6.3.4 Reliefparameter

Aus dem als Rasterbild vorliegenden Laser-Scann DGM lassen sich mit Hilfe eines Geoinformationssystems vielfältige Folgeprodukte erzeugen.

Anhand eines in 256 Stufen farbkodierten DGM (Abb. 6.26) kann für das Untersuchungsgebiet eine tendenzielle Abnahme der Geländehöhe von SE nach NW festgestellt werden. Der W-E-Verlauf des Golzower Strom (1) und seine Verlängerung nach S (2) sind deutlich zu lokalisieren. Dass der Bereich des Fort Gorgast (3) als einer der höchsten Areale abgebildet wird sowie die großflächigen einheitlich farbkodierten Areale unterstreichen die allgemein geringe Reliefenergie des Untersuchungsraums. Zudem ist eine gewässerähnliche Struktur (4) als Positivform westlich des Fort Gorgast zu erkennen.

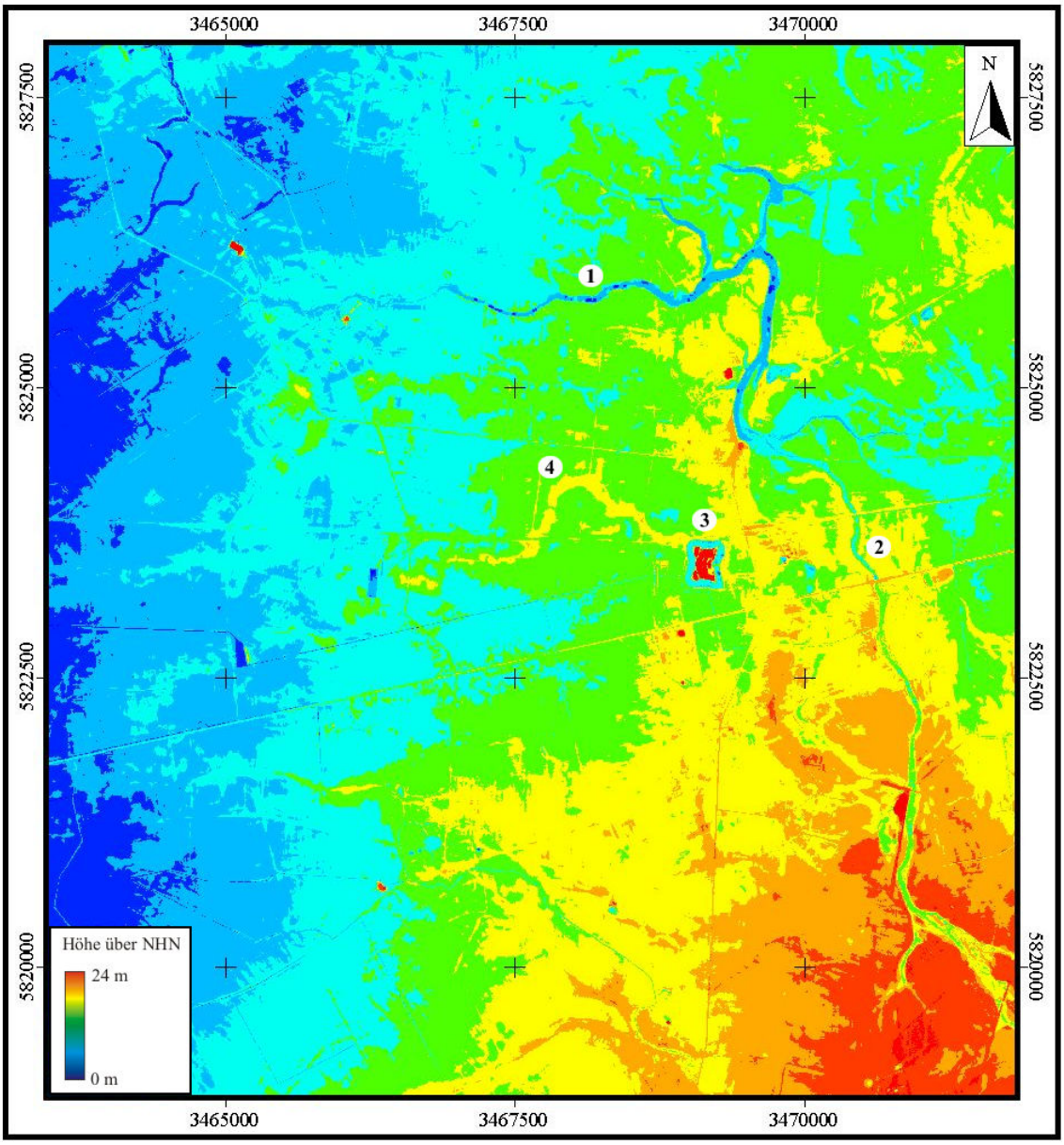

Abb. 6.26: Farbkodiertes DGM aus den Laser-Scann-Daten für das Untersuchungsgebiet (Erläuterung siehe Text).

Weitere Strukturen, die auf ein rezentes oder ehemaliges Gewässers schließen lassen, sind jedoch nicht eindeutig zu identifizieren.

Bei der Visualisierung der Laser-Scann-Daten als Schummerungskarte kommt die Schräglichtschattierung zum Einsatz, um die hypothetische Illumination einer kontinuierlichen Oberfläche zu bestimmen. Dabei bildet jedes Bildelement mit dem benachbarten rechten und obigen ein Flächenelement, beschrieben durch zwei orthogonale Vektoren. Das Kreuzprodukt dieser beiden orthogonalen Vektoren liefert einen dazu senkrecht stehenden Vektor. Der Kosinus zwischen diesem und dem Lichteinfallvektor (paralleles Licht) bildet die Reflexionsintensität (CZERANKA & EHLERS 1993). Das so entstandene Beleuchtungsmodell ermöglicht insbesondere in der perspektivischen Darstellung einen sehr plastischen Eindruck von der Geländemorphologie.

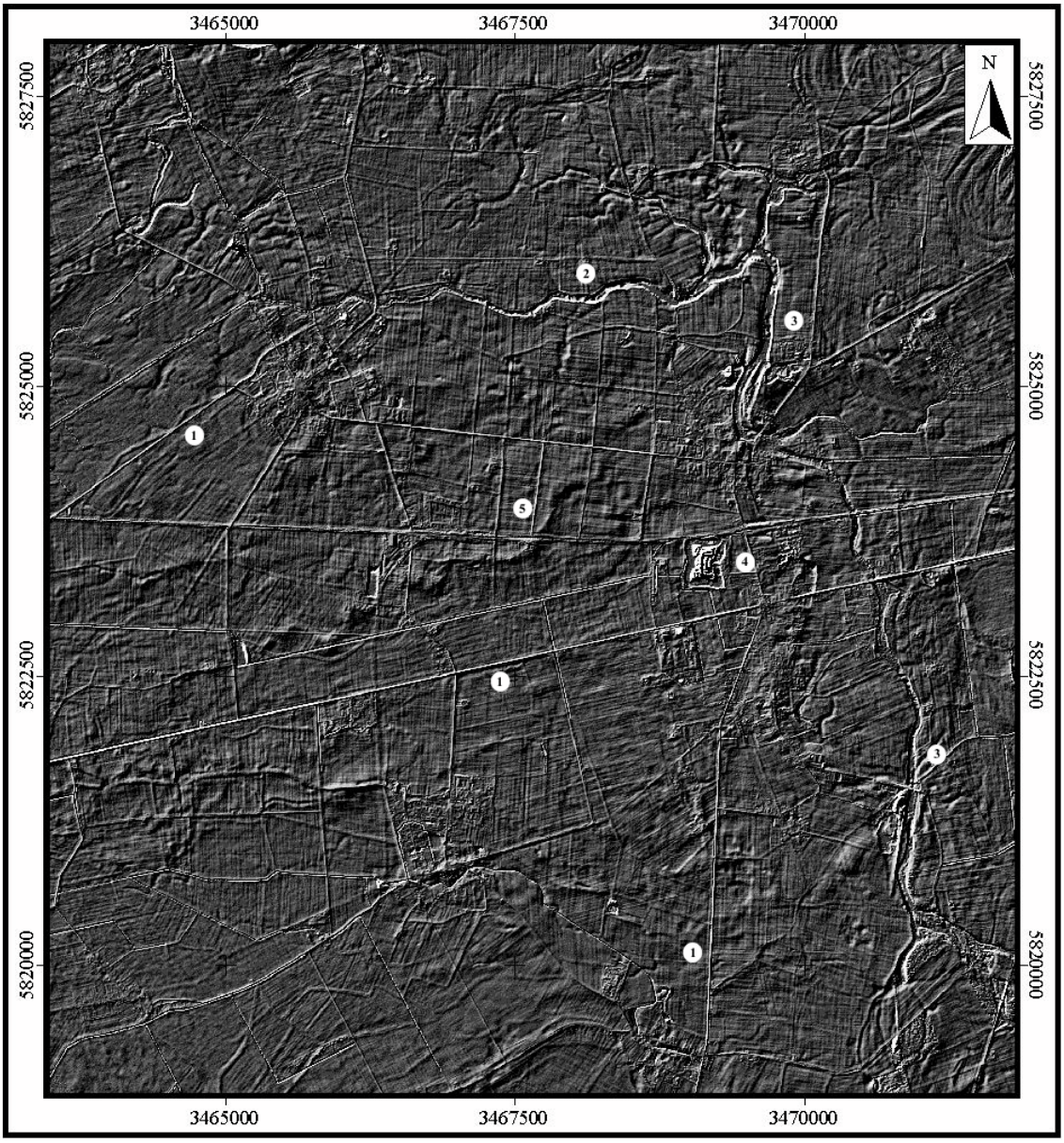

Abb. 6.27: Schummerungskarte aus den Laser-Scann-Daten für das Untersuchungsgebiet (Erläuterung siehe Text).

Die Schummerungskarte bietet den Vorteil einer direkten Interpretationsmöglichkeit gegenüber den konventionellen, analogen Höhenlinienkarten. Durch die direkte Erfassung der dritten Dimension wird eine schnelle Orientierung im Untersuchungsgebiet möglich.

