6 Ergebnisse

In den vorangegangenen Kapiteln wurden mithilfe von Bildverarbeitungs- und GIS-Methoden Geodaten aus unterschiedlichen Quellen mit dem Ziel verarbeitet, die Einsatzmöglichkeit von multifrequenten und multipolariemetrischen Radardaten zur Lokalisierung von Gewässerstrukturen in Auenlandschaften zu untersuchen.

Durch die in der Entwicklungsgeschichte ständig wechselnden mäandrierenden Flussläufe kamen im Untersuchungsgebiet typische Substrate wie Sande/Kiese (ehemalige Uferwälle und Erosionsrümpfe glazifluviatiler Terrassen), Torfe/Mudden (vermoorte Seen und Altarme) sowie Auelehme (Ablagerungen aus Hochflutphasen) zur Ablagerung.

Mithilfe der Radarfernerkundung und ergänzender multispektraler und optischer Sensorsysteme sowie historischen 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 heute überdeckten Flussläufen mit ihren räumlichen Substratwechseln ist das Wissen um ihre Lage besonders wichtig, da die Fließbewegungen auf den vorgezeichneten Bahnen alter Flussläufe weiter funktioniert.

Die Verarbeitung der E-SAR Rohdaten konnte nur mit einem extrem hohen numerischen Rechenaufwand betrieben werden und zielte primär auf eine Visualisierung des geologisch relevanten Informationsgehaltes durch spektrale Bildverbesserungsschritte, der Verwendung von Filtertechniken sowie der Dekomposition der Rückstreuintensitäten.

Demgegenüber benötigte die Verarbeitung der Rohdaten vom Typ ASTER, Landsat-5-TM, Laser-Scann sowie der Luftbilder für die Erzeugung räumlicher Bilddaten einen geringeren Arbeitsaufwand. Sie dienten der Verifikation der in den E-SAR-Daten lokalisierten Gewässerstrukturen und der Bestimmung verschiedener Oberflächenkategorien.

Mit der zusätzlichen Integration der Geländebefunde, der Witterungsdaten, der Grundwasser- und Oderpegelstände sowie der Reichsbodenschätzung und des historischen Kartenmaterials in einem GIS steht dem Bearbeiter damit ein für den Oderbruch spezifischer Datenbestand für die Interpretation zur Verfügung.

6.1 Rückstreueigenschaften verschiedener Oberflächenkategorien

Um die Rückstreuintensitäten der E-SAR-Daten und die in ihnen enthaltenen Informationen interpretieren zu können, wurden zunächst für die vier Befliegungskampagnen die Rückstreueigenschaften verschiedenartiger Oberflächenkategorien in den zur Verfügung stehenden Frequenzen und Polarisationen ausgewertet. Dazu musste der Rückstreukoeffizient (σ^0), wie in Kap. 5.2.3.10 beschrieben, aus den E-SAR Rohdaten extrahiert und in Dezibel (dB) umgerechnet werden (Abb. 5.13). Anhand der Feldarbeiten und der CIR-Luftbilder konnten die dominierenden Oberflächenkategorien Brache, Wiese, Feldfrüchte, Wald, Siedlung, Wasser und

gemähte Wiese sowie die zugehörigen Referenzflächen festgelegt werden. Je sechs Testgebiete für jede Oberflächenkategorie dienten der Bestimmung der Rückstreuintensitäten für die vier Befliegungskampagnen. Lediglich die Kategorie gemähte Wiese konnte nur für die August-Kampagnen bestimmt werden. Die Abb. 6.1 zeigt beispielhaft die Verteilung der Referenzflächen für die einzelnen Oberflächenkategorien.

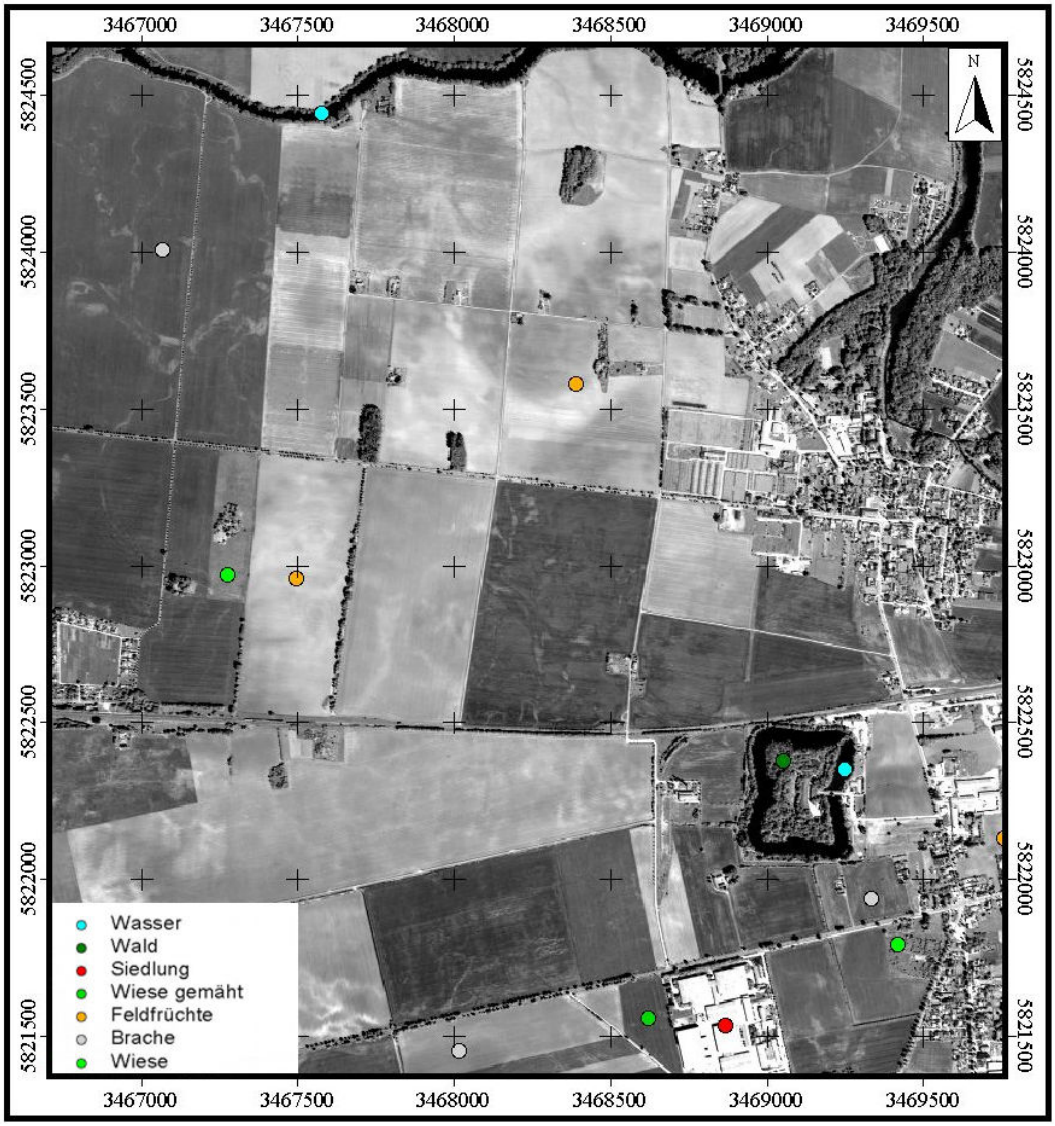

Abb. 6.1: Verteilung der Referenzflächen für die verschiedenen Oberflächenkategorien nordwestlich des Fort Gorgast für die Befliegungskampagne August 2001 mit unterlagertem panchromatischen Luftbild (2001).

Um repräsentative Rückstreuwerte für die jeweiligen Oberflächenkategorien zu erhalten, wurden insgesamt 3.560.949 Pixel für 2001 und 2.591.415 Pixel für 2002 ausgewertet, da die von einem Radar-System aufgelöste Fläche aus mehreren elementaren Streuern besteht, die als stochastisch im Raum verteilt betrachtet werden und zum rückgestreuten Summensignal beitragen (Kap. 3.1.3 u. Abb. 3.9). So konnte verhindert werden, dass elementare Streuer, die nicht zu der jeweiligen Oberflächenkategorie zählen, die Ergebnisse dominieren.

Die Tab. 6.1 weist die Anzahl der ausgewerteten Pixel je Oberflächenkategorie sowie die Gesamtpixelzahl für jede Befliegungskampagne in 2001 und 2002 aus. In Anhang B sind die Rückstreuintensitäten für jedes Pixel im Einzelnen aufgeführt.

Tab. 6.1: Anzahl der ausgewerteten Pixel je Oberflächenkategorie für 2001 und 2002.

Oberflächenkategorie	Pixel April 2001	Pixel August 2001	Pixel April 2002	Pixel August 2002
Feldfrüchte	523971	426303	427878	206865
Brache	425997	476118	355626	250065
Wiese	366210	170388	410346	125262
Wasser	135828	94680	123687	70056
Wald	235314	174096	197667	110376
Siedlung	194013	124362	130779	114813
Wiese gemäht		213669		67995
Σ Pixel	**1.881.333**	**1.679.616**	**1.645.983**	**945.432**

In den Abbildungen 6.2 bis 6.3 und 6.5 bis 6.6 sind die Mittelwerte der spektralen Signaturen der untersuchten Oberflächenkategorien in den vom E-SAR aufgezeichneten Bändern und Polarisationen dargestellt.

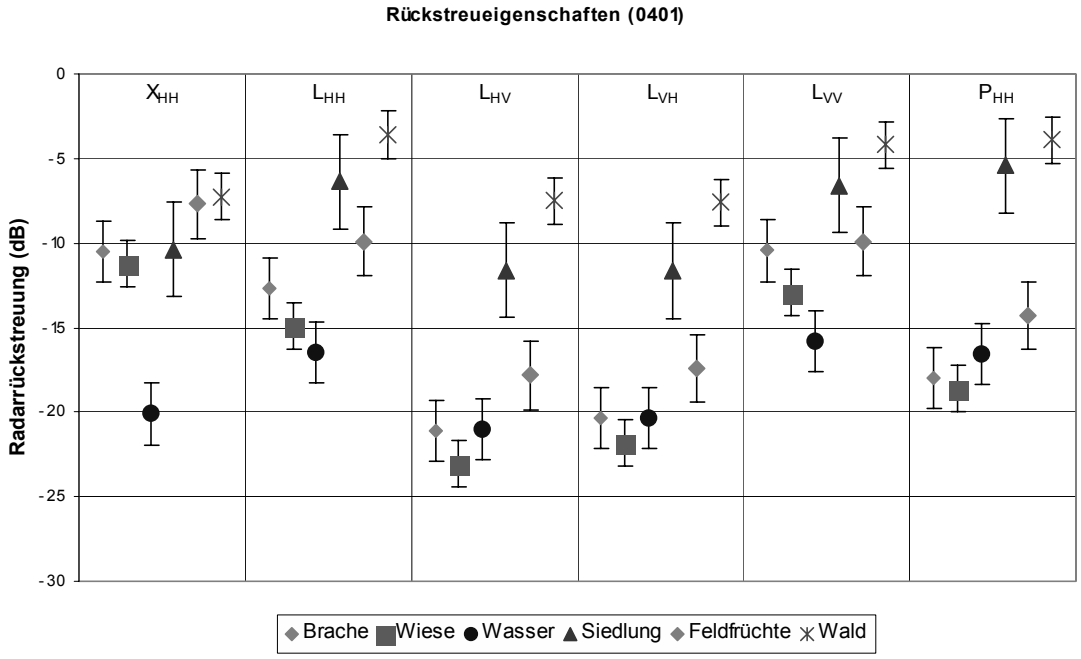

Abb. 6.2: Rückstreueigenschaften für das Untersuchungsgebiet (Mittelwert und Standardabweichung) für April 2001 in unterschiedlichen Frequenzen (X-, L- u. P-Band) und Polarisationen (HH = horizontal-, HV = kreuz- u. VV = vertikal polarisiert) für verschiedene Oberflächenkategorien.

