaterial Methoden aufgezeigt, mit deren Hilfe die Lokalisierung von zyklisch abgelagerten Sedimenten ermöglicht wird, die in Verbindung mit ehemaligen mäandrierenden Flussläufen stehen.

Die Mikrowellenfernerkundung bietet für die Rekonstruktion ehemaliger Flussläufe innerhalb von Auenlandschaften mit starker landwirtschaftlicher Nutzung und einem hohen Grad an Vegetationsbedeckung neue Möglichkeiten einer ökonomischen Erfassung und Beurteilung von Veränderungen der Gewässerstruktur hinsichtlich der Lage und Ausdehnung ehemaliger mäandrierender Flussläufe. Die flächendeckende Erfassung von Informationen des Oberbodens durch ein SAR-System stellt eine Alternative zu den aufwändigen klassischen Punktmessungen dar. Der besonders hohen räumlichen Auflösung von Flugzeug getragenen SAR-Systemen steht die Unflexibilität in ihrer zeitlichen Verfügung entgegen, sowie die umfangreiche Kampagnenplanung mit Geländeaufnahmen, die zurzeit noch für die Validierung der Daten benötigt werden. Zudem sollte bei der Bewertung der Mikrowellenfernerkundung nicht außer Acht gelassen werden, dass die ursprünglich Aufgabe der Radartechnik lediglich in der Lokalisierung und Entfernungsmessung von Objekten mittels Radiowellen liegt. Diese Arbeit erprobt die Möglichkeiten und Grenzen der multifrequenten und vollpolarimetrischen Radarfernerkundung von Flussauen.

Wegen des komplexen Aufnahmeverfahrens von Radarsensoren erfordert die Aufbereitung und Verarbeitung von SAR-Daten einen immensen numerischen Rechenaufwand sowie einen im Vergleich zu multispektralen und optischen Daten höheren Arbeitsaufwand bei der Georeferenzierung, Entzerrung und Bearbeitung der Daten mittels Filtertechniken aufgrund der bisher weniger verbreiteten Anwendung in der Geologie.

Die Untersuchungen unterstreichen das hohe Potential, den der Einsatz von langwelligen multipolarimetrischen Radardaten für die Rekonstruktion von Gewässerstrukturen in Auenlandschaften besitzt, die im Zuge anthropogener Veränderungen in Vergessenheit geraten sind. Eine sorgfältige statistische Analyse der einzelnen Bänder und Polarisationen sowie ihr Korrelationsgrad erleichtert die Auswahl von geeigneten Farbkombinationen zur Hervorhebung von Gewässerstrukturen in den E-SAR-Daten. Sie entbinden den Bearbeiter jedoch keinesfalls von einer visuellen Interpretation der Daten, die den Vergleich mit *ground truth*-Informationen, historischem Kartenmaterial u. komplementären Datensätze einschließt. Für das Untersuchungsgebiet werden Farbkombinationen aus originalen E-SAR-Daten mit möglichst geringem Korrelationsgrad und synthetisch erzeugte Sekundärdatensätze als am Besten geeignete Farbkompositen zur Lokalisierung von Gewässerstrukturen gewertet.

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

aufweisen. Die visuelle Analyse bestätigte dieses Ergebnis. Infolgedessen kann zur Datenreduktion auf die jeweilige Kreuzpolarisation (VH) im L- und P-Band verzichtet werden. 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. Dabei unterscheidet sich das Rückstreuverhalten der Oberfläche und der oberen Bodenschichten im L_{VV} von denen 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

Die höherwertigen Hauptkomponenten sind durch eine Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses sowie weiterer radiometrischer Effekte (z.B. geringerer Speckle) gekennzeichnet und eignen sich deshalb besonders für quantitative Auswerteverfahren. Nach visuellen Kriterien erweist sich die 1. Hauptkomponente 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. Die Ratiobildungen brachten nur zu einem geringen Teil eine Verbesserung Signatur von Gewässerstrukturen. Die Addition der einzelnen Originalkanäle hebt insbesondere die mäanderähnlichen Strukturen hervor, die auf einen Substratwechsel im Untergrund hindeuten. Je mehr Kanäle aus den E-SAR-Daten miteinander addiert werden, desto höher wird der Kontrast zwischen den Bereichen, in denen die Oberflächenreflexion dominiert, und den Bereichen, in denen die Volumenstreuung vorherrscht. Da mit der PAULI-Zerlegung nur zwischen drei Streumechanismen unterschieden werden kann, ist diese in vielen Fällen nicht ausreichend für eine vollständige Interpretation der Radar-Daten. Jedoch liefert die Berechnung der zweiten und dritten PAULI-Komponente Informationen zu den Gewässerstrukturen im Untersuchungsgebiet und legt eine Verwendung dieser Datensätze für die Farbkompositen nahe.