Die Berechnung der Schummerung wurde mit dem Spatial Analyst unter ArcView durchgeführt. Der Lichteinfall aus der Standardrichtung 315° NE lässt das Untersuchungsgebiet sehr plastisch erscheinen (Abb. 6.27). Mithilfe dieser Darstellungsform lassen sich morphologisch prägnante Lineationen lokalisieren (1). Diese Lineationen sind auf die Straßen- bzw. Bahndämme des Wegenetzes im Untersuchungsraum zurückzuführen und unterstreichen so den gleichmäßig flachen Charakter des Untersuchungsgebietes. Der W-E-Verlauf des Golzower Stroms (2) wird ebenso in dieser Darstellungsform deutlich wie seine nach S verlaufende Verlängerung (3). Das Fort Gorgast (4) und die westlich anschließende gewässerähnliche Struktur werden anschaulich wiedergegeben (5). Feinere Strukturen, die auf einen rezenten oder reliktischen Verlauf eines Gewässers hindeuten, lassen sich in dieser Darstellungsform nicht lokalisieren.

Das Laser-Scann DGM wurde hinsichtlich der Reliefgeometrie ausgewertet. Die Reliefgeometrie eines Punktes auf der Geländeoberfläche lässt sich durch die Angabe der geomorphometrischen Parameter Geländeneigung (Abb. 6.28), Exposition (Abb. 6.30), sowie der Oberflächenwölbung (Abb. 6.29) beschreiben (Kap. 5.2.6.4). Die Geländeneigung wird immer in Gefällerichtung berechnet und beeinflusst über die Hangabtriebskraft die Abflussraten von Wasser und Sediment. Anhand der Abb. 6.28 wird deutlich, dass im Untersuchungsgebiet eine geringe Geländeneigung (< 2°) dominiert. Lediglich entlang des Wegenetzes und des Golzower Stroms sowie in den Siedlungsbereichen und im Umfeld des Fort Gorgast sind der Geländeneigungskarte (Abb. 6.28) höhere Werte (> 5°) zu entnehmen. Diese Werte sind nicht auf die eigentliche Geländeoberfläche, sondern eindeutig auf den in diesen Bereichen vorhandenen Baum- bzw. Gebäudebestand zurückzuführen. Bei den Hauptverkehrswegen machen sich zusätzlich die Straßen- bzw. Bahndämme bemerkbar. Dieses Ergebnis zeigt, dass trotz Filterung der Laser-Scann Rohdaten noch Relikte des Baumbestands, der Siedlungsstrukturen und des Wegenetzes in dem DGM vorhanden sind, und dass diese Relikte die Parametrisierung des Reliefs beeinflussen.

Besonders interessant für die gegebene Fragestellung erscheinen Änderungen in der Geländeneigung innerhalb der homogenen Bereiche mit < 2° Neigung. Auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen südlich des Golzower Stroms (1, 2), westlich des Fort Gorgast (3, 4, 7) sowie südwestlich von Manschnow (5, 6) sind Bereiche mit einer Geländeneigung > 2° und < 4° mit einer gewässerähnlichen Struktur zu lokalisieren (Abb. 6.28). Hierbei handelt es sich vermutlich um die entlang von Strömungsrinnen umgelagerten Sande, die in Form von Dünen reliktisch erhalten oder fluviatil umgelagert wurden und bisweilen im Gelände kaum wahrnehmbare Erhöhungen bilden. Sie zeichnen im Allgemeinen den Uferverlauf rezenter oder ehemaliger Flussarme nach (Kap. 2.2.1).

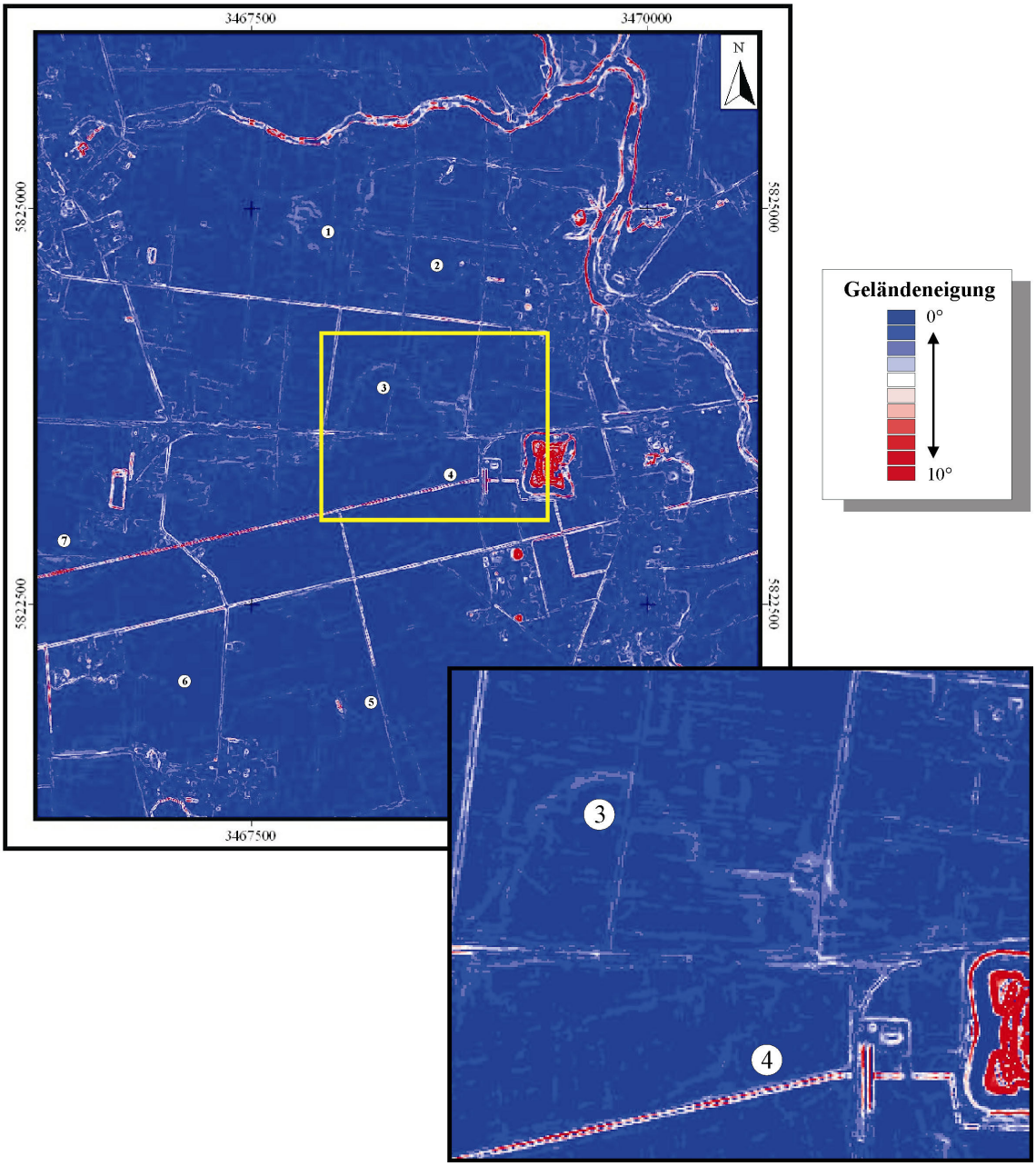

Abb. 6.28: **Abgeleitete Geländeneigung aus dem Laser-Scann DGM für das zentrale Untersuchungsgebiet. Ein AOI westlich des Fort Gorgast (gelb umrahmt) ist vergrößert dargestellt (Erläuterung siehe Text).**

Die Horizontal- und die Vertikalwölbung (Kap. 5.2.6.4) für das Untersuchungsgebiet sind in Abb. 6.29 dargestellt. Die Horizontalwölbung (Abb. 6.29a) ist durch eine gleichmäßige NW-SE verlaufende Streifung gekennzeichnet, die vermutlich auf die Verarbeitung der Laser-Scanning Rohdaten zurückzuführen ist. Die Horizontalwölbung gibt Änderungen im Konturverlauf des Untersuchungsgebietes wieder. Auffällig sind hier besonders die Siedlungsbereiche, das Wegenetz sowie die Bereiche rund um den Golzower Strom. Das homogene Erscheinungsbild der Vertikalwölbung (Abb. 6.29b) unterstreicht die geringe Reliefenergie des Untersuchungsgebietes.