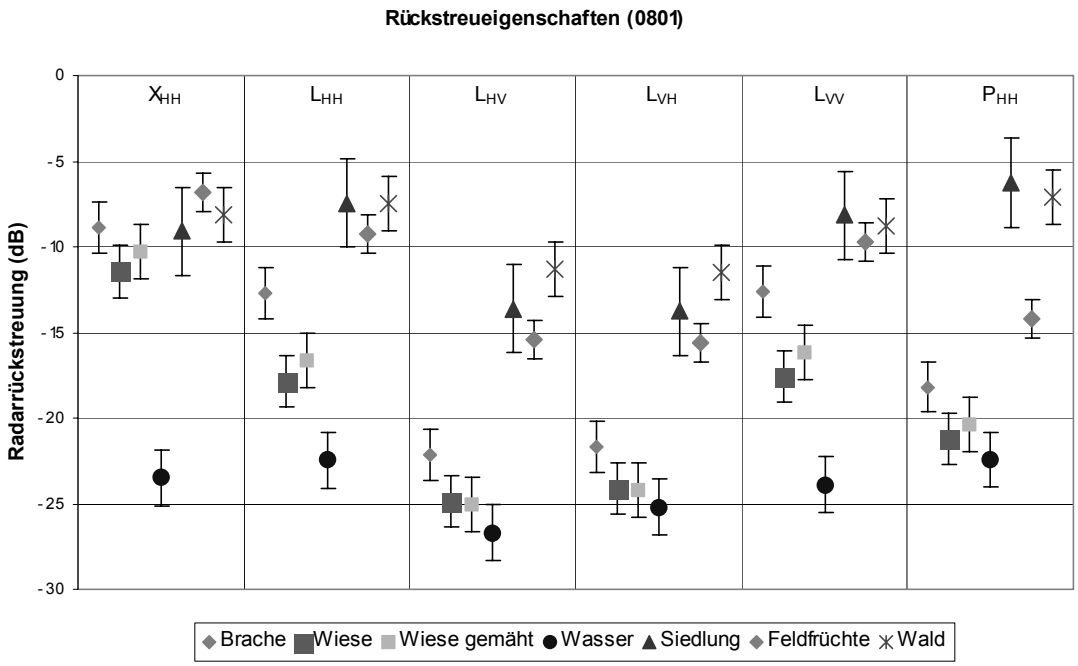

Abb. 6.3: Rückstreueigenschaften für das Untersuchungsgebiet (Mittelwert und Standardabweichung) für August 2001 in unterschiedlichen Frequenzen (X-, L- u. P-Band) und Polarisationen (HH = horizontal-, HV = kreuz- u. VV = vertikal polarisiert) für verschiedene Oberflächenkategorien.

Die spektralen Eigenschaften der Oberflächen im kurzwelligen X-Band (X_{HH}) zeichnen sich durch eine schlechte spektrale Trennung der gewählten Oberflächenkategorien aus. Es kommt überwiegend zur Oberflächenstreuung. So zeigen z.B. Wiesen und gemähtes Grünland sowie Wald und Feldfrüchte nahezu identische Rückstreuwerte. Lediglich offene Wasserflächen unterscheiden sich stark durch eine sehr niedrige Radarrückstreuung von den anderen Oberflächenkategorien. Dies wird durch die nahezu glatte Oberfläche hervorgerufen, an der es zu einer spiegelnden (kohärenten) Reflexion kommt, so dass nur ein geringer Anteil der ursprünglich ausgesendeten Energie zum Sensor zurückgestreut wird (Kap. 3.1.3.2.2 – Abb. 3.16a).

Die Rückstreuwerte von Siedlungen und Waldbereichen sind im vollpolarimetrischen L-Band deutlich höher als die Rückstreuwerte der anderen Oberflächenkategorien. Dies ist vor allem auf die Mehrfachreflexionen (*double bounce*) an Gebäuden und Baumstämmen sowie der Volumenstreuung in den Baumkronen zurückzuführen (Kap. 3.1.2.5 – Abb. 3.8). Die räumliche Ausrichtung der Siedlungsobjekte in Relation zur Flugbahn führt zu einer räumlichen Heterogenität von Siedlungen im Radarbild. Die signifikante Textur geht auf den Wechsel von Überstrahl- und Schattenbereiche zurück (Abb. 6.4). Die Giebelstruktur der Siedlungsobjekte führt dazu, dass die dem Sensor zugewandte Dachfläche überstrahlt, während die abgewandte Seite im Radarschatten liegt. Für die Auswertung der Oberflächenkategorie Siedlung sind sowohl Überstrahl- als auch Schattenbereiche berücksichtigt worden. Dieses Phänomen spiegelt sich in einer hohen Standardabweichung wider.

Abb. 6.4: **Auswirkung der räumlichen Ausrichtung von Oberflächenobjekten in Relation zur Flugbahn (roter Pfeil) und Blickrichtung (gelber Pfeil) des SAR am Beispiel eines landwirtschaftlichen Betriebes bei Golzow. Das panchromatische Luftbild (A) zeigt die Giebelstruktur der Siedlungsobjekte und ihre Ausrichtung. Die E-SAR X_{HH} Aufnahme (B) zeigt deutlich Überstrahl- (hell) und Schattenbereiche (dunkel) – zwei Gebäudegrundrisse sind exemplarisch in Orange dargestellt.**

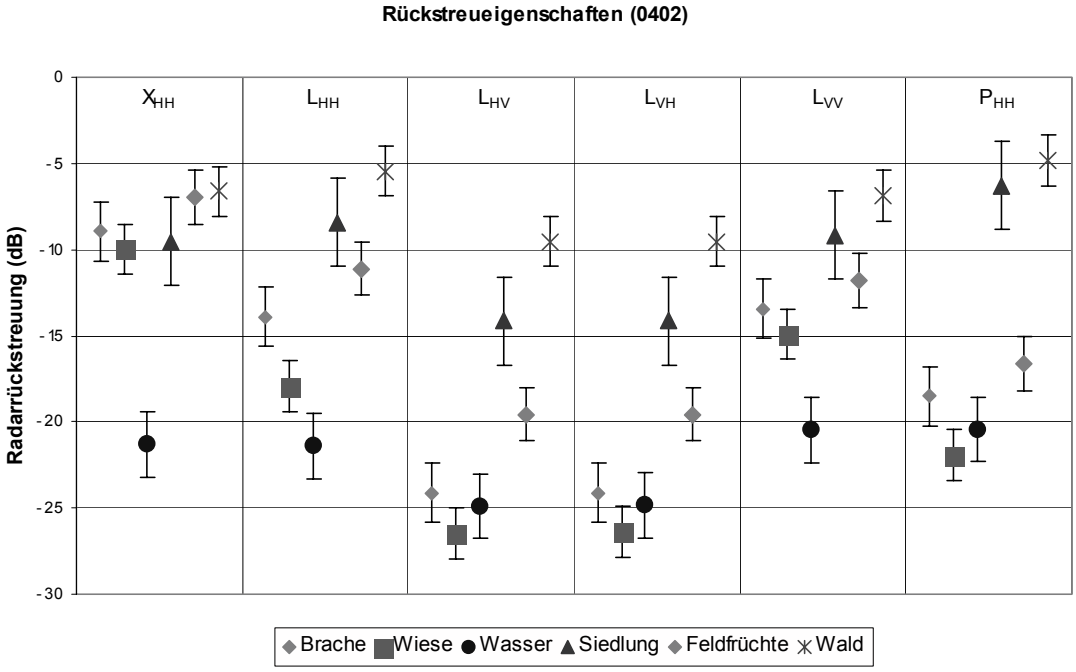

Abb. 6.5: **Rückstreueigenschaften für das Untersuchungsgebiet (Mittelwert und Standardabweichung) für April 2002 in unterschiedlichen Frequenzen (X-, L- u. P-Band) und Polarisationen (HH = horizontal-, HV = kreuz- u. VV = vertikal polarisiert) für verschiedene Oberflächenkategorien.**

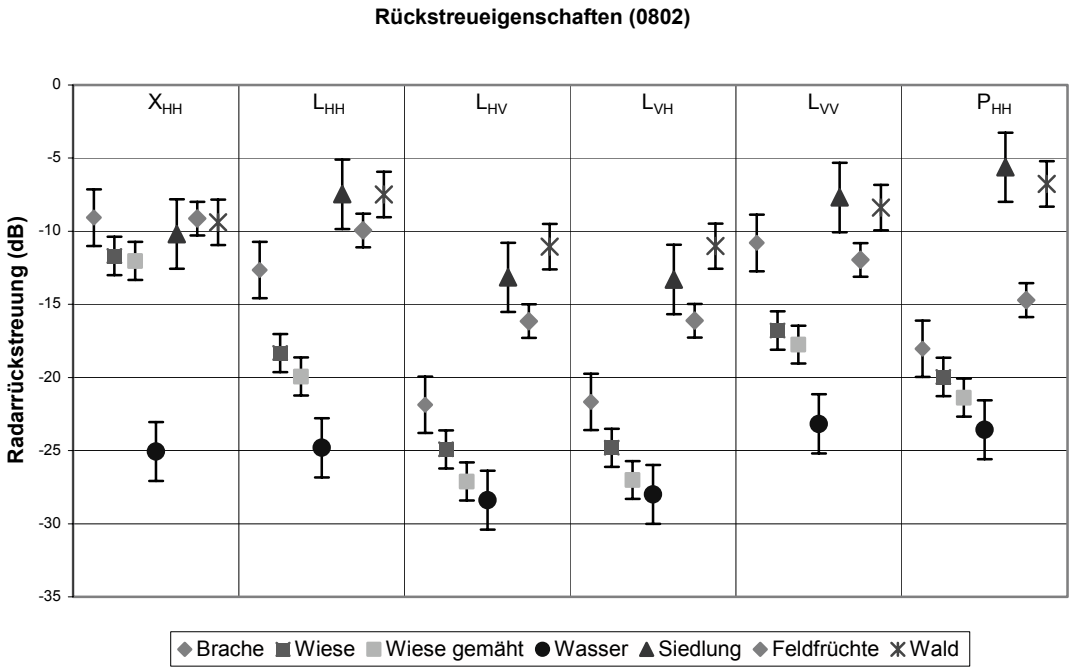

Abb. 6.6: Rückstreueigenschaften für das Untersuchungsgebiet (Mittelwert und Standardabweichung) für August 2002 in unterschiedlichen Frequenzen (X-, L- u. P-Band) und Polarisationen (HH = horizontal-, HV = kreuz- u. VV = vertikal polarisiert) für verschiedene Oberflächenkategorien.

Die generell stärkeren Rückstreuwerte der Feldfrüchte in den August-Kampagnen sind auf die höhere Pflanzenvitalität zurückzuführen. Die Gebiete mit niedriger Vegetation zeigen geringe Rückstreuwerte und unterscheiden sich so von anderen Vegetationsflächen. Da eine ähnliche Vegetationsstruktur vorliegt, liegt die Ursache in den unterschiedlichen Pflanzenwassergehalten (PWC) bzw. in der Biomasse. Durch den höheren Pflanzenwassergehalt steigt die Dielektrizitätskonstante und somit der Anteil diffuser Volumenstreuung.

Die Rückstreuung im kreuzpolarisierten L-Band (L_{HV} u. L_{VH}) zeigt ein ähnliches Rückstreuverhalten der Oberflächenkategorien wie im gleichpolarisierten L-Band (L_{HH} u. L_{VV}). Die insgesamt niedrigeren dB-Werte sind darauf zurückzuführen, dass in den Kreuzpolarisationen nur die depolarisierte Strahlung aufgezeichnet wird. Das Rückstreuverhalten der Oberflächen in der vertikalen Polarisation (L_{VV}) zeichnet sich durch eine insgesamt höhere Rückstreuung im Vergleich zur horizontalen Polarisation (L_{HH}) und zum kreuzpolarisierten L-Band aus. Zudem liegen die Mittelwerte der Rückstreuintensitäten der untersuchten Oberflächenkategorien in der vertikalen Polarisation näher zusammen. Dies deutet auf einen geringeren Einfluss der Vegetation hin. Die Ursache liegt in der vertikalen Oberflächenstruktur der Vegetation, sie ermöglicht in der vertikalen Polarisation eine stärkere Durchdringung der Vegetationsschicht und liefert mehr Informationen über die dielektrischen Eigenschaften des Oberbodens.

Die Rückstreuintensitäten der horizontalen Polarisation des P-Bands liefern aufgrund der Störungen (Kap. 5.2.3.1 – Abb. 5.3) nur tendenzielle Informationen und müssen unter Vorbehalt betrachtet werden. Siedlungs- und Waldbereiche zeigen die gleiche Tendenz wie im

vollpolarimetrischen L-Band und zeichnen sich durch hohe Rückstreuwerte aus. Die Mittelwerte der übrigen Oberflächenkategorien liegen näher zusammen, was auf einen geringen Einfluss der Vegetation hindeutet.

Der Informationsgehalt der untersuchten Oberflächenkategorien ist im langwelligen L- und P-Band deutlich höher als im kurzwelligen X-Band. Das vollpolarimetrische L-Band wird unterschiedlich stark von der Vegetation beeinflusst. Die horizontale Polarisation sowie die Kreuzpolarisationen zeigen eine ähnliche Rückstreucharakteristik. Die vertikale Polarisation des L-Bands durchdringt z.T. die Grünlandbereiche und wird stark von den Eigenschaften und Variationen des Oberbodens bestimmt. Die horizontale Polarisation des P-Bands zeigt eine ähnliche Charakteristik, wie die Kreuzpolarisation des L-Bands.