Die iterative Filterung der E-SAR-Daten mit einem Frost-Filter der Fenstergröße 7x7 führte zu einer Verminderung der körnigen Bildstruktur bei gleichzeitiger Erhaltung von Kanten und Linearen sowie punktueller Strukturen. Insgesamt wirkt das Speckle-gefilterte Bild jedoch etwas unschärfer, was auf einen gewissen Verlust an räumlicher Detailinformation hinweist.

Die Korrelation der Rückstreuintensitäten mit den Niederschlagsdaten unterstreicht eindrucksvoll den Einfluss von Niederschlagsereignissen vor Befliegungskampagnen auf die Radarrückstreuung. Dieses Ergebnis ist für Untersuchungen, die das Extrahieren von

Bodeninformationen aus SAR-Daten zum Ziel haben, von entscheidender Bedeutung. Je höher die Niederschläge vor einer Befliegungskampagne sind, desto geringer fällt der Informationsgehalt über Substratvariationen in den langwelligen Radarbändern aus. Eine flexible Kampagnenplanung, die auf kurzzeitige Niederschlagsereignisse reagieren kann, wird daher notwendig, um einen möglichst hohen Informationsgehalt der langwelligen Radardaten bezüglich Bodeninformationen zu gewährleisten.

Die Validierung der E-SAR-Daten mit den Bohrprofilen des LGRB zeigt deutlich, dass sich besonders die entlang von Strömungsrinnen umgelagerten Sande, welche bisweilen im Gelände kaum wahrnehmbare Erhöhungen bilden und den Uferverlauf rezenter oder ehemaliger Flussarme nachzeichnen, sich gut anhand von langwelligen vollpolarimetrischen SAR-Daten erfassen lassen.

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. So können wichtige Einschätzungen hinsichtlich der Lage und Ausdehnung ehemaliger mäandrierender Flussläufen im Gelände bereits am PC gewonnen werden.

Mit der weiteren technischen Entwicklung werden in naher Zukunft die zur Zeit noch manuellen Verarbeitungsschritte für Flugzeug getragene SAR-Systeme operationalisiert werden können. Die Verfügbarkeit geeigneter Daten von Satelliten-Radarsystemen ist aufgrund der technischen Realisierbarkeit eingeschränkt. Faktoren wie benötigte Stromversorgung, Datenrate und -menge sowie Antennendimension und geometrische Auflösung spielen eine limitierende Rolle. Zudem werden die derzeitigen Satellitensysteme oft nur mit einer Frequenz und gleichpolarisierter Konfiguration betrieben.

Die P-Band Daten weisen durchweg starke Störungen auf und konnten für die Auswertung nur zu einem geringen Teil genutzt werden. Sollten in naher Zukunft die technischen Probleme des P-Band in den Griff zu bekommen sein, so wird das langwellige P-Bands ein wichtiges Instrument zur Erfassung von Substratwechseln im Untergrund darstellen.

Über den Rahmen dieser Arbeit hinaus legen die hier angewendeten Methoden und vorliegenden Ergebnisse eine Reihe weiterführender Untersuchungen nahe. Vor allem die polarimetrische Auswertung der SAR-Daten kann wichtige Informationen über die physikalische Beschaffenheit der beobachteten Streuer liefern. Einige Streumodelle ermöglichen eine physikalische Interpretation des Streuprozesses, wodurch direkt Rückschlüsse auf die Art der abgebildeten Oberfläche gezogen werden können. Polarimetrische Dekompositionsmethoden ermöglichen die Zerlegung der Rückstreuung einer Auflösungszelle in mehrere Streuprozesse. Somit lässt sich möglicherweise eine bessere Differenzierung von Gewässerstrukturen in den SAR-Daten erreichen.