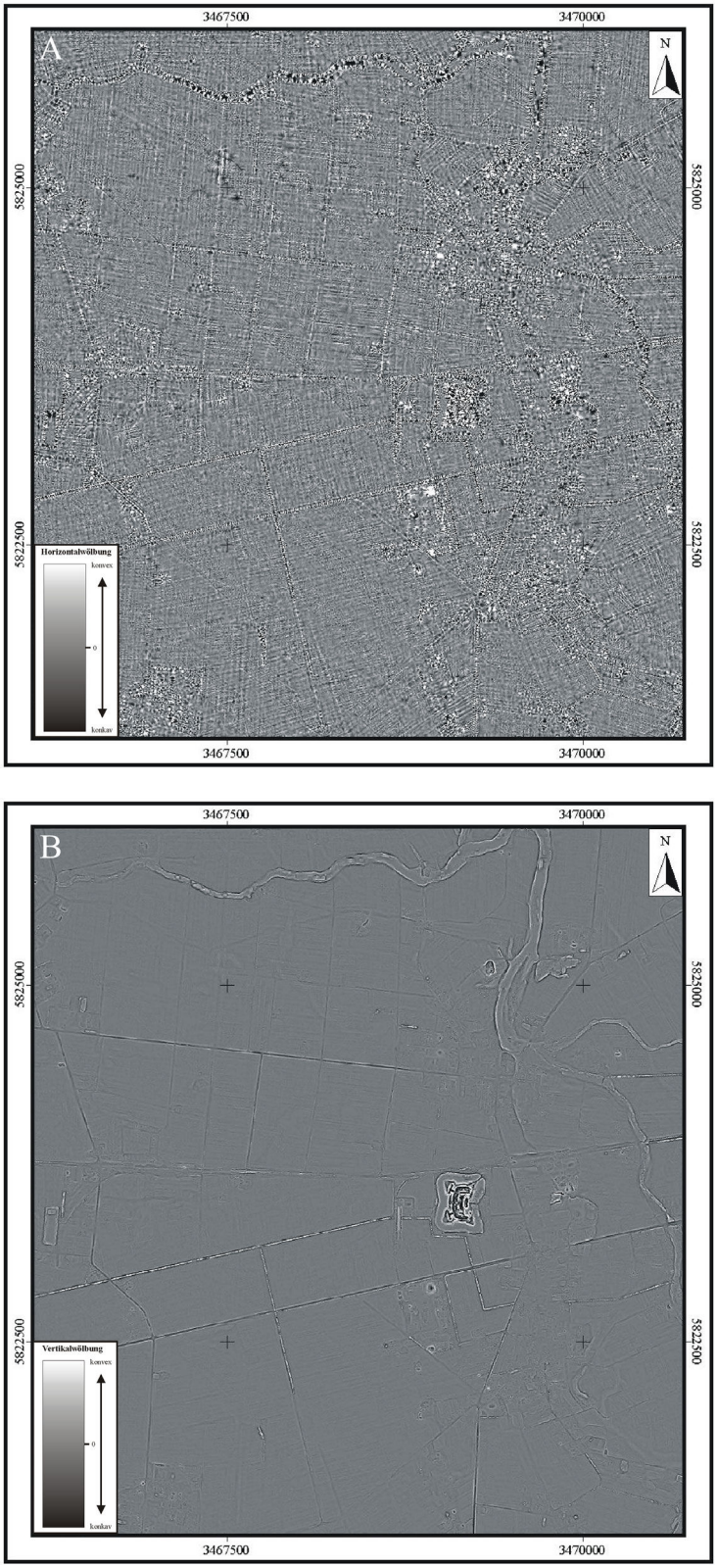

Abb. 6.29: A) Abgeleitete Horizontalwölbung. B) Abgeleitete Vertikalwölbung.

Die Expositionsverhältnisse (Neigungsrichtungen) des Untersuchungsgebietes werden in Abb. 6.30 sehr detailliert wiedergegeben. Sie sind auf Basis des Laser-Scann DGM abgeleitet worden. Die Exposition wird als Winkeldifferenz zwischen der Richtung der Fall-Linie eines Hanges und der geographischen Nordrichtung in einer gedachten Horizontalebene definiert

(Kap. 5.2.6.4). Die entsprechenden Winkelbereiche der acht Expositionsklassen (á 45°) sind der Legende zu entnehmen. Zusätzlich wurde für flache Bereiche ohne Exposition eine Klasse berücksichtigt. Anhand der Expositionsverhältnisse wird deutlich, dass die einzelnen Expositionsklassen nahezu gleichmäßig über das Untersuchungsgebiet verteilt sind.

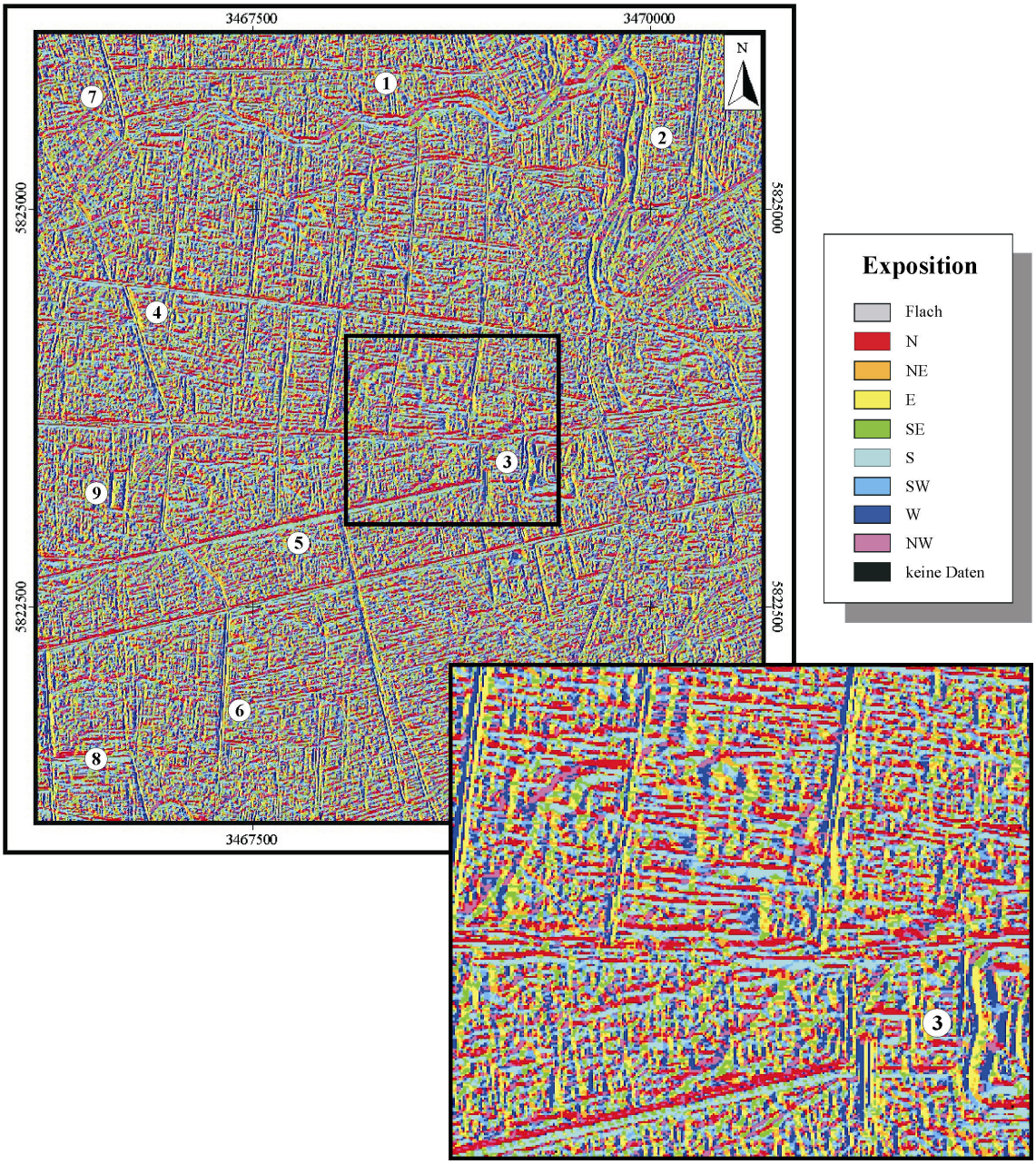

Abb. 6.30: Expositionsverhältnisse, abgeleitet aus dem Laser-Scann DGM für das Untersuchungsgebiet. Ein AOI westlich des Fort Gorgast (schwarz umrahmt) ist vergrößert dargestellt (Erläuterung siehe Text).

Die dominierenden Strukturen im Untersuchungsgebiet, der Golzower Strom (1, 2), Fort Gorgast (3), das Wegenetz (4, 5, 6) sowie Siedlungsstrukturen (7, 8, 9) lassen sich durch ihre charakteristischen Expositionsverhältnisse identifizieren. Die statistische Auswertung der Expositionsverhältnisse (Tab. 6.13) belegt den visuellen Eindruck einer gleichmäßigen

Verteilung der Expositionsklassen im Untersuchungsgebiet. Der prozentuale Anteil der einzelnen Klassen schwankt zwischen 11,27 % und 14,24 %, wobei je Klasse zwischen 10,64 km^2 und 13,44 km^2 abgedeckt werden.

Die Bedeutung der Exposition erklärt sich durch den unterschiedlichen Strahlungsvorteil in Hangbereichen. So bedingen Exposition und Hangneigung einer Geländeoberfläche die von der Sonne empfangbaren Strahlungssummen und nehmen damit Einfluss auf die potentiellen Evaporationsraten. Die gleichmäßigen Expositionsverhältnisse und Geländeneigungen im Untersuchungsgebiet (Tab. 6.13 u. Abb. 6.30) weisen nahezu einheitliche Relief-Verhältnisse für die Radarauswertung aus.

Tab. 6.13: Prozentualer Anteil und abgedeckte Fläche der einzelnen Expositionsverhältnisse für das Untersuchungsgebiet.

Exposition	Prozentualer Anteil (%)	Fläche (m^2)	Fläche (km^2)
N	14,10	13302650	13,30
NE	12,04	11366575	11,37
E	12,38	11686000	11,69
SE	11,27	10635975	10,64
S	14,24	13442300	13,44
SW	12,14	11456550	11,46
W	12,55	11847550	11,85
NW	11,27	10635525	10,64
ges.	100	94373125	94,37

Für das Untersuchungsgebiet wurde aus dem Laser-Scann DGM bzw. aus den daraus abgeleiteten Parametern Hangneigung und Fließakkumulation der Topographic Wetness Index (TWI) berechnet (Kap. 5.2.6.4.1). Das Konzept des TWI bietet eine Methode zur flächenbezogenen Vorhersage der Bodenfeuchteverteilung. Der Index weist im Prinzip die Bereiche eines Einzugsgebietes aus, in denen reliefbedingt zuerst Sättigung erreicht wird und somit Oberflächenabfluss einsetzt, wobei ein höherer topographischer Index mit einem höheren Bodenwassergehalt gleichzusetzen ist. Der TWI stellt somit ein gute Möglichkeit für die Verifikation der Radarergebnisse dar. Abb. 6.31 zeigt den farbkodierten TWI mit überlagerter TK10 für das zentrale Untersuchungsgebiet. Die Bereiche mit einem hohen TWI-Index sind in dunklen Blautönen dargestellt, während potentiell trockenere Bereiche in grün-gelblichen Farbtönen gehalten sind.