6.2 Multitemporale Analyse

Als aktives Fernerkundungsverfahren gelten Radarsysteme im Allgemeinen als nahezu unabhängig von den Wetterbedingungen im Untersuchungsraum (Kap. 3.1). Die Sensitivität der Radarstrahlung gegenüber Änderungen der Dielektrizitätskonstante der beleuchteten Materie macht jedoch eine genaue Betrachtung der Wetterbedingungen zu den jeweiligen Befliegungskampagnen notwendig, da Schwankungen der Dielekrizitätskonstante im direkten Zusammenhang mit dem Wassergehalt der beleuchteten Materie (z.B. Bodenfeuchte) stehen (Kap. 3.1.3.2.1 u. 3.1.3.2.2).

Die multitemporale Korrelation der E-SAR-Daten mit den jeweils vorherrschenden Rahmenparametern, wie Niederschlagsmenge, Grundwasserstände, Pegelstände der Oder und Bodenfeuchte im Untersuchungsgebiet, ermöglicht es, den Einfluss der Wetterbedingungen auf SAR-Systeme zu erfassen. Diese Informationen sind für Untersuchungen, die das Extrahieren von Bodeninformationen aus SAR-Daten zum Ziel haben, von entscheidender Bedeutung.

6.2.1 Niederschlagswerte für das Untersuchungsgebiet

Die Klimadaten der Wetterstation Manschnow des Deutschen Wetter Dienstes (DWD) weisen, auf das Abflussjahr betrachtet, für 2002 höhere Niederschlagsmengen aus als für 2001 (Abb. 6.7). Sowohl in 2001, als auch in 2002 sind höhere Niederschlagsmengen zu den Sommerbefliegungen im Vergleich zu den Frühjahrsbefliegungen festzustellen (Abb. 6.8 u. Abb. 6.9).

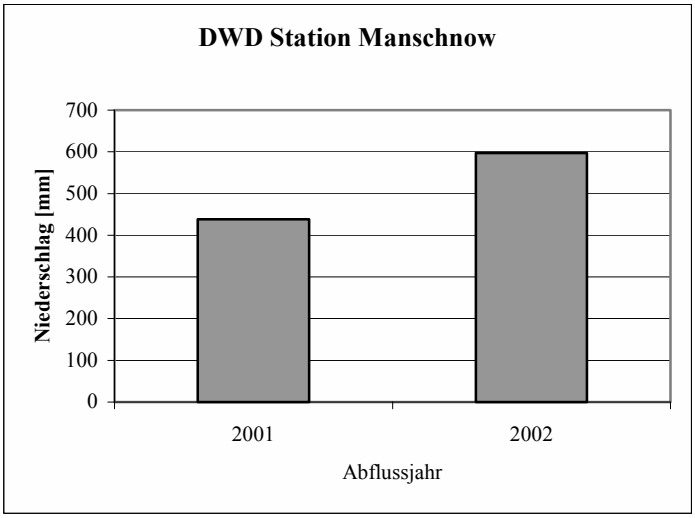

Abb. 6.7: Gesamtniederschlag, bezogen auf das Abflussjahr (November – Oktober) 2000/2001 und 2001/2002.

Die Gegenüberstellung der Niederschlagsmengen für die acht Tage vor der jeweiligen Befliegungskampagne inklusive des Aufnahmetages (Abb. 6.10) zeigt eine deutlich andere Situation als die Langzeitmessungen (Abb. 6.9). Die Niederschlagswerte in 2001 liegen für die Kurzzeitmessungen höher als in 2002. Zudem zeichnet sich der Zeitraum im April 2001 durch höhere Niederschläge aus als im August 2001. Es ist abzuleiten, dass die Befliegungskampagnen im April 2001 und August 2002 in einem Zeitraum mit hohen Niederschlägen statt fanden, während die Niederschlagsmengen zu den übrigen Befliegungskampagnen im Vergleich geringer ausfielen.

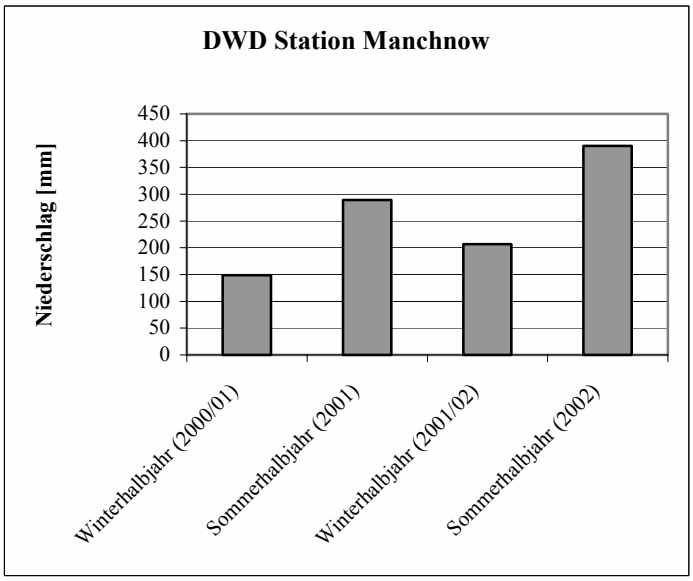

Abb. 6.8: Vergleich der Niederschlagsmengen für das Winter- und Sommerhalbjahr, bezogen auf das Abflussjahr.

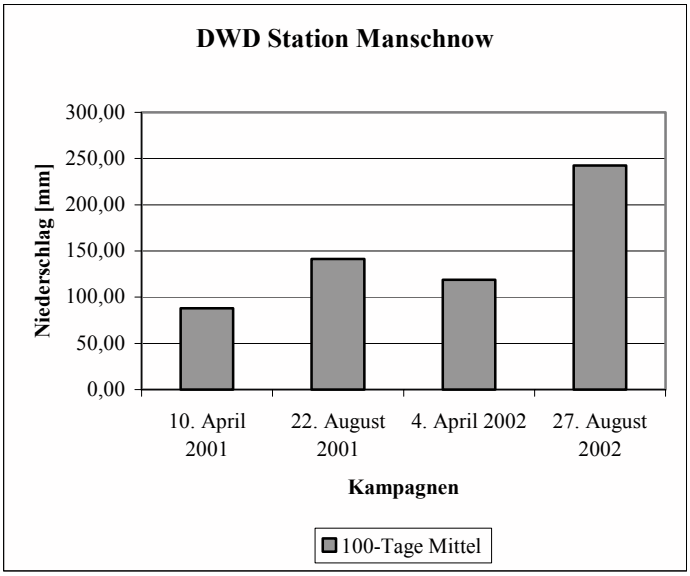

Abb. 6.9: Vergleich der Niederschlagsmengen für die 100 Tage vor der jeweiligen Befliegungskampagne.

Die Unterschiede zwischen den Kurzzeitmessungen und den Langzeitmessungen lassen einen Abgleich mit den multitemporalen SAR-Daten als nützlich erscheinen, da so festgestellt werden kann, ob eine Beeinflussung der Radarsignatur durch die Langzeit- bzw. Kurzzeitvariationen in den Niederschlagsmengen hervorgerufen wird (Kap. 6.2.5).

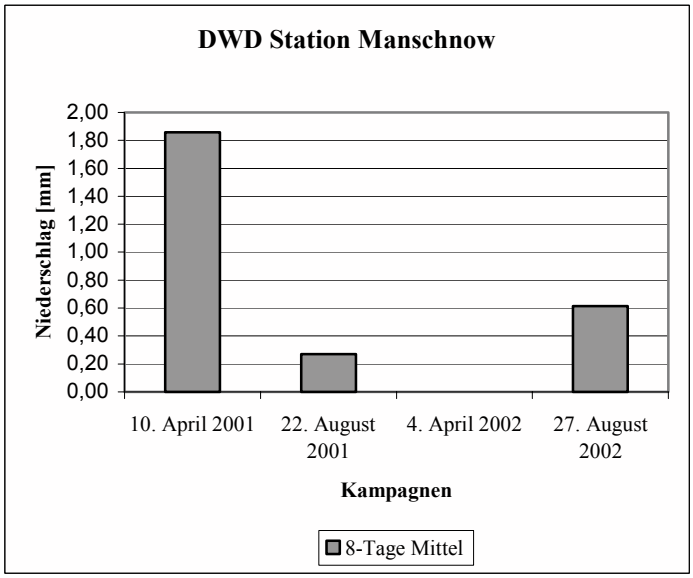

Abb. 6.10: Vergleich der Niederschlagsmengen für die Woche vor der jeweiligen Befliegungskampagne.

6.2.2 Grundwasserstände

Durch die vollständige Eindeichung liegt das Oderbruch heute 2 – 5 m unterhalb des Mittelwasserspiegels der Oder. Dadurch entsteht ein hydraulischer Gradient, der eine ganzjährige laterale Infiltration von Oderwasser in den Grundwasserleiter bewirkt (Kap. 2.2.4).

Die Messungen an den Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet zeigen eine deutliche Tendenz zu höheren Grundwasserspiegeln während der Befliegungskampagnen im April im Vergleich zu den jeweiligen Grundwasserständen im August (Abb. 6.11). Zudem lassen sich generell höhere Grundwasserstände für 2002 feststellen. Dieser besondere Umstand lässt sich nicht alleine durch die Pegelstände der Oder erklären (Abb. 6.13). Im Sommerhalbjahr 2002 ist der Wasserstand der Oder niedriger als in 2001. Der höhere Grundwasserstand im Sommer 2002 lässt sich somit nur durch die deutlich höheren Niederschlagsmengen in diesem Zeitraum im Vergleich zu 2001 erklären (Abb. 6.9 u. 6.10). Die hohen Grundwasserstände im April sind auf das Winter-/Frühjahrshochwasser der Oder und die besondere hydraulische Situation im Oderbruch zurückzuführen (Kap. 2.2.4). Eine klare Beziehung zwischen der Niedrigwasserperiode der Oder in der zweiten Jahreshälfte und den im Vergleich zu den jeweiligen April-Messungen niedrigeren August-Grundwasserständen ist deutlich zu erkennen (Kap. 6.2.3).

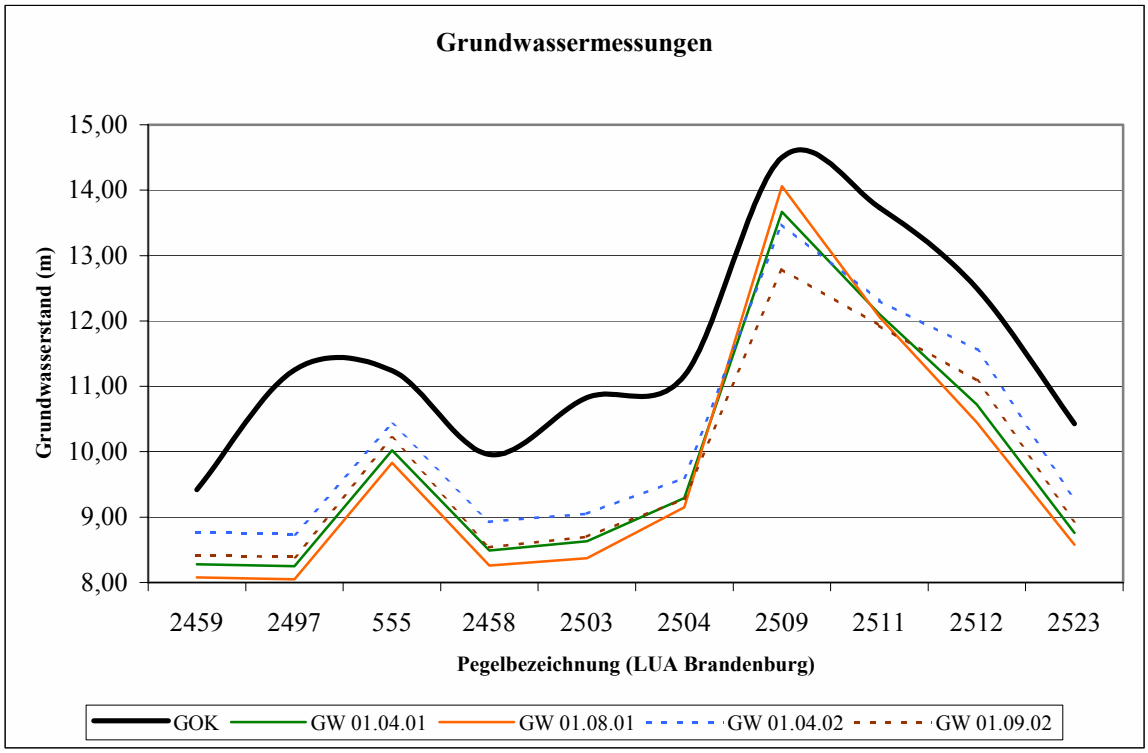

Abb. 6.11: Vergleich der Grundwasserstände (LUA, Landesumweltamt Brandenburg) im Untersuchungsgebiet während der vier Befliegungskampagnen in Relation zur Geländeoberkante (GOK).

Die generell höheren Niederschlagsmengen in 2002 (Abb. 6.7) schlagen sich ebenfalls in einem höheren Grundwasserspiegel im Vergleich zu 2001 nieder (Abb. 6.11 u. Tab. 6.2). Im

Gegensatz dazu haben die höheren August-Niederschlagsmengen in 2001 und 2002 (Abb. 6.8 u. Abb. 6.9) im Vergleich zu den jeweiligen April-Niederschlagsmengen keinen Einfluss auf die Grundwasserstände im Sommer. Dies deutet darauf hin, dass das Grundwasser im Untersuchungsgebiet maßgeblich vom Wasserstand der Oder und damit vom Drängewasserzustrom bestimmt wird (Kap. 6.2.3). Hier zeigt sich der Einfluss des überregionalen Odereinzuggebietes auf den lokalen Untersuchungsraum.

Die Tab. 6.2 zeigt den Grundwasserabstand von der Geländeoberfläche für den unmittelbaren Zeitraum der vier Befliegungskampagnen. Neben der April-August-Tendenz sowie der höheren Grundwasserspiegel in 2002 wird ebenfalls der hohe Gesamtgrundwasserspiegel für das Untersuchungsgebiet deutlich.

Tab. 6.2: Grundwasserabstand in Meter von der Geländeoberfläche während der SAR Befliegungskampagnen in 2001 und 2002.

	April 2001			August 2001			April 2002			August 2002		
Pegel	01.04.01	08.04.01	15.04.01	01.08.01	08.08.01	15.08.01	22.03.02	01.04.02	08.04.02	15.08.02	22.08.02	01.09.02
2459	1,14	1,13	1,13	1,34	1,32	1,30	0,66	0,65	0,64	0,89	0,97	1,01
2497	3,00	2,99	2,99	3,20	3,17	3,15	2,50	2,51	2,49	2,76	2,84	2,86
555	1,22	1,21	1,21	1,41	1,36	1,36	0,78	0,82	0,86	0,99	0,99	1,03
2458	1,47	1,49	1,51	1,70	1,67	1,65	1,04	1,03	1,02	1,31	1,40	1,42
2503	2,20	2,19	2,21	2,46	2,43	2,43	1,72	1,78	1,85	2,06	2,09	2,13
2504	1,87	1,86	1,86	2,01	1,99	1,88	1,50	1,56	1,63	1,88	1,87	1,88
2509	0,83	1,03	0,94	0,44	0,10	0,59	0,90	1,02	1,22	2,16	1,19	1,71
2511	1,63	1,62	1,59	1,67	1,51	1,53	1,35	1,42	1,45	1,99	1,93	1,80
2512	1,78	1,77	1,75	2,05	2,09	2,08	0,90	0,94	0,92	1,42	1,38	1,41
2523	1,67	1,65	1,63	1,85	1,84	1,85	1,16	1,15	1,14	1,38	1,47	1,49

Die Auswertung der GW-Datenbank sowie die Generierung von GW-Gleichen im GIS für das Untersuchungsgebiet weist auf eine generelle Strömungsrichtung des Grundwassers von Südost nach Nordwest hin (Kap. 2.2.4). In Abb. 6.12 sind die für den Bereich südlich des Golzower Stroms aus den GW-Pegelständen im GIS generierten GW-Gleichen sowie die Lage der GW-Pegel dargestellt.

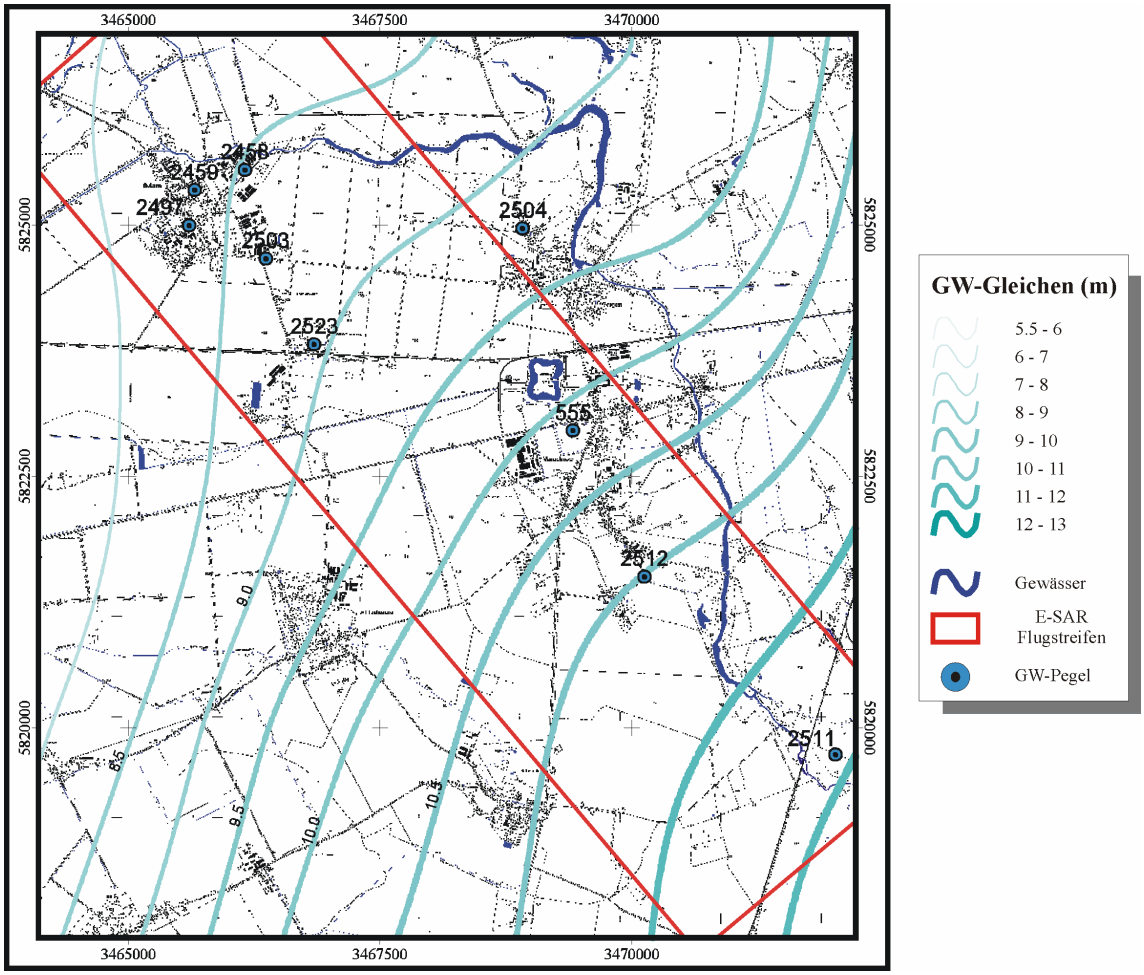

Abb. 6.12: **TK10 mit eingetragenen Gewässerlinien und Gewässerflächen, überlagert von aus der GW-Datenbank im GIS generierten GW-Gleichen für das Untersuchungsgebiet südlich des Golzower Stroms.**

6.2.3 Pegelstände der Oder

Die Auswertungen der Pegelstände der Oder an den Messstellen Frankfurt (Messstellen-Nr. 603030), Kietz (Messstellen-Nr. 603040) und Kienitz (Messstellen-Nr. 603050) für die Abflussjahre 2001 und 2002 belegen, dass das Abflussregime der Oder durch zwei jährliche Hochwasserwellen gekennzeichnet ist (Abb. 6.13 u. Kap. 2.2.4). Während die beiden Hochwasserwellen im Abflussjahr 2001 nahezu gleichmäßig verlaufen, zeigt sich das Winter-/Frühjahrshochwasser im Abflussjahr 2002 als wesentlich intensiver im Vergleich zum Sommerhochwasser. Die zweite Jahreshälfte wird generell von einer Niedrigwasserperiode geprägt.

Die Abb. 6.13 zeigt die gemittelten Monatswasserstände der Oder für die Abflussjahre 2001 und 2002.

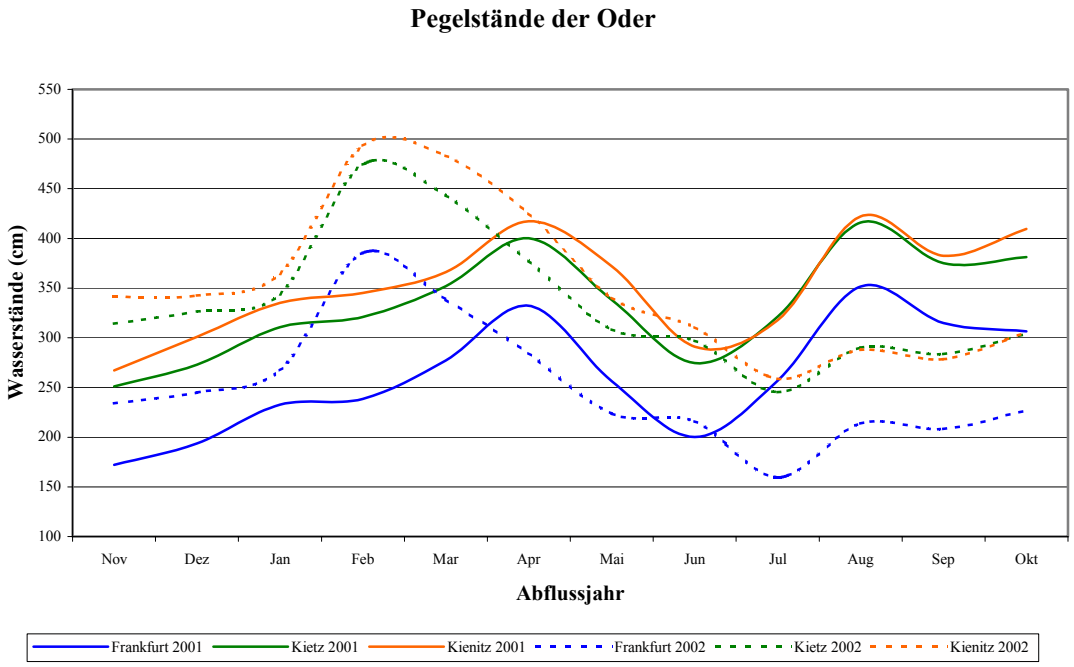

Abb. 6.13: Pegelstände der Oder an den Messstellen Frankfurt, Kietz und Kienitz für das Abflussjahr 2001 und 2002.

Die höheren Niederschläge im Untersuchungsgebiet im Abflussjahr 2002 (Abb. 6.7) schlagen sich nicht in den Pegelständen der Oder nieder. Die durchschnittlichen Wasserstände der Oder sind für die Abflussjahre 2001 und 2002 nahezu identisch (Tab. 6.3) und zeigen damit den überregionalen Charakter des Odereinzugsgebiets auf bzw. unterstreichen den lediglich lokalen Charakter der DWD Messstation Manschnow. Diese Aussage wird zusätzlich gestützt durch die Betrachtung der Niederschlagsmengen für die Sommerhalbjahre, bezogen auf das jeweilige Abflussjahr (Abb. 6.8). Die deutlich höheren Niederschläge im Sommerhalbjahr im Vergleich zum Winterhalbjahr sind nicht in den Pegelständen der Oder zu erkennen.

Tab. 6.3: Jahresmittelwerte der Pegelstände der Oder für die Abflussjahre 2001 und 2002.

Messstelle	Jahres-Wasserstände (cm)
Frankfurt 2001	261
Frankfurt 2002	250
Kietz 2001	335
Kietz 2002	334
Kienitz 2001	352
Kienitz 2002	353

6.2.4 Gravimetrische Bodenfeuchtemessungen

Die Testfläche wird durch typische, den Auenkörper dominierende Sedimente geprägt. Neben dem großflächig vorkommenden Auelehm, der aus reinen Tonen mit zunehmendem Schluff- und geringem Feinsandanteil mit mehr oder weniger organogenen Beimengungen besteht, kommen vereinzelt Sandwälle vor. Diese Sandwälle bestehen aus der Sedimentfracht ehemaliger Oderarme und bauen sich aus fein bis grobkörnigen Sanden mit geringem Fein- bis Mittelkiesanteil auf.