Als Bereiche mit niedrigem TWI-Index sind zunächst die nach der Filterung der Laser-Scann Rohdaten noch vorhandenen Relikte aus Baumbestand, Siedlungsstrukturen und Wegenetz zu identifizieren. Besonders interessant sind jedoch niedrige TWI-Index Werte, die sich innerhalb landwirtschaftlich genutzter Flächen befinden und nicht auf die zuvor erwähnten Relikte zurückzuführen sind (1 – 7). Zumeist zeichnen sich diese Bereiche durch einen gewässerstrukturähnlichen Charakter aus und lassen sich über mehrere Schläge hinweg detektieren. Hier handelt es sich um die im Gelände kaum wahrnehmbaren Erhöhungen, die durch die umgelagerten Sande entlang von Strömungsrinnen entstanden sind und die den Uferverlauf rezenter oder ehemaliger Flussarme nachzeichnen.

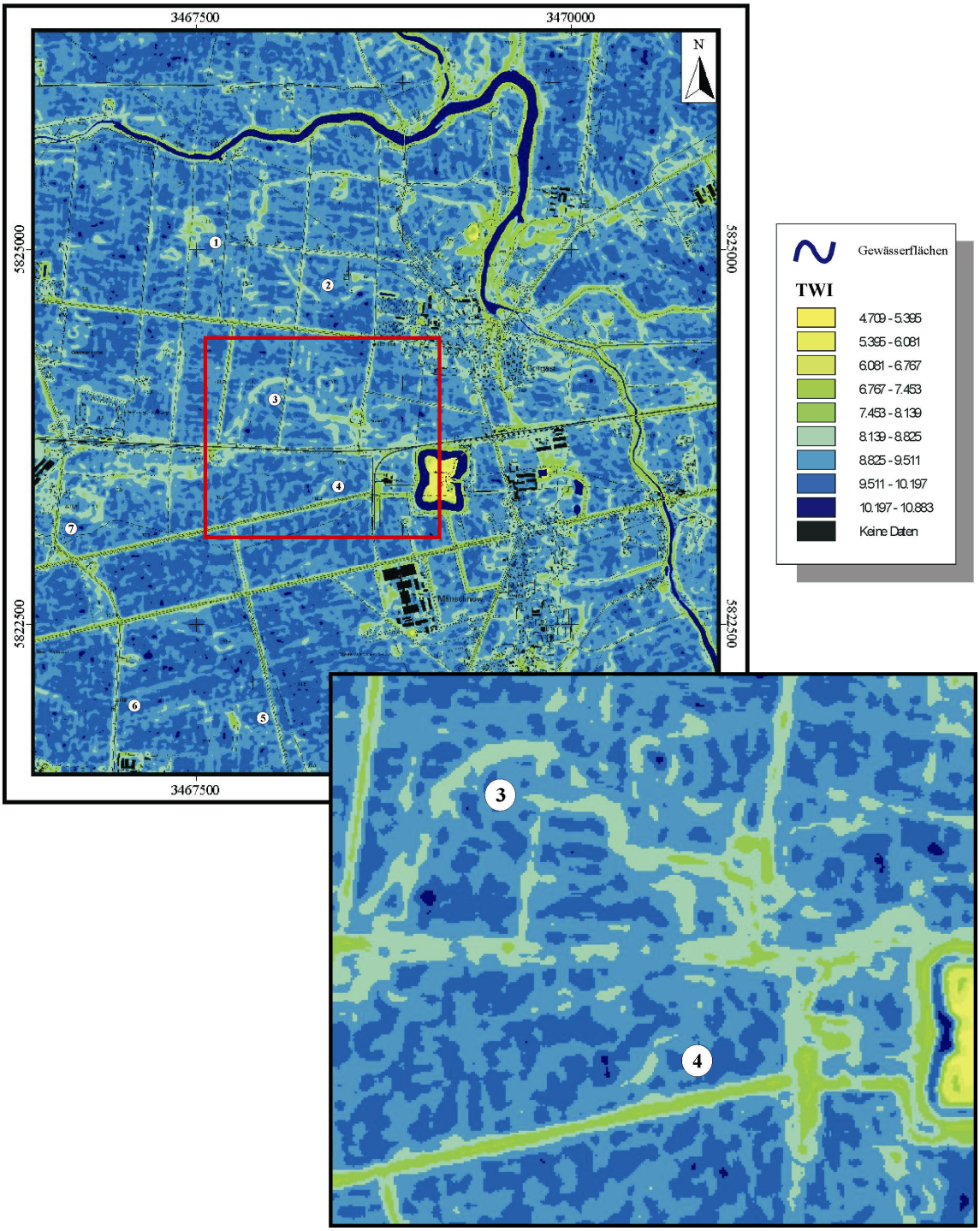

Abb. 6.31: **Farbkodierter Topographic Wetness Index (TWI) abgeleitet aus dem Laser-Scann DGM für das Untersuchungsgebiet mit überlagerter TK10. Ein AOI westlich des Fort Gorgast (rot umrahmt) ist vergrößert dargestellt (Erläuterung siehe Text).**

6.4 E-SAR Farbkompositen

Um dem Farbempfinden des menschlichen Auges Rechnung zu tragen und den Informationsgehalt der SAR-Daten weiter zu steigern, wurde im Rahmen der Bildverarbeitung unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Kap. 5.2.3 die Generierung von Farbkompositen aus

den aufbereiteten E-SAR-Daten durchgeführt.

Verschiedene Farbkompositen, die aus den E-SAR-Daten generiert wurden, weisen für das Untersuchungsgebiet mäander- bzw. gewässerähnliche Strukturen auf, die nicht mit dem Verlauf rezenter Gewässer in Verbindung gebracht werden können. Die lokalisierten Strukturen lassen sich über verschiedene Landnutzungen hinweg erkennen und zeichnen sich durch eine besonders niedrige Rückstreuung des Radarsignals im Vergleich zu den umliegenden Bereichen aus. Diese geringen Rückstreuintensitäten resultieren in einer niedrigen *DN* in den Bilddaten und lassen somit die mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen in den Farbkompositen dunkel erscheinen.

Die Abb. 6.32 zeigt die Gegenüberstellung der in den E-SAR-Daten identifizierten mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen mit den für die Verifikation herangezogenen Daten für ein Area of Interest (AOI) südlich des Golzower Strom. Das Untersuchungsgebiet wird in Abb. 6.32a als Farbkomposite L_{VV}, L_{HH} und L_{VH} aus den E-SAR-Daten für August 2001 abgebildet. Die auf ehemalige Gewässer hinweisenden Strukturen sind gestrichelt dargestellt. In Abb. 6.32b ist das AOI als multitemporale Summation (0401 bis 0802) aus X_{HH}, L_{HH}, L_{HV}, L_{VH}, L_{VV} und P_{HH} abgebildet. Die mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen sind deutlich zu erkennen. Zur Verifikation dieser Strukturen wurden die Punkte 1 bis 5 mit weiteren Daten aus dem Untersuchungsgebiet verglichen. Das panchromatische Luftbild aus 2001 für das AOI ist in Abb. 6.32c dargestellt. Anhand des Luftbildes kann der Verlauf der rezenten Gewässerstrukturen bestimmt und mit den SAR-Daten verglichen werden. Ein Vergleich der Referenzpunkte aus den SAR-Daten mit dem Luftbild macht deutlich, dass die in den SAR-Daten lokalisierten Gewässerstrukturen im Luftbild kaum zu identifizieren sind und sich nicht auf rezente Gewässerstrukturen zurückführen lassen. Lediglich an den Referenzpunkten 2, 3 und 4 ist der Verlauf der mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen im Luftbild zu erahnen. Hier zeigt sich eindrucksvoll der Vorteil von multipolarimetrischen SAR-Daten gegenüber dem klassischen Luftbild. Er ist auf die Fähigkeit langwelliger Radarsignale zurückzuführen, in natürliche Oberflächenmaterialien im beschränkten Maße einzudringen sowie die Oberflächenrauigkeit und den Feuchtigkeitsgehalt des streuenden Mediums widerzuspiegeln. Die historische Situation der Gewässerstrukturen im Untersuchungsraum ist in Abb. 6.32d anhand der Situationskarte der Oder aus dem Jahre 1745 wiedergegeben. Von den verzeichneten Gewässerstrukturen ist lediglich der Golzower Strom noch heute existent. An den Referenzpunkten 1-5 enden die in dem historischen Kartenmaterial verzeichneten Gewässerstrukturen abrupt (Kap. 6.3.3). Ihre Rekonstruktion lässt sich z.T. gut anhand der in den SAR-Daten identifizierten mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen durchführen (Abb. 6.32a & 6.32b). Der Abgleich der aus den SAR-Daten identifizierten mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen mit dem aus den ASTER-Daten abgeleiteten NDVI für das AOI (Abb. 6.32e) weist z.T. einen eindeutigen Zusammenhang zwischen einem niedrigen NDVI-Index (Punkte 1 – 7) und den in den SAR-Daten lokalisierten Strukturen auf. Dieser Zusammenhang wird auch durch die Ergebnisse der Geländebefunde gestützt (Abb. 6.20). Der Vergleich der SAR-Daten-Auswertung mit dem aus dem DGM abgeleiteten TWI (Abb. 6.32f) deutet auf einen Zusammenhang zwischen niedrigen TWI-Index-Werten (Punkte 1 – 7) und den lokalisierten Strukturen hin. 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.

Die Ergebnisse aus dem Vergleich der SAR-Daten mit dem NDVI sowie dem TWI zeigt eindrucksvoll einen Zusammenhang zwischen trockeneren Bereichen und den aus den SAR-Daten identifizierten mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen. Dies lässt auf ehemalige Uferwälle als Ursache für diese Strukturen schließen.

In Abb. 6.33 werden die in den E-SAR-Daten lokalisierten mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen mit den für die Verifikation herangezogenen Daten für ein AOI westlich von Manschnow verglichen. Das Untersuchungsgebiet wird in Abb. 6.33a als Farbkomposite L_{VV}, L_{HV} und L_{HK1} aus den E-SAR-Daten für August 2001 dargestellt. Aufgrund der geringen Rückstreuintensitäten der Uferwallablagerungen treten diese deutlich als dunkle, gewässerähnliche Strukturen in der Farbkomposite hervor. Das AOI westlich von Manschnow wird von mehreren dieser Strukturen durchzogen, wie die E-SAR Farbkomposite aus X_{HH}, L_{VV} und L_{HK1} aufzeigt (Abb. 6.33b). Diese Strukturen sind zumeist auf einen Substratwechsel im Untergrund zurückzuführen. Das URMTB von 1844 weist im Vergleich zu der Situationskarte der Oder von 1745 eine deutliche Verarmung der Gewässerstrukturen aus (Abb. 6.33c). Der Vergleich mit den mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen aus den E-SAR-Daten zeigt sowohl Übereinstimmungen (1), wie auch auf Gewässer hindeutende Strukturen, die im URMTB nicht mehr verzeichnet sind (2). Des Weiteren sind Bereiche zu lokalisieren, in denen sich der weitere Verlauf der Gewässerstrukturen aus dem URMTB anhand der SAR-Daten rekonstruieren lässt (3, 4).