Die Lage der Probenpunkte deckt sowohl den Auelehm als auch die Uferwälle ab. Die Auswertung der Messwerte belegt die eindeutige Tendenz, dass die Böden über dem Auelehm einen höheren Bodenfeuchtegehalt aufweisen im Vergleich zu den Böden, die die Uferwälle überlagern (Tab. 6.4). Hier machen sich die unterschiedlichen Sickerwasserraten für verschiedene Substrate bemerkbar. Der Schwerkraft folgend ist ein genereller Anstieg der Bodenfeuchte mit zunehmender Probentiefe festzustellen.

Tab. 6.4: Auswertung der gravimetrischen Bodenfeuchtebestimmung unter Berücksichtigung der Untergrundbeschaffenheit für eine Testfläche östlich von Rathstock.

Testfläche 10	Bodenfeuchte über Auelehm (Gew.%)		Bodenfeuchte über Uferwall (Gew.%)	
Datum/Probentiefe	0 – 4 cm	4 – 8 cm	0 – 4 cm	4 – 8 cm
April 2001	20,55	19,08	13,62	14,38
August 2001	11,03	12,05	8,25	8,23
April 2002	14,00	15,03	9,59	11,27
August 2002	10,21	13,47	6,80	10,88

Die Bodenfeuchte der April-Proben ist im Durchschnitt höher als in den jeweiligen August-Proben und zeichnet so den Verlauf der Grundwasserspiegelschwankungen für diesen Zeitraum nach (Tab. 6.2). Dieses Verhältnis zwischen den April- und August-Proben lässt sich nicht mit den Langzeit- und Kurzzeitniederschlagsmessungen im Untersuchungsgebiet in Beziehung setzen (Abb. 6.9 u. 6.10). Dies gibt einen indirekten Hinweis auf den Einfluss des Drängewasserzustroms auf den Grundwasserspiegel und die Bodenfeuchte im Untersuchungsgebiet (Abb. 6.13). Weiterhin auffällig ist, dass die hohen Bodenfeuchtewerte aus den April-Proben in 2001 bei gleichzeitig niedrigem Grundwasserspiegel und geringem Wasserstand der Oder im Vergleich zu den Proben aus April 2002 zustande gekommen sind. Die deutlich größere Niederschlagsmenge in der Woche vor der Befliegungskampagne im April 2001 im Vergleich zur Befliegungskampagne April 2002 (Abb. 6.10) spiegelt sich anschaulich in den Bodenfeuchtemessungen wider (Tab. 6.4) und zeigt somit eine klare Beziehung zwischen Niederschlagsereignissen unmittelbar vor bzw. während der Befliegungskampagen und der gemessenen Bodenfeuchte. Aufgrund der fehlenden Extrem-Niederschlagsereignisse kurz vor den Beprobungen in 2002 wird bei der genauen Betrachtung der Bodenfeuchtewerte der Einfluss des Drängewasserzustroms auf den Grundwasserspiegel und damit auf die Bodenfeuchte im Untersuchungsgebiet deutlich. Die höheren Bodenfeuchtegehalte im April 2002 gegenüber August 2002 sind nicht durch die Niederschlagsmengen (Abb. 6.9 u. 6.10) zu begründen, da in der Woche vor der Beprobung im August größere Niederschlagsmengen

verzeichnet worden sind. Die unterschiedlichen Bodenfeuchtewerte haben ihre Ursache in dem höheren Grundwasserstand und damit dem höheren Wasserstand der Oder im April 2002 im Vergleich zu August 2002. Dieses Ergebnis macht für das Untersuchungsgebiet deutlich, dass lediglich extreme Niederschlagsereignisse im unmittelbaren Beprobungszeitraum einen eindeutigen Einfluss auf die Bodenfeuchtewerte haben. Im Allgemeinen spiegeln die Bodenfeuchtewerte jedoch die hydraulische Situation im Untersuchungsgebiet wider.

6.2.5 Auswirkung von Niederschlagsereignissen auf die multifrequenten und multipolarimetrischen Rückstreueigenschaften

Die Auswertung der Rahmenparameter für das Untersuchungsgebiet (Kap. 6.2.1 – 6.2.4) weisen für die Befliegungskampagne April 2001 ein extremes Niederschlagsereignis für den unmittelbaren Untersuchungszeitraum aus. Die aus diesem Ereignis resultierenden hohen Bodenfeuchtewerte gegenüber den anderen Befliegungskampagnen können eine signifikante Beeinträchtigung für SAR-Systeme darstellen, wenn aus deren Rückstreuintensitäten Informationen über den Oberboden extrahiert werden sollen (MÜLLENHOFF & PRINZ 2004).

Die statistische Analyse der Grauwerte (*DN*s) der multifrequenten und multipolarimetrischen Radardaten stellt eine wichtige Grundlage dar, um den Einfluss von Niederschlagsereignissen auf die Rückstreuintensitäten anhand mathematischer Parameter zu überprüfen. Die Berechnung der statistischen Kenngrößen wird in Kap. 5.2.3.3 ausführlich beschrieben.

Die statistischen Parameter der E-SAR-Daten für die vier Befliegungskampagnen sind in Tab. 6.5 bis Tab. 6.8 aufgeführt. Aus den statistischen Parametern des P-Bands können aufgrund der Störungen lediglich mögliche Tendenzen abgeleitet werden.

Die E-SAR-Daten aus April 2001 sind durch eine durchschnittlich höhere Helligkeit und einen geringeren Kontrastreichtum im Vergleich zu den August-2001-Daten gekennzeichnet. Die bessere Rückstreuung in der horizontalen Polarisation des X-Bands aus den August-Daten gegenüber den April-Daten ist auf die größere Pflanzenvitalität im August und damit auf eine verstärkte Oberflächenstreuung zurückzuführen.

Die E-SAR-Daten aus April 2002 zeichnen sich durch eine durchschnittlich geringere Helligkeit und einen geringeren Kontrastreichtum im Vergleich zu den August 2002 Daten aus. Die bessere Helligkeit in den August-Daten beruht, wie schon zuvor erwähnt, auf der größeren Pflanzenvitalität im August. Die gegensätzlich verteilte durchschnittliche Helligkeit in den 2001-Daten basiert auf den hohen Niederschlägen (Abb. 6.10) und die damit verbundene höhere Bodenfeuchte (Tab. 6.4) im April 2001. Durch die hohe Feuchtigkeit und die damit verbundene hohe Dielektrizitätskonstante können die langwelligen Bänder nur eingeschränkt in das Medium Boden eindringen. Die Oberflächenstreuung dominiert und damit ein höherer Anteil an zurückgestreuter Energie, während die Volumenstreuung, die durch das Eindringen in ein Medium entsteht (Kap. 3.1.3), seltener in Erscheinung tritt.

Die Kreuzpolarisationen des L- und P-Bands erscheinen in allen Befliegungskampagnen mit einer durchschnittlich geringeren Helligkeit im Vergleich zu den horizontalen und vertikalen

Polarisationen. Dies spiegelt die Eigenschaft wider, dass in den Kreuzpolarisationen lediglich die depolarisierte Strahlung aufgezeichnet wird. Die vertikale Polarisation im L- und P-Band zeigt vorwiegend einen durchschnittlich geringeren Kontrast im Vergleich zu den übrigen Polarisationen. Hier wird die klare Beziehung zwischen dem geringeren Einfluss der Vegetation auf die vertikale Polarisation und die entsprechenden Rückstreuintensitäten deutlich. L_{VV} und P_{VV} zeigen somit einen hohen Anteil der Rückstreueigenschaften des Oberbodens und sind somit besonders gut für die Lokalisierung von Substratunterschieden geeignet.

Ein Vergleich des Kontrasts der multipolarimetrischen L-Band-Daten kann den Einfluss der Niederschlagsereignisse im Untersuchungsgebiet auf die Rückstreuintensitäten belegen.

Tab. 6.5: Statistische Parameter der E-SAR-Daten für die Befliegungskampagne April 2001.

April 2001

Band	DN_{min}	DN_{max}	DN_{mean}	σ
X_{HH}	-28,452	13,268	-9,133	3,510
L_{HH}	-25,258	15,768	-10,379	**5,117**
L_{HV}	-29,900	4,733	-17,994	**5,306**
L_{VH}	-29,084	4,798	-17,436	**5,012**
L_{VV}	-22,756	17,602	-9,327	**4,291**
P_{HH}	-27,705	9,763	-13,845	6,046
P_{HV}	-31,559	0,000	-20,028	5,243
P_{VH}	-33,243	0,000	-21,147	5,604
P_{VV}	-29,632	3,531	-16,041	4,748

Tab. 6.6: Statistische Parameter der E-SAR-Daten für die Befliegungskampagne August 2001.

August 2001

Band	DN_{min}	DN_{max}	DN_{mean}	σ
X_{HH}	-30,740	11,577	-8,691	4,269
L_{HH}	-27,928	14,656	-11,903	**5,413**
L_{HV}	-35,331	1,662	-19,243	**5,975**
L_{VH}	-35,331	1,556	-18,994	**5,644**
L_{VV}	-30,731	11,279	-12,114	**4,613**
P_{HH}	-32,826	14,693	-15,970	6,796
P_{HV}	-34,287	9,519	-21,031	5,632
P_{VH}	-38,565	9,566	-22,270	5,730
P_{VV}	-27,148	11,715	-13,022	4,880

In den L-Band-Daten von April 2001 beträgt die Differenz im Kontrast der vier Polarisationen lediglich 1,015 und spiegelt so die hohen Niederschläge wider. Für die L-Band-Daten aus April 2002, in dessen Aufnahmezeitraum keine Niederschläge gemessen wurden, beträgt die Differenz im Kontrast der vier Polarisationen 1,660. Für die übrigen Befliegungskampagnen beträgt die Differenz 1,340 für August 2002 mit mittleren Niederschlägen und 1,362 für August 2001 mit geringen Niederschlagsmengen. Dieses Ergebnis zeigt unverkennbar den Zusammenhang zwischen, den hohen Niederschlagsmengen im unmittelbaren

Untersuchungszeitraum und den Rückstreueigenschaften. Der Einfluss von starken Niederschlagsereignissen auf die Rückstreuintensitäten wird bei der visuellen Analyse der SAR-Bilddaten durch eine schlechtere Differenzierbarkeit von Oberflächenobjekten aufgrund des geringeren Kontrast deutlich. Anhand der aufgeführten Parameter ist die Bildqualität der einzelnen Bänder und ihrer Polarisationen quantitativ erfassbar.

Tab. 6.7: Statistische Parameter der E-SAR-Daten für die Befliegungskampagne April 2002.

April 2002

Band	DN_{min}	DN_{max}	DN_{mean}	σ
X_{HH}	-32,445	13,246	-8,756	3,546
L_{HH}	-30,817	10,492	-13,539	**5,531**
L_{HV}	-37,541	3,440	-21,723	**6,005**
L_{VH}	-36,410	3,453	-21,672	**5,973**
L_{VV}	-27,368	6,485	-12,574	**4,345**
P_{HH}	-32,971	11,395	-16,175	6,863
P_{HV}	-37,403	2,846	-22,275	5,859
P_{VH}	-37,403	0,596	-23,566	6,013
P_{VV}	-27,268	12,878	-14,445	5,047

Tab. 6.8: Statistische Parameter der E-SAR-Daten für die Befliegungskampagne August 2002.

August 2002

Band	DN_{min}	DN_{max}	DN_{mean}	σ
X_{HH}	-31,859	16,029	-10,026	3,728
L_{HH}	-33,088	11,032	-13,207	**5,671**
L_{HV}	-36,405	0,779	-20,214	**6,228**
L_{VH}	-37,535	0,858	-20,068	**6,143**
L_{VV}	-31,319	10,958	-12,563	**4,888**
P_{HH}	-33,642	10,048	-15,620	6,923
P_{HV}	-35,272	0,000	-21,945	6,120
P_{VH}	-38,705	0,000	-22,984	6,460
P_{VV}	-26,948	7,350	-13,464	4,964

Die Rückstreuwerte in (*dB*) von drei ausgewählten Oberflächenkategorien, die durch Niederschlagsereignisse direkt beeinflusst werden, sind für die vier Befliegungskampagnen in Tab. 6.9 bis Tab. 6.12 aufgeführt. Am Deutlichsten ist die Beeinflussung der Rückstreueigenschaften durch Niederschlagsereignisse in der Oberflächenkategorie Brachen zu erkennen. Die durchschnittliche Rückstreuung für Brachen liegt für April 2001, dem Zeitraum mit den größten Niederschlagsmengen, am Höchsten. Durch die resultierende hohe Bodenfeuchte und die damit verbundene hohe Dielektrizitätskonstante dringen die langwelligen Radarsignale kaum in den Oberboden ein. Es kommt überwiegend zur Oberflächenstreuung durch die ein höherer Anteil der ausgesendeten Energie zurück zum Sensor gestreut wird. Im Gegensatz dazu liegen die durchschnittlichen Rückstreuintensitäten für Brachen im April 2002, dem Untersuchungszeitraum ohne Niederschlagsereignisse, am Niedrigsten. Dies ist durch die geringere Bodenfeuchte und die damit einhergehende niedrigere Dielektrizitätskonstante zu

erklären. Die langwelligen Radarsignale haben so die Möglichkeit, tiefer in den Oberboden einzudringen. Es kommt verstärkt zu einer diffusen Streuung, der Volumenstreuung, infolgedessen weniger Energie zurück zum Sensor gestreut wird. Das Radarsignal wird mit zunehmender Eindringtiefe gedämpft (Kap. 3.1.3.1.1).

Nicht so deutlich ausgeprägt zeigt sich diese Tendenz in der Oberflächenkategorie Wiesen. Hier wird zusätzliche der Faktor Vegetation und der damit verbundene Pflanzenwassergehalt in den Rückstreuintensitäten offensichtlich.

Die Oberflächenkategorie Feldfrüchte kann aufgrund der unterschiedlichen Pflanzenvitalität im April und August nicht übergreifend verglichen werden. Die Beeinflussung durch Niederschlagsereignisse zeigt sich am Deutlichsten im Vergleich der April-Daten, da in diesem Zeitraum die Pflanzenvitalität auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen gering ist und die Rückstreuwerte überwiegend Informationen über den Oberboden liefern. In den August-Daten macht sich das fortgeschrittene Stadium des Kulturartenkalenders bemerkbar. Eine Korrelation der Niederschlagsereignisse mit den Rückstreuwerten ist nicht möglich. Hier dominiert die Vegetation die Radardaten.

Tab. 6.9: Radarrückstreuung für verschiedene Oberflächenkategorien in (*dB*) der Befliegungskampagne April 2001.

April 2001	X_{HH}	L_{HH}	L_{HV}	L_{VH}	L_{VV}	P_{HH}	P_{HV}	P_{VH}	P_{VV}
Brache	-10,52	-12,67	-21,12	-20,34	-10,44	-17,99	-23,47	-24,56	-18,13
Wiese	-11,24	-14,92	-23,05	-21,84	-12,95	-18,63	-23,96	-25,21	-19,19
Feldfrüchte	-7,69	-9,93	-17,83	-17,41	-9,92	-14,29	-22,31	-22,86	-17,71

Tab. 6.10: Radarrückstreuung für verschiedene Oberflächenkategorien in (*dB*) der Befliegungskampagne August 2001.

August 2001	X_{HH}	L_{HH}	L_{HV}	L_{VH}	L_{VV}	P_{HH}	P_{HV}	P_{VH}	P_{VV}
Brache	-8,88	-12,69	-22,17	-21,68	-12,62	-18,18	-24,75	-25,31	-14,91
Wiese	-11,44	-17,86	-24,88	-24,09	-17,54	-21,21	-24,20	-25,93	-17,20
Feldfrüchte	-6,83	-9,25	-15,44	-15,61	-9,76	-14,22	-19,81	-20,81	-11,15

Tab. 6.11: Radarrückstreuung für verschiedene Oberflächenkategorien in (*dB*) der Befliegungskampagne April 2002.

April 2002	X_{HH}	L_{HH}	L_{HV}	L_{VH}	L_{VV}	P_{HH}	P_{HV}	P_{VH}	P_{VV}
Brache	-8,96	-13,91	-24,13	-24,12	-13,45	-18,51	-25,71	-27,12	-15,96
Wiese	-9,98	-17,94	-26,44	-26,35	-14,91	-21,89	-26,27	-28,07	-17,67
Feldfrüchte	-6,97	-11,12	-19,58	-19,56	-11,79	-16,61	-25,05	-26,01	-15,97

Tab. 6.12: Radarrückstreuung für verschiedene Oberflächenkategorien in (*dB*) der Befliegungskampagne August 2002.

August 2002	X_{HH}	L_{HH}	L_{HV}	L_{VH}	L_{VV}	P_{HH}	P_{HV}	P_{VH}	P_{VV}
Brache	-9,07	-12,65	-21,87	-21,67	-10,80	-18,03	-25,41	-26,18	-15,27
Wiese	-11,69	-18,33	-24,92	-24,81	-16,79	-19,97	-25,17	-26,72	-17,44
Feldfrüchte	-9,13	-9,94	-16,15	-16,12	-11,96	-14,71	-21,37	-21,84	-12,75

6.3 Visuelle Interpretation

Die vom menschlichen Beobachter geleistete Verarbeitung von optischen Reizen wird als visuelle Interpretation definiert. ALBERTZ (1991) unterscheidet im komplexen Gesamtprozess der Bildinterpretation zwei Stufen:

- Das Erkennen von Objekten, welches auf der Erfahrung des Beobachters in der optischen Wahrnehmung beruht.
- Das eigentliche Interpretieren, bei dem aufgrund der erkannten Objekte Schlussfolgerungen gezogen werden, die durch die bewusste Kombination mit speziellen Vorkenntnissen erfolgen können.

Die für das menschliche Auge erkennbaren Informationseinheiten bilden die Grundlage für die visuelle Interpretation. Die Erfahrung des Interpreten spielt die bedeutendste Rolle bei der visuellen Interpretation. Von seinem subjektiven Empfinden, seiner Erfahrung und der vom menschlichen Auge differenzierbaren Bildelemente hängt die Analyse und Klassifikation der Daten ab. Interpretationsfaktoren sind vor allem der Grauton, die Bildtextur, das Entwässerungsnetz, die auftretenden tektonischen Lineamente, die Homogenität der Reflexion und die Morphologie, die auf komplexe Weise zusammenwirken. Dabei ermöglichen die in Kap. 5 beschriebenen digitalen Bildverarbeitungstechniken, das geologisch relevante Informationspotential aus den ursprünglichen Datensätzen herauszuarbeiten und zu extrahieren.

6.3.1 Auswertung der Luftbilder

Zunächst konnten in einem ersten Schritt anhand der panchromatischen Luftbilder aus 1997 (Abb. 6.14b) und 2001 (Abb. 6.14a) sowie der CIR-Luftbilder aus 2002 auf der Oberfläche sichtbare Substratvariationen lokalisiert werden. Das panchromatische Luftbild ist durch eine Vielzahl typischer Texturen und Grautöne, welche die wechselnde Ablagerung von Mudden/Torfen und sandigen Böden anzeigen, gekennzeichnet. Ursache ist die zyklische Ablagerung von Sedimenten in Verbindung mit ehemaligen mäandrierenden Flussläufen (KÜHN & BROSE 1998). Typische Bildmerkmale für das Vorkommen von vorwiegend sandigen Bodensubstraten auf vegetationsfreien Flächen sind hell erscheinende Bodenpartien (Abb. 6.14a). Dies ist auf die geringe Bodenfeuchte sandiger Substrate zurückzuführen. Im Gegensatz dazu werden die dunklen Bildmerkmale als abgelagerte Mudden und Torfe interpretiert (Abb. 6.14b).

Die generell hohe Bodenfeuchte dieser Substrate lässt sie wesentlich dunkler im panchromatischen Luftbildern erscheinen als sandige Böden. Die sandigen Substrate erscheinen auf den vegetationsfreien Flächen im CIR-Luftbild als hellgrau erscheinende Bodenpartie.

Der geologisch relevante Informationsgehalt von Luftbildern wird maßgeblich vom Aufnahmezeitpunkt und den damit verbundenen Wetterbedingungen bestimmt. Optimale Bedingungen herrschen zum Ende des Frühjahrs, bei ausgeglichenen Bodenfeuchteverhältnissen

und noch nicht einsetzender Vegetationsperiode. Sommeraufnahmen sind für solche Auswertungen aufgrund der ausgebildeten Vegetationsbedeckung in der Regel weniger geeignet. Allen Aufnahmezeitpunkten gemein ist die Tatsache, dass durch Wolkenbedeckung die Aufnahme von Luftbildern entscheidend behindert wird.

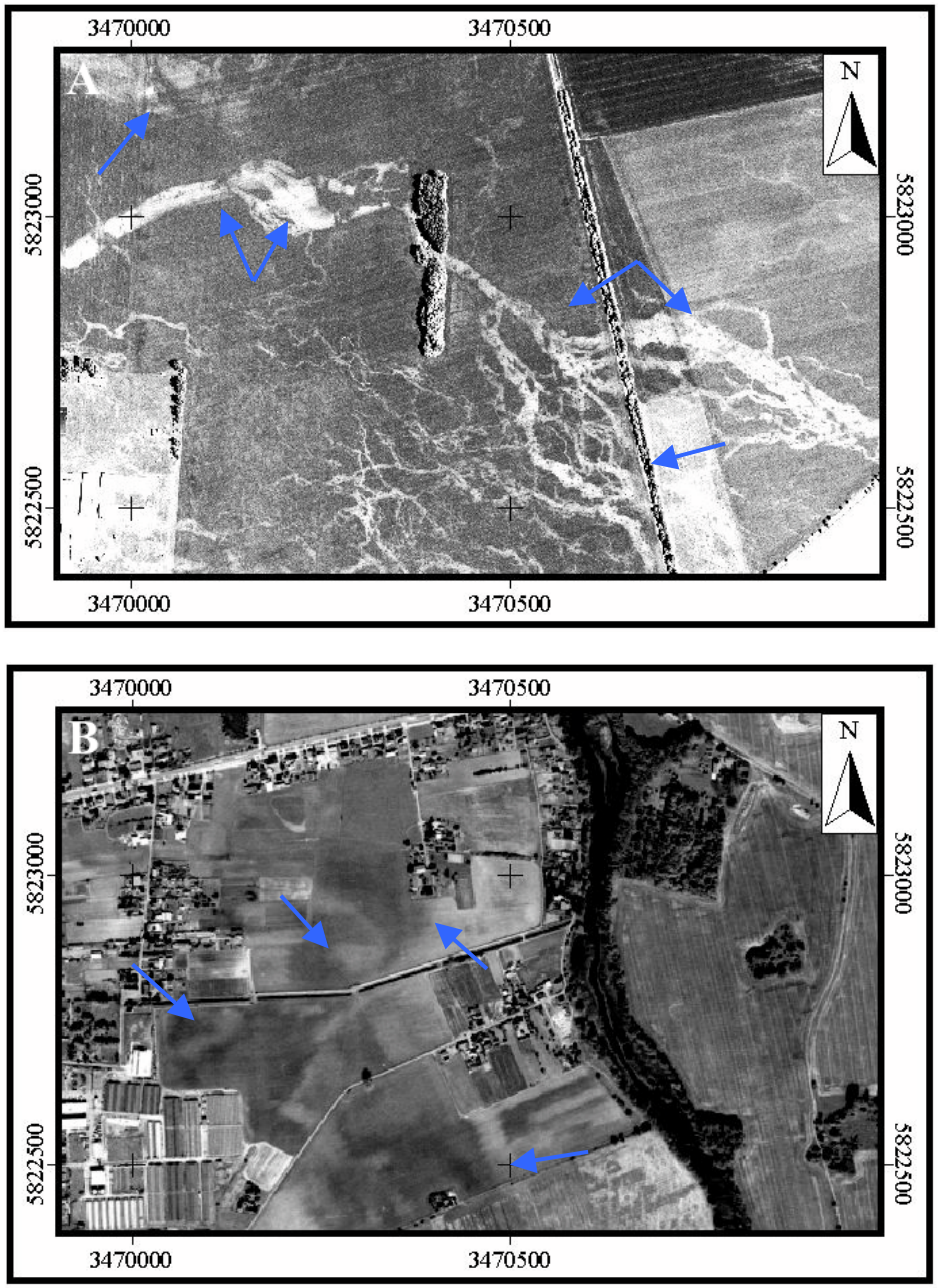

Abb. 6.14: **Typische Bildmerkmale in panchromatischen Luftbildern. A) Merkmale für die Ablagerung von Sanden/Kiesen (hellegrau) westlich von Manschnow in einem panchromatischen Luftbild von 2001 (blaue Pfeile). B) Merkmale für die Ablagerung von Mudden/Torfen (dunkelgrau) östlich von Manschnow in einem panchromatischen Luftbild von 1997 (blaue Pfeile).**