Da die Gewässerstrukturen aus dem historischen Kartenmaterial zu einem hohen Anteil rezent nicht mehr existieren, ein Zusammenhang zu den mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen aus den E-SAR-Daten jedoch eindeutig besteht, kommt den Informationen aus den E-SAR-Daten eine besondere Bedeutung bei der Rekonstruktion der Verlagerung von Wasserflächen und ihrer Nebengewässeranbindungen zu.

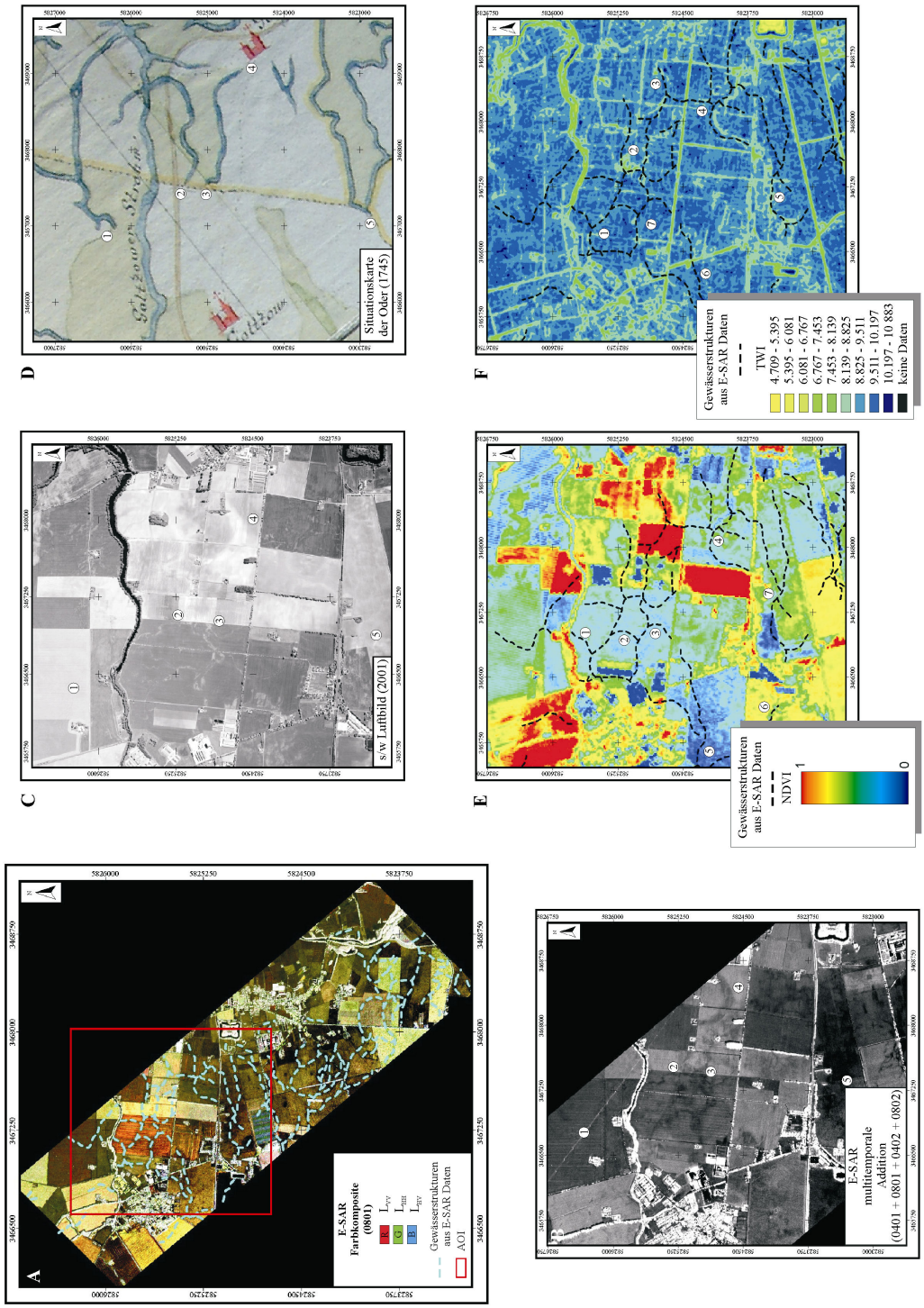

Abb. 6.32: **Gegenüberstellung der in den E-SAR-Daten identifizierten mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen mit den für die Verifikation herangezogenen Daten für ein Area of Interest (AOI) südlich des Golzower Strom. A) E-SAR Farbkomposite (L_{VV}, L_{HH}, L_{HV} – August 2001) mit eingezeichneten aus den SAR-Daten identifizierten mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen (hellblau gestrichelt). B) Multitemporale Addition der SAR-Daten für ein AOI südlich des Golzower Strom. C) Panchromatisches Luftbild des AOI aus 2001. D) Situationskarte der Oder aus dem Jahre 1745 für das AOI. E) NDVI für das AOI mit eingezeichneten Gewässerstrukturen aus den E-SAR-Daten (schwarz gestrichelt). F) TWI für das AOI mit eingezeichneten Gewässerstrukturen aus den E-SAR-Daten (schwarz gestrichelt). Erläuterung siehe Text.**

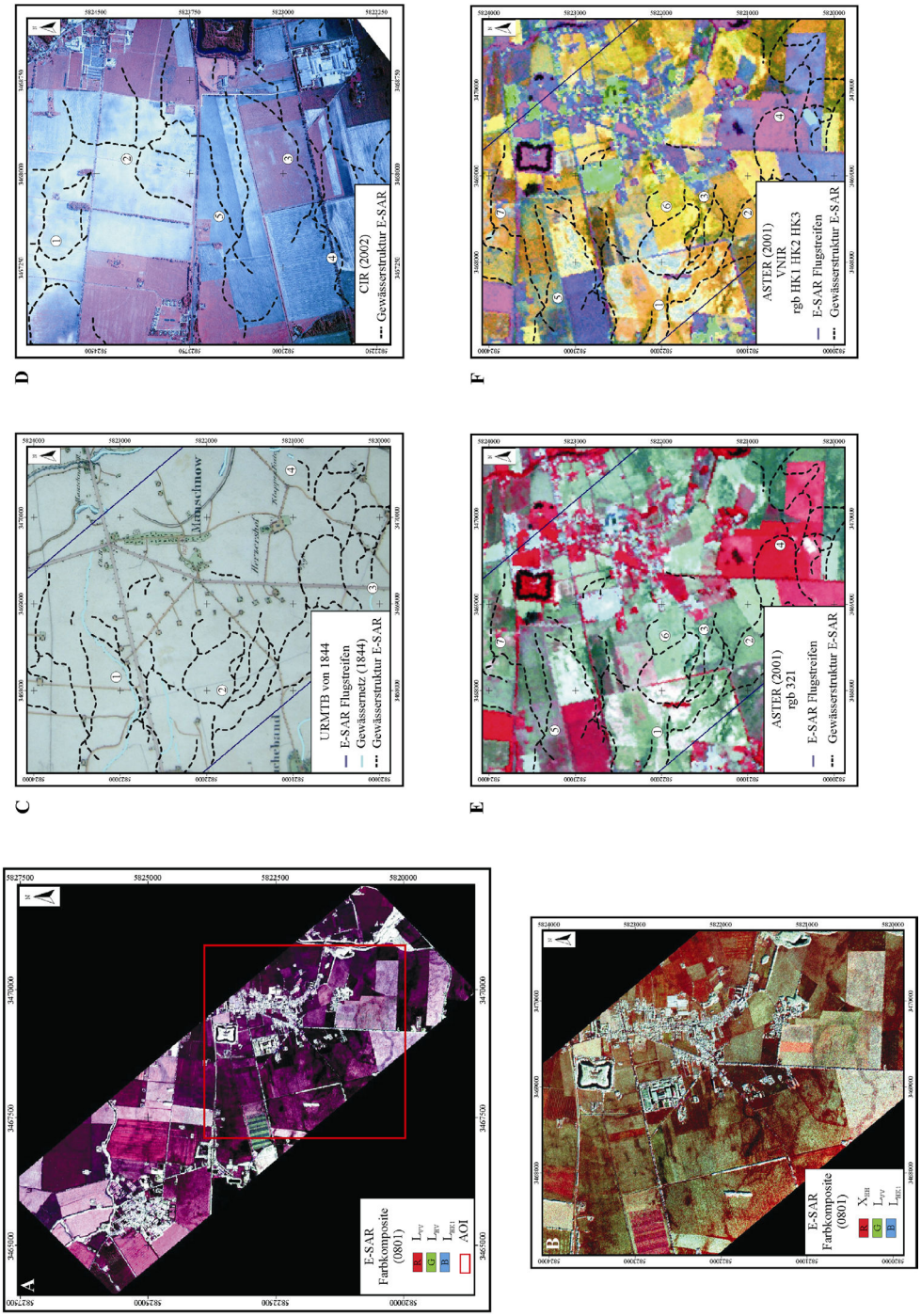

Abb. 6.33: **Vergleich der in den E-SAR-Daten lokalisierten mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen mit den für die Verifikation herangezogenen Daten für ein AOI westlich von Manschnow. A) E-SAR Farbkomposite (L_{VV}, L_{HV}, L_{HK1} – August 2001). B) E-SAR Farbkomposite (X_{HH}, L_{VV}, L_{HK1}) für ein AOI westlich von Manschnow. C) URMTB von 1844 für das AOI mit eingezeichneten Gewässerstrukturen aus den E-SAR-Daten (schwarz gestrichelt). D) CIR-Luftbild aus dem Jahre 2002 für das AOI mit eingezeichneten Gewässerstrukturen aus den E-SAR-Daten (schwarz gestrichelt). E) ASTER Falschfarbenkomposite (321) für das AOI mit eingezeichneten Gewässerstrukturen aus den E-SAR-Daten (schwarz gestrichelt). F) ASTER Falschfarbenkomposite aus den synthetisch erzeugten HKs der VNIR-Daten für das AOI mit eingezeichneten Gewässerstrukturen aus den E-SAR-Daten (schwarz gestrichelt). Erläuterung siehe Text.**