Anhand der typischen Bildmerkmale für das Vorkommen von vorwiegend sandigen Bodensubstraten in den panchromatischen und CIR-Luftbildern konnten Referenzstrukturen mit

einem mäanderähnlichen Verlauf bestimmt werden. Dabei handelt es sich zumeist um die entlang von Strömungsrinnen umgelagerten Sande, die den Uferverlauf rezenter oder ehemaliger Flussarme nachzeichnen. Diese Referenzstrukturen dienten in einem späteren Arbeitsschritt der Verifizierung der multifrequenten und multipolarimetrischen SAR-Daten. Die Abb. 6.15 zeigt das Untersuchungsgebiet zu unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten nordwestlich von Manschnow. Im Norden wird der Bildausschnitt durch den Golzower Strom begrenzt, der ein noch heute zu erkennbares Relikt der ehemals mäandrierenden Oder darstellt. Der Wahl des Aufnahmezeitpunkts der Luftbilder kommt bei einer geologisch relevanten Fragestellung eine besondere Bedeutung zu, wie Abb. 6.15 eindrucksvoll verdeutlicht. Der Bildausschnitt in Abb. 6.15a zeigt das panchromatische Luftbild aus dem Jahre 1997. Aufgrund der fehlenden Vegetationsbedeckung auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen sind die typischen Bildmerkmale, die in Verbindung mit ehemaligen mäandrierenden Flussläufen stehen, deutlich zu erkennen. Besonders im SW und südlich des Golzower Stroms sind die typischen Texturen und Grautöne sandiger Ablagerungen zu erkennen. In Abb. 6.15b ist der gleiche Bildausschnitt für das panchromatische Luftbild aus dem Jahr 2001 dargestellt. Hier dominiert die Vegetation auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen. Die charakteristischen Texturen und Grautöne sandiger Ablagerungen sind nur noch vereinzelt zu lokalisieren. Das CIR-Luftbild, das im Zuge der E-SAR Befliegungskampagne in August 2002 aufgenommen wurde, ist für den entsprechenden Bildausschnitt in Abb. 6.15c abgebildet. Vegetationsfreie Flächen erscheinen in verschiedenen Grautönen, während vegetationsbedeckte Flächen in Rottönen wiedergegeben werden. Lediglich südlich des Golzower Strom sind auf den vegetationsfreien Flächen ansatzweise die für sandige Ablagerungen kennzeichnenden Texturen und Grautöne zu erkennen. Zu diesem Aufnahmezeitpunkt verhinderte der hohe Niederschlag vor der Befliegungskampagne (Abb. 6.9 und 6.10) die für die Lokalisierung von Substratunterschieden in Luftbildern unabdingbaren ausgeglichenen Bodenfeuchteverhältnisse.

Die wichtigsten Strukturen, die auf die zyklische Ablagerung von Sedimenten in Verbindung mit ehemaligen mäandrierenden Flussläufen hinweisen, sind in Abb. 6.15d gestrichelt dargestellt.

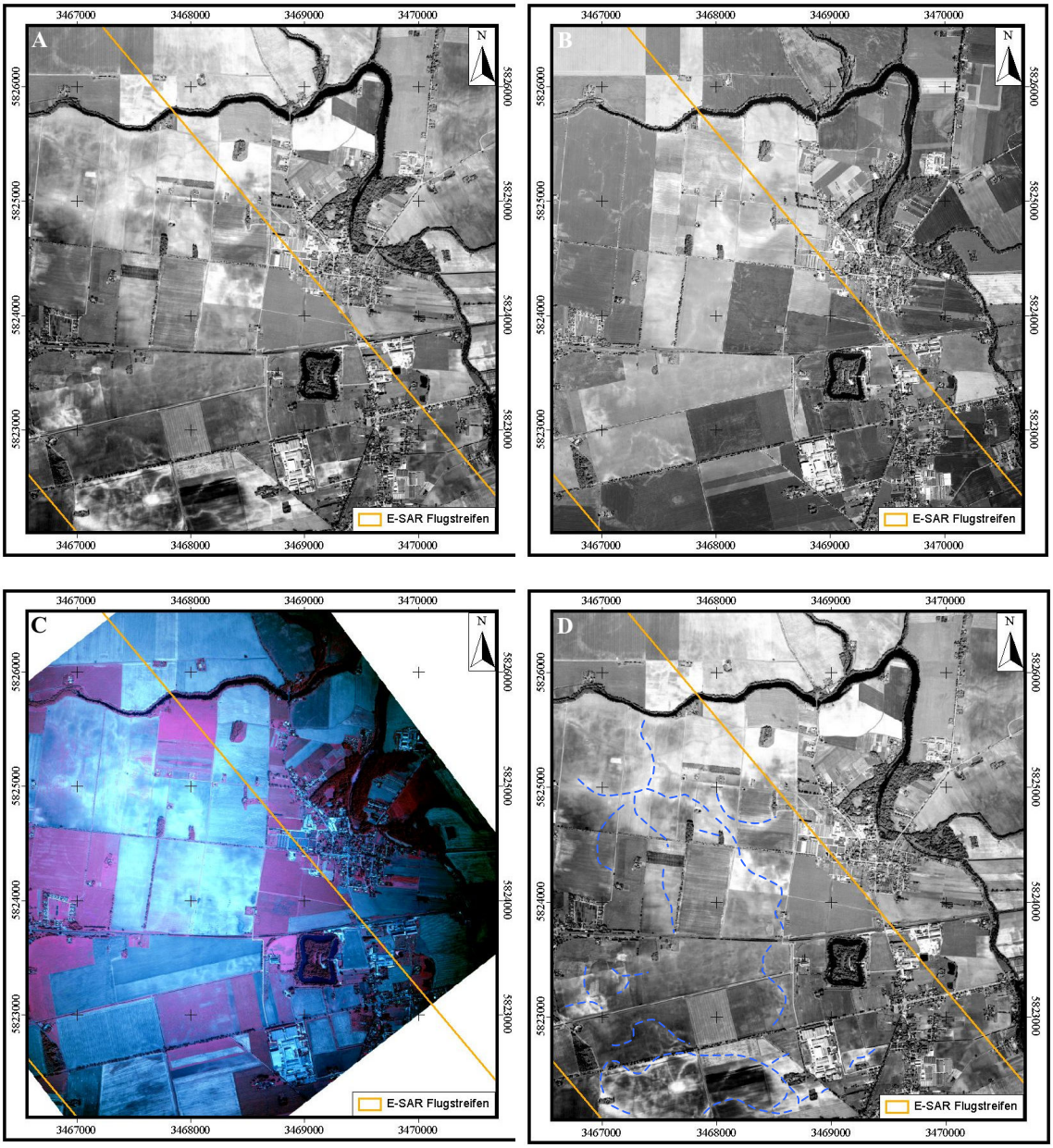

Abb. 6.15: Erscheinungsbild von Substratvariationen in Luftbildern nordwestlich des Fort Gorgast zu unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten. A) Panchromatisches Luftbild von 1997. B) Panchromatisches Luftbild von 2001. C) CIR-Luftbild von 2002. D) Die wichtigsten Strukturen, die auf die zyklische Ablagerung von Sedimenten in Verbindung mit ehemaligen mäandrierenden Flussläufen hinweisen, sind auf dem panchromatischen Luftbild von 1997 blau gestrichelt markiert. Die orangen Markierungen zeigen die Abdeckung des Untersuchungsgebietes durch E-SAR-Daten.

Das es sich bei den typischen Bildmerkmalen sandiger Bodensubstrate in den panchromatischen Luftbilder nicht immer um natürliche Ablagerungen handelt, verdeutlicht die Abb. 6.16. Südwestlich des Fort Gorgast sind in dem panchromatischen Luftbild aus dem Jahre 1997 sandige Ablagerungen deutlich zu erkennen. Besonders interessant ist dabei die rundliche Struktur (blauer Pfeil). Ein Vergleich mit der Reichsbodenschätzung von 1900 gibt für diesen

Bereich den Standort einer Siedlungsstruktur aus, die heute nicht mehr existiert. Der Verlauf des Zufahrtswegs und die Grundfläche der Siedlungsstruktur sind mit Blick auf die Reichsbodenschätzung als diese auch im Luftbild zu identifizieren.

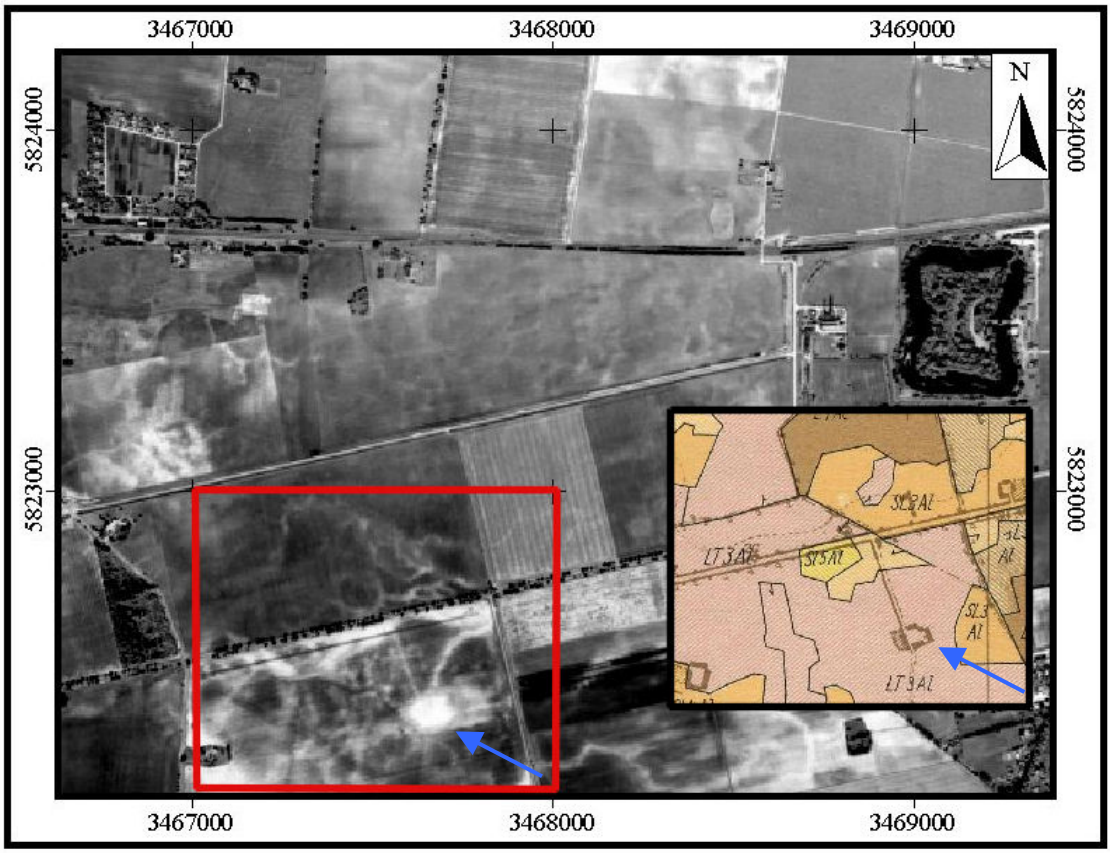

Abb. 6.16: Panchromatisches Luftbild aus dem Jahre 1997. Der rot markierte Bereich entspricht dem Ausschnitt der Reichsbodenschätzung. Die blauen Pfeile deuten auf eine heute nicht mehr vorhandene Siedlungsstruktur südwestlich des Fort Gorgast hin.

6.3.2 Auswertung der multispektralen ASTER-Daten

Die aufbereiteten multispektralen ASTER-Daten (s. Kap. 5.2.4) wurden analog zur Luftbildauswertung auf Bildmerkmale hin untersucht, welche die wechselnde Ablagerung von Mudden/Torfen und sandigen Böden anzeigen, die in Verbindung mit ehemaligen mäandrierenden Flussläufen gebracht werden können.

Böden reflektieren im kurzwelligen Bereich des sichtbaren Lichtes nur schwach. Ihre spektrale Reflexionskurve steigt mit zunehmender Wellenlänge an. Die Reflexionsmöglichkeit im sichtbaren Wellenlängenbereich wird geprägt durch das Vorhandensein organischer Substanz im Boden sowie durch den Bodenfeuchtegehalt. Des Weiteren spielt freies Eisen im Bereich von 0,85 bis 0,93 µm, das unter anderem für eine Rotfärbung des Bodens in Abhängigkeit der Präsenz von Eisenoxid verantwortlich ist, eine besondere Rolle, da die kürzer- und längerwelligen Anteile des Lichtes (z.B. UV-Strahlen) weitgehend absorbiert, während die des

Rot reflektiert werden.