Der Abgleich der E-SAR Informationen mit einem CIR-Luftbild vom Tag der Befliegungskampagne im August 2002 (Abb. 6.33d) zeigt eindeutig, dass die Gewässerstrukturen aus den SAR-Daten nur zum Teil im CIR-Luftbild zu identifizieren sind (1, 2). Der überwiegende Teil der E-SAR Informationen bezüglich der Gewässerstrukturen wird vom CIR-Luftbild nicht wiedergegeben (3, 4, 5). Auch hier zeigt sich eindrucksvoll der Vorteil von multipolarimetrischen SAR-Sensoren gegenüber passiven FE-Systemen bei der Lokalisierung von fluviatilen Ablagerungen in Auengebieten. Ein ähnliches Ergebnis lässt sich durch einen Vergleich der mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen aus den E-SAR-Daten mit den multispektralen ASTER-Daten gewinnen. Ein Vergleich der ASTER Falschfarbenkomposite 321 (Kap. 5.2.4) mit den in den E-SAR-Daten lokalisierten Gewässerstrukturen (schwarz gestrichelt) ist in Abb. 6.33e dargestellt. Es wird deutlich, dass nur größere Strukturen in der Falschfarbenkomposite zu identifizieren sind (1, 2, 3, 6) während geringmächtige Strukturen in den ASTER Daten nicht mehr wahrnehmbar sind (4, 5, 7). Die Falschfarbenkomposite aus den synthetisch erzeugten HKs der VNIR-Daten verbessert ein wenig dieses Ergebnis (Abb. 6.33f). Neben den größeren Strukturen (1, 2, 3, 6) sind ansatzweise auch gewässerähnliche Fragmente in 4, 5 und 7 zu erkennen. Ein großer Teil der mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen aus den E-SAR-Daten bleibt jedoch auch den ASTER-Daten verborgen. Dies liegt zum einen an der schlechteren geometrischen Auflösung der ASTER-Daten und zum anderen an dem passiven Charakter des Sensors und der damit verbundenen fehlenden Möglichkeit, in natürliche Oberflächenmaterialien im beschränkten Maße einzudringen.

Für ein Testgebiet südwestlich von Manschnow wurden die Rückstreuintensitäten der E-SAR-Daten mit den Bohrprofilen des LGRB sowie mit dem Laser-Scann DGM korreliert (Abb. 6.34) um die Charakteristika der mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen aus den E-SAR-Daten zu bestimmen. Der Verlauf der Bohrtrasse ist in Abb. 6.34a auf der E-SAR Farbkomposite aus der vertikalen L-Band Polarisation, der 1.HK aus den L-Band Polarisationen sowie der Summation aus X_{HH}, L_{HH}, L_{HV}, L_{VH}, L_{VV} und P_{HH} im blauen Kanal verzeichnet. Diese Farbkomposite ermöglicht die Lokalisierung der mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen im AOI. Die Lage der einzelnen Bohrpunkte ist in Abb. 6.34b auf der Summation aller Bänder und Polarisationen der E-SAR-Daten aus August 2001 dargestellt. Die Bohrtrasse schneidet eine in den E-SAR-Daten deutlich zu lokalisierende mäander- bzw. gewässerähnliche Struktur und stellt somit eine ideale Verifikationsmöglichkeit für die Radardaten dar. Die Bohrprofile (Abb. 6.34c) weisen für den zentralen Bereich der Bohrtrasse, die der mäander- bzw. gewässerähnlichen Struktur der E-SAR-Daten entspricht, mächtige Wechsellagerungen von Fein- und Mittelsanden mit Einschaltungen von Kiesen und Grobsanden aus. In diesem Bereich sind die Rückstreuintensitäten besonders gering. Zu den jeweiligen Enden der Bohrtrasse nimmt die Mächtigkeit der Sande und Kiese ab und es treten vermehrt oberflächennahe Schluff- und Tonablagerungen auf. Diese Bereiche zeichnen sich durch hohe Rückstreuintensitäten in den SAR-Daten aus. Die Bohrprofile geben einen typischen Querschnitt der den Auenkörper dominierenden Sedimente wieder. Die Auswertung der Bohrprofile für den Bereich der mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen der E-SAR-Daten zeigt, dass diese die typische Struktur von Sandwällen aufweisen, die sich aus fein- bis grobkörnigen Sanden mit geringem

Fein- bis Mittelkiesanteil aus der Sedimentfracht ehemaliger Oderarme aufbauen. Das DGM gibt für den Bereich der gewässerähnlichen Struktur der E-SAR-Daten eine leichte Erhöhung im Vergleich zu den Bereichen mit den Schluff- und Tonablagerungen aus (Abb. 6.34d). Dies unterstreicht die allgemeine Feststellung, dass die Uferwälle, die den Uferverlauf rezenter oder ehemaliger Flussarme nachzeichnen, im Gelände kaum wahrnehmbare Erhöhungen bilden (Kap. 2.2.1). Betrachtet man die Rückstreueigenschaften der E-SAR-Daten für den Verlauf der Bohrtrasse genauer (Abb. 6.34e – g), so lässt sich feststellen, dass die Rückstreuintensitäten der einzelnen Bänder und ihrer Polarisationen in dem Bereich der mächtigen Wechsellagerungen von Fein- und Mittelsanden mit Einschaltungen von Kiesen und Grobsanden deutlich zurück gehen. Die bodenkundlichen Untersuchungen vor Ort haben für diese von mächtigen Sanden dominierten Bereiche eine geringere Bodenfeuchte im Vergleich zu Bereichen mit Schluff- und Tonablagerungen im Untergrund ergeben (Kap. 6.2.4). Hier liegt die Ursache für die Dämpfung des Radarsignals. Aufgrund des geringeren Feuchtegehaltes der mächtigen Sandablagerungen und der damit verbundenen niedrigen Dielektrizitätskonstante können die Radarsignale tiefer in den Untergrund eindringen. Es kommt zur verstärkten Volumenstreuung und damit zur Dämpfung des Radarsignals. Dadurch erscheinen diese Ablagerungen als dunkle mäander- bzw. gewässerähnliche Struktur in den E-SAR-Daten. Der hohe Feuchtegehalt im Bereich der Schluff- und Tonablagerungen geht einher mit einer hohen Dielektrizitätskonstante. Diese verhindert ein tieferes Eindringen der Radarsignale in den Untergrund und führt zur verstärkten Oberflächenstreuung und damit zu einer hohen Rückstreuintensität. Im Anhang C sind weitere Korrelationen zwischen E-SAR Rückstreuintensitäten, DGM und Bohrprofilen, die das oben erwähnte Ergebnis stützen, dargestellt.

Die Ergebnisse aus dem Vergleich der Bohrprofile mit den Rückstreuintensitäten der E-SAR-Daten wurde anhand weiterer, in den E-SAR-Daten lokalisierter mäander- bzw. gewässerähnlichen Strukturen überprüft. Hierzu wurden die Rückstreuintensitäten der vertikalen Polarisation des L-Bands, da dieses dem geringsten Vegetationseinfluss unterliegt (Kap. 6.1), für alle Befliegungskampagnen herangezogen. Der multitemporale Vergleich der Rückstreuintensitäten für die Gewässerstrukturen ist in den Abb. 6.35 dargestellt. Es zeigt sich, dass zu jeder Befliegungskampagne die Rückstreuintensitäten im Bereich der mäander- bzw. gewässerähnlichen Struktur abnehmen. Besonders deutlich wird dieses Rückstreuverhalten bei der Betrachtung der polynomischen Ausgleichsgeraden für das jeweilige Rückstreuintensitätenprofil. Das es sich hierbei nicht nur um ein lokal begrenztes Phänomen handelt, belegen die im Anhang D zusammengestellten Korrelationen der Rückstreuintensitätenprofile mit den entsprechenden Zusatzdaten, da diese über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt liegen.

Dieses charakteristische Rückstreuverhalten deutet auf mächtige Wechsellagerungen von Fein- und Mittelsanden mit Einschaltungen von Kiesen und Grobsanden im Untergrund hin, wie sie durch die Bohrungen des LGRB belegt wurden (Abb. 6.34). Dass es sich hierbei um Uferwälle handelt, die den Uferverlauf rezenter oder ehemaliger Flussarme nachzeichnen, unterstreicht die aus dem Laser-Scann DGM abgeleitete Geländeoberfläche für die Rückstreuintensitätenprofile. Die Bereiche, in denen das Radarsignal gedämpft wird, zeichnen sich durchweg als geringe, im Gelände kaum wahrnehmbare Erhöhungen aus.

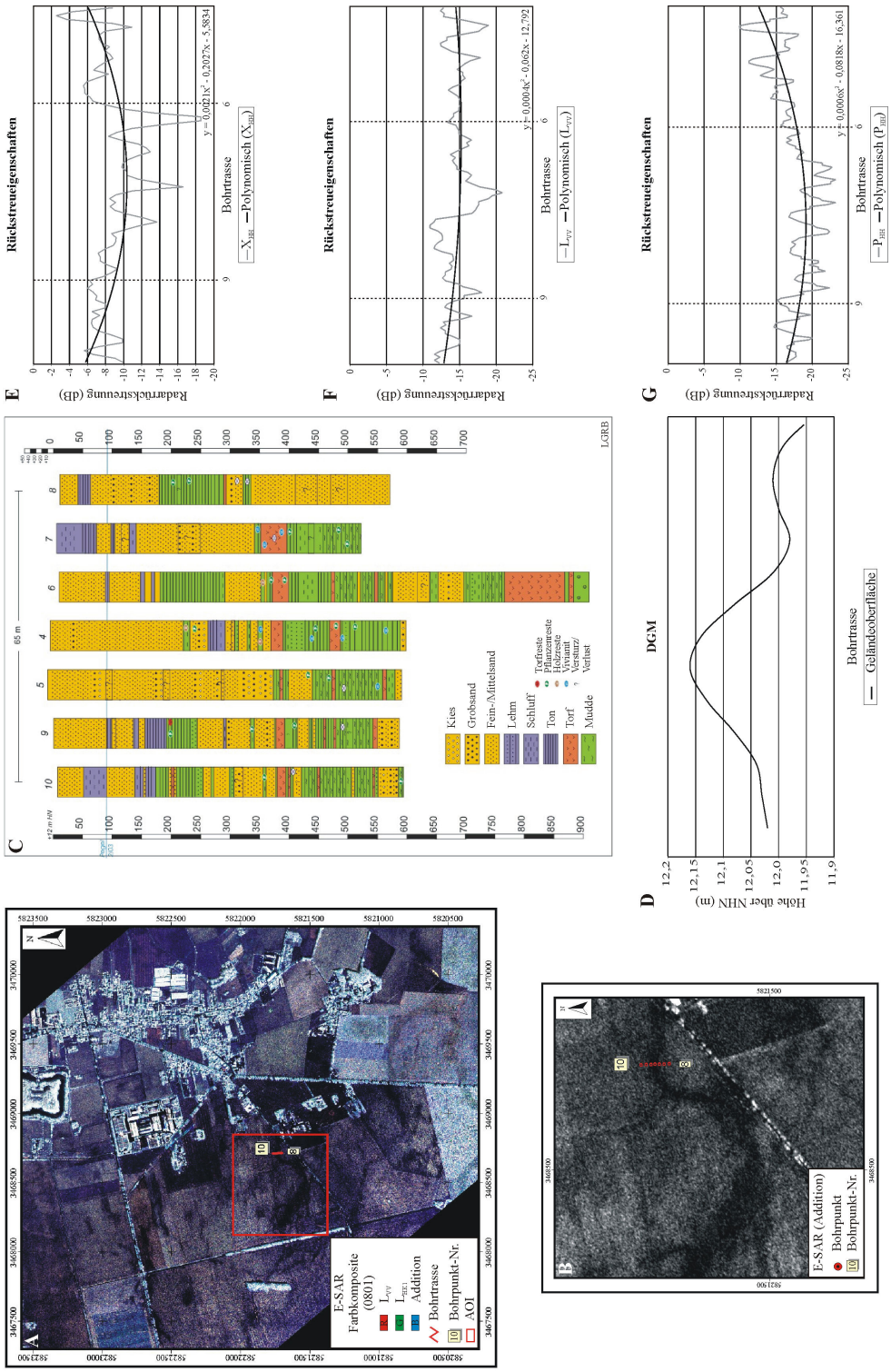

Abb. 6.34: **Korrelation der E-SAR Rückstreuintensitäten mit Bohrprofilen und DGM. A) E-SAR Farbkomposite (L_{VV}, L_{HK1}, Addition – August 2001) mit eingezeichneter Bohrtrasse. B) E-SAR Addition (X_{HH}, L_{HH}, L_{HV}, L_{VH}, L_{VV}, P_{HH}) für ein AOI SW von Manschnow mit Angabe der Bohrpunkte. C) Bohrprofile aus dem AOI. D) Aus dem DGM abgeleitete Geländeoberfläche für die Bohrtrasse. E) X_{HH} Rückstreuintensität für die Bohrtrasse. F) L_{VV} Rückstreuintensität für die Bohrtrasse. G) P_{HH} Rückstreuintensität für die Bohrtrasse. Erläuterung siehe Text.**

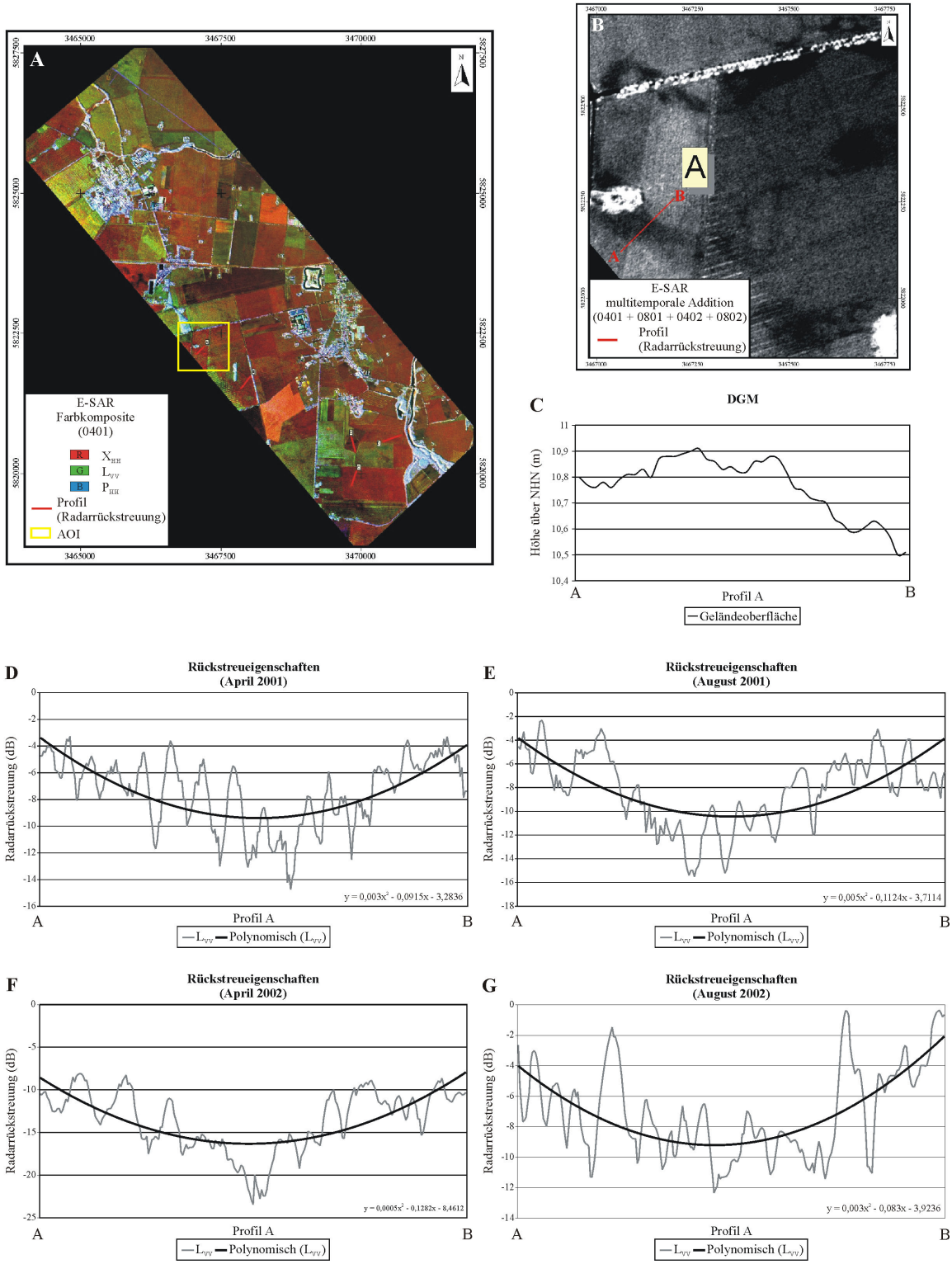

Abb. 6.35: **Multitemporale Korrelation der Rückstreuintensitäten. A) E-SAR Farbkomposite (X_{HH}, L_{VV}, P_{HH}) aus April 2001. B) Multitemporale Addition der E-SAR Bänder und ihrer Polarisationen mit dem eingetragenen Verlauf des Rückstreuintensitätenprofil. C) Aus dem DGM abgeleitete Geländeoberfläche für das Rückstreuintensitätenprofil. D) L_{VV} Rückstreuintensität für April 2001. E) L_{VV} Rückstreuintensität für August 2001. F) L_{VV} Rückstreuintensität für April 2002. G) L_{VV} Rückstreuintensität für August 2002. Erläuterung siehe Text.**

Vor der Eindeichung der Oder durch den Menschen war der ursprüngliche Oderstrom besonders im Flachland in viele, teilweise nur einige Meter breite Teilströme aufgefächert, deren Verläufe zeitlich immer wieder wechselten. Diese Vorgänge haben zu einem stark heterogenen Untergrundaufbau von Fluss und Auenfläche geführt, der im Zusammenhang mit Standortbetrachtungen (z.B. Precision Farming) von Bedeutung ist. Wie die historischen Kartenwerke belegen, wurden im Verlauf der anthropogenen Veränderungen der Auenlandschaft durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung viele Wasserflächen und ihre Nebengewässeranbindungen trockengelegt und gerieten im Laufe der Zeit in Vergessenheit (Kap. 6.3.3).

Die „Jahrhunderthochwasser“ an der Oder (1997) und der Elbe (2002) haben die Diskussion um die Notwendigkeit der Schaffung weiterer Retentionsflächen für Flüsse nachhaltig und eindrucksvoll unterstrichen. Der entwicklungsbedingte heterogene Untergrundaufbau von Auenlandschaften stellt fast ausnahmslos die Gründungsverhältnisse für Bauwerke entlang von Flüssen (z.B. Deiche) dar. Aufgrund der hydraulischen Wirksamkeit der alten Flussläufe ist das Wissen um ihre Lage für die Planung der Verlegung von Hochwasserschutzdeichen besonders wichtig, da die Fließbewegungen auf den vorgezeichneten Bahnen alter Flussläufe weiter funktioniert (Abb. 1.1). Hinsichtlich der hydraulischen Randbedingungen ist der Baugrund in undurchlässigen, gemischt-durchlässigen und durchlässigen Boden zu unterscheiden. Die Strömungsvorgänge im (wasser-)gesättigten Untergrundbereich sind im Hinblick auf Ausbreitungsvorgänge oder hydraulische Stabilitätsbetrachtungen für die Planung von zukünftigen Retentionsflächen und die damit verbundene Verlegung von Deichen von hoher Relevanz.

Die Analyse der E-SAR-Daten belegt eine Vielzahl von Spuren alter Flussläufe im Untersuchungsgebiet, die sich nicht ausschließlich anhand von historischem Kartenmaterial und den in dieser Arbeit verwendeten passiven Fernerkundungssystemen lokalisieren lassen. Die Bohrprofile weisen für die in den Radardaten lokalisierten Gewässerstrukturen z.T. erhebliche Mächtigkeiten aus (Abb. 6.34 u. Anhang C). Die Abb. 6.36 zeigt die in den E-SAR-Daten identifizierten Gewässerstrukturen im Vergleich zu den historischen Informationen. Die Basis für diese Abbildung stellt ein panchromatisches Luftbildmosaik aus dem Jahre 1997 dar. Es wird deutlich, dass das Luftbildmosaik nur ansatzweise die Spuren der alten Flussläufe wieder gibt. Auch das historische Kartenmaterial gibt nur einen eingeschränkten Aufschluss über die teilweise nur einige Meter breiten Teilströme der Oder wieder. Den größten Informationsgehalt liefern die aufbereiteten Radardaten. Es zeigt sich, dass das Untersuchungsgebiet stark von Teilströmen der Oder durchzogen wurde. In Abb. 6.37 ist zusätzlich für den durch das E-SAR abgedeckten Bereich die Reichsbodenschätzung von 1900 aufgeführt. Auch hier wird deutlich, dass die Spuren alter Flussläufe auf Grundlage dieser Karte nicht lokalisiert werden können und somit der Einsatz von multifrequenten und multipolarimetrischen Radardaten einen erheblichen Informationsgewinn für die Planung von zukünftigen Retentionsflächen darstellt.

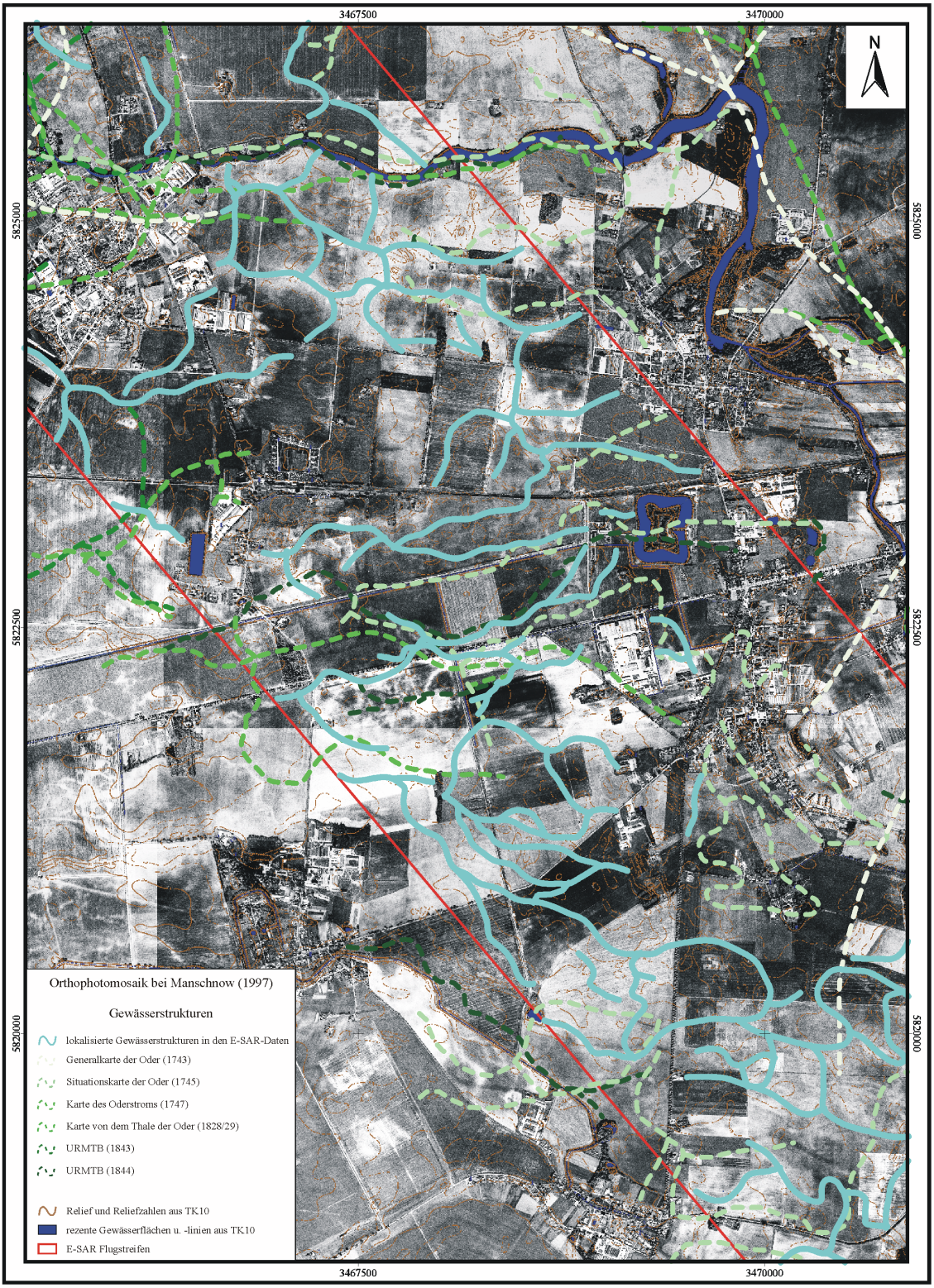

Abb. 6.36: **Panchromatisches Luftbildmosaik (von 1997) überlagert mit den in den E-SAR-Daten lokalisierten Gewässerstrukturen sowie den aus den historischen Kartenwerken entnommenen alten Flussläufen.**

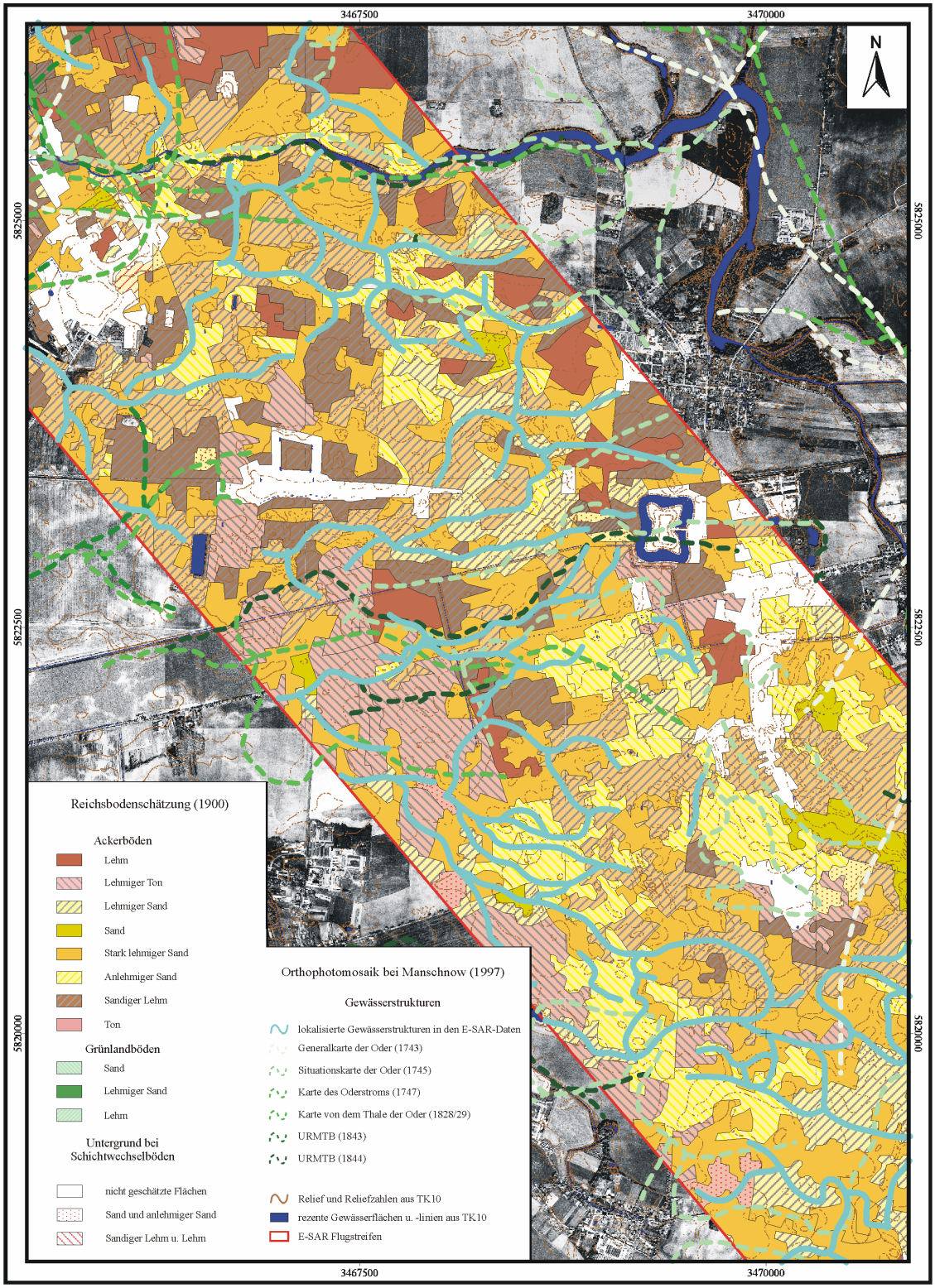

Abb. 6.37: **Panchromatisches Luftbildmosaik (von 1997) und Reichsbodenschätzung (von 1900) überlagert mit den in den E-SAR-Daten lokalisierten Gewässerstrukturen sowie den aus den historischen Kartenwerken entnommenen alten Flussläufen.**

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.