Das Spektralverhalten von Böden wird durch materialbezogene und materialunabhängige Parameter bestimmt. Die materialbezogenen Parameter Mineralbestand, Körnung und Korngröße, Gehalt an Eisen-Verbindungen und organischer Substanz stellen konstante Parameter da, während Bodenfeuchte, Struktur und Rauigkeit der Bodenoberfläche als schwankende Parameter angesehen werden. Geländerelief, topographische Position eines Bodens, Höhe über NHN, Neigung, Exposition und Art, bzw. Dichte des Bewuchses repräsentieren die materialunabhängigen Parameter.

Eine Besonderheit stellen die Absorptionsbanden des Wassers im Boden bei 1,3 - 1,5 µm und 1,75 bis 1,95 µm da. Zwischen ihnen ist üblicherweise das höchste Reflexionsverhalten von Böden zu erwarten, während ab 2 µm mit dem Absorptionsband von Tonmineralen bereits wieder eine Abnahme der Reflexion zu beobachten ist.

Abb. 6.17: Typische Bildmerkmale in einer ASTER Echtfarbkomposite südlich des Golzower Stroms, die die wechselnde Ablagerung von Mudden/Torfen und sandigen Böden anzeigen, die in Verbindung mit ehemaligen mäandrierenden Flussläufen stehen (blau gestrichelt).

Die im Vergleich zu den Luftbildern und den E-SAR-Daten geringere geometrische Auflösung von 15 m pro Pixel sowie das fortgeschrittene Stadium des Kulturartenkalenders zum Aufnahmezeitpunkt erschweren die Lokalisierung von Substratwechseln in den ASTER-Daten.

Verschiedene Farbkompositen, die im Zuge der digitalen Bildverarbeitung aus den ASTER-

Daten generiert wurden, sind in den Abb. 6.17 bis 6.19 dargestellt. Zunächst wurde die Echtfarbkomposite, die dem menschlichen Wahrnehmungsempfinden Rechnung trägt, ausgewertet (Abb. 6.17). Hier zeigt sich, dass kaum typische Bildmerkmale, die in Verbindung mit Gewässerstrukturen gebracht werden können, zu lokalisieren sind. Lediglich südwestlich des Golzower Stroms und im Süden sind größere Bildtexturen, die auf sandige Substrate zurückzuführen sind, zu identifizieren. Diese sind in Abb. 6.17 gestrichelt markiert.

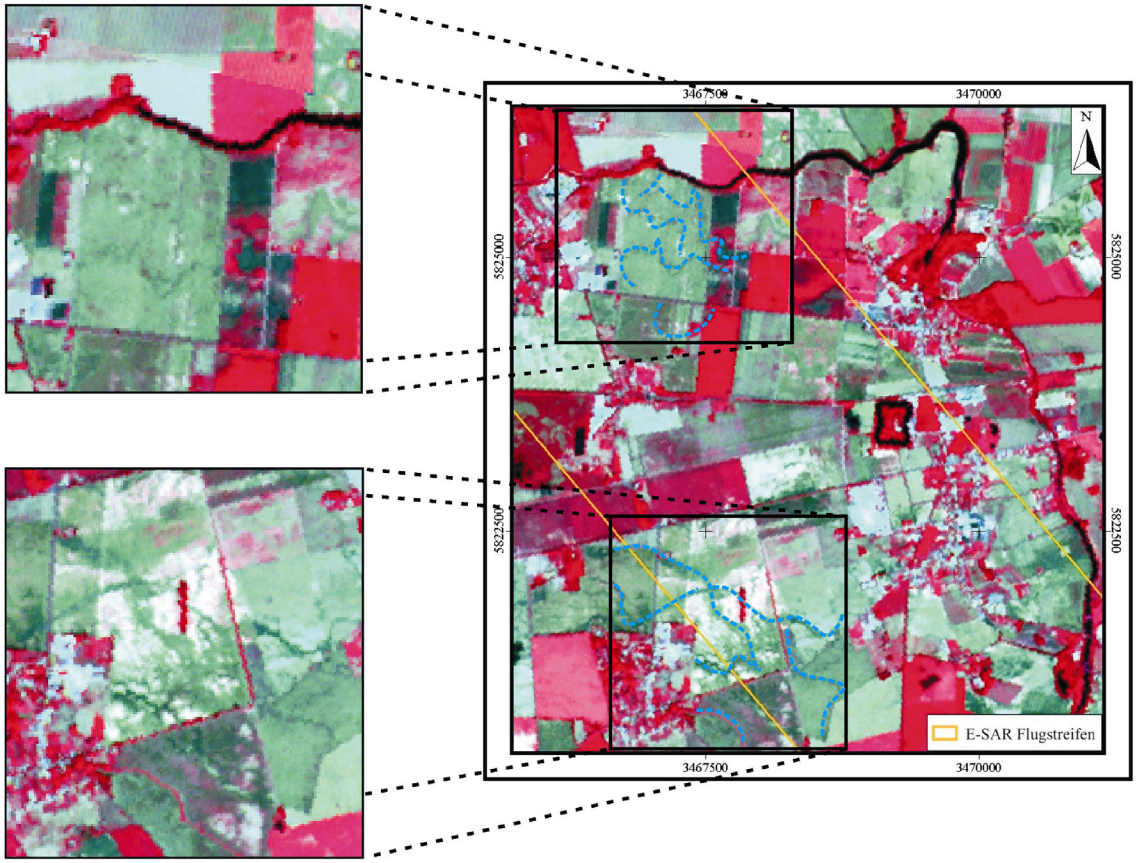

Abb. 6.18: Typische Bildmerkmale in einer ASTER Falschfarbenkomposite (321) südlich des Golzower Stroms, die die wechselnde Ablagerung von Mudden/Torfen und sandigen Böden anzeigen, die in Verbindung mit ehemaligen mäandrierenden Flussläufen stehen (blau gestrichelt).

Die Falschfarbenkomposite aus den ASTER VNIR-Kanälen 321 (Abb. 6.18) entspricht spektral der Landsat-5-TM Falschfarbenkomposite aus den Kanälen 432. Diese ASTER Falschfarbenkomposite unterstützt die Vegetationsanalysen, wobei zwei sichtbare und ein Infrarotkanal miteinander kombiniert werden. Die Pflanzengesellschaften werden dabei in verschiedenen Rottönen wiedergegeben, während Brachen grünlich bis türkis erscheinen. Weidegebiete werden in blassen Rot- oder Rosatönen dargestellt. Auch in dieser Falschfarbenkomposite können auf Substratwechsel hindeutende Bildmerkmale lediglich im SW des Golzower Stroms und im S des Untersuchungsbereichs differenziert werden. Die identifizierten Bildtexturen, die den Verlauf von Gewässerstrukturen nachzeichnen, sind in Abb. 6.18 gestrichelt markiert.

Ein aus den ASTER-Daten generierter Sekundärdatensatz ist in Abb. 6.19 dargestellt. Es

handelt sich um eine Falschfarbenkomposite aus den ersten drei Hauptkomponenten der VNIR-Bänder des ASTER Sensors. Die Vegetation wird in Violetttönen wiedergegeben, während Brachebereiche orange-braun erscheinen. Die schon zuvor identifizierten Gewässerstrukturen sind in diesem Sekundärdatensatz eindeutiger als in den übrigen Farbkompositen zu erkennen. In diesem Datensatz sind zusätzlich im zentralen Untersuchungsbereich ansatzweise Bildtexturen zu lokalisieren, die auf wechselnde Ablagerung von Mudden/Torfen und sandigen Böden hindeuten. Die identifizierten Bildmerkmale, die einen mäanderähnlichen Verlauf aufweisen, sind in Abb. 6.19 gestrichelt markiert.

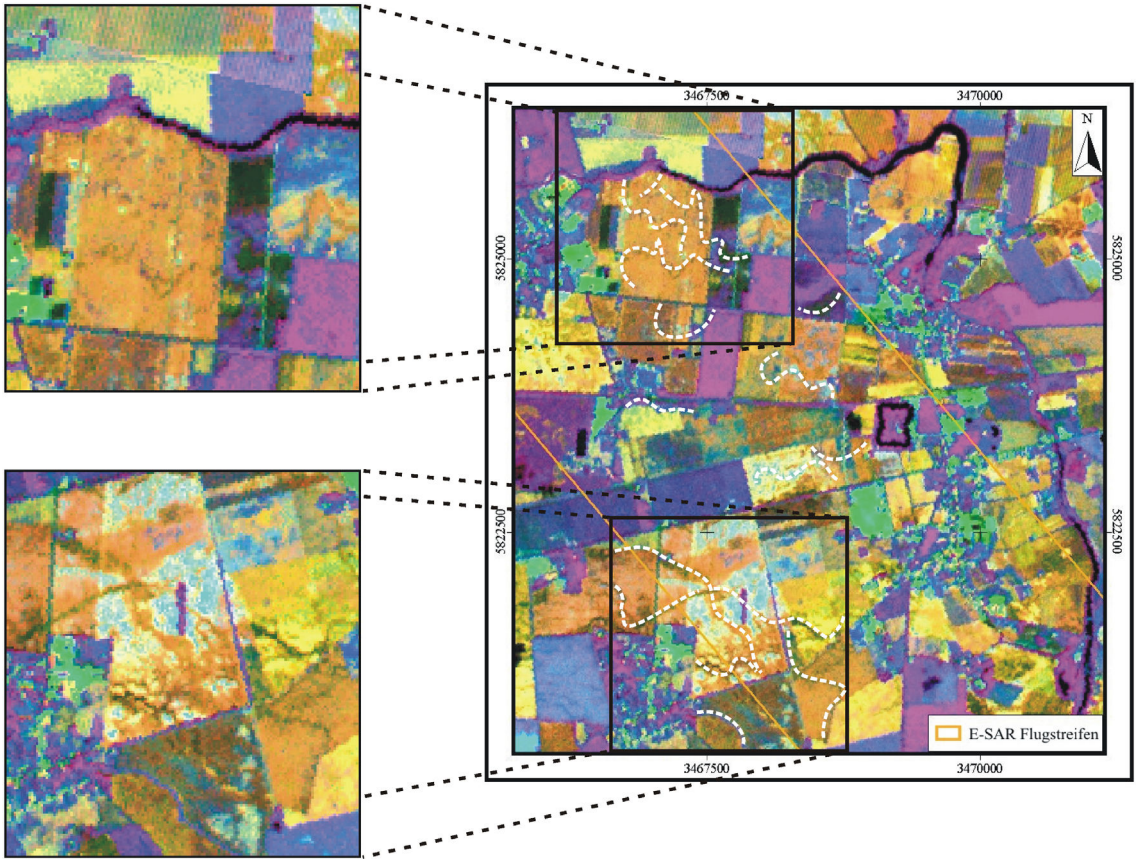

Abb. 6.19: Typische Bildmerkmale in einem Sekundärdatensatz aus den ersten drei Hauptkomponenten der ASTER-VNIR-Daten südlich des Golzower Stroms, die die wechselnde Ablagerung von Mudden/Torfen und sandigen Böden anzeigen, die in Verbindung mit ehemaligen mäandrierenden Flussläufen stehen (weiß gestrichelt).

Von der Annahme ausgehend, das sich die Substratwechsel zwischen Mudden/Torfen und sandigen Böden im Untergrund der Agrarflächen und damit die verbundenen Bodenfeuchtevariationen (Tab. 6.4) auf die Vitalität und das Wachstum der Vegetation auswirken, wurde für das Untersuchungsgebiet aus den multispektralen ASTER-Daten der NDVI für die Vegetationsanalyse berechnet (Kap. 5.2.4.1). 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 zeigt sich, dass die Vegetation auf feuchtem Auelehm einen höheren Index aufweist als vergleichbare Vegetation auf trockenen

fluviatilen Sedimenten. Somit konnte indirekt ein Zusammenhang zwischen den zuvor gewonnenen Ergebnissen und den substratwechselbedingten Bodenfeuchtevariationen belegt werden. Der NDVI stellt somit einen zusätzlichen Indikator für die Verifikation der E-SAR-Daten dar.

Abbildung 6.20 zeigt einen Ausschnitt des NDVI Sekundärdatensatzes südlich des Golzower Stroms. Der NDVI ist von 0 (blau) bis 1 (rot) farbkodiert dargestellt. Die Bereiche mit geringerer Vegetationsvitalität werden durch die Eindrücke vor Ort bestätigt. Die Vegetation über dem Auelehm erscheint in einem kräftigen grün, während sie über den fluviatilen Sedimenten blass grün ausgeprägt ist. Die Belegfotos wurden im Mai 2001 während einer Geländebegehung aufgenommen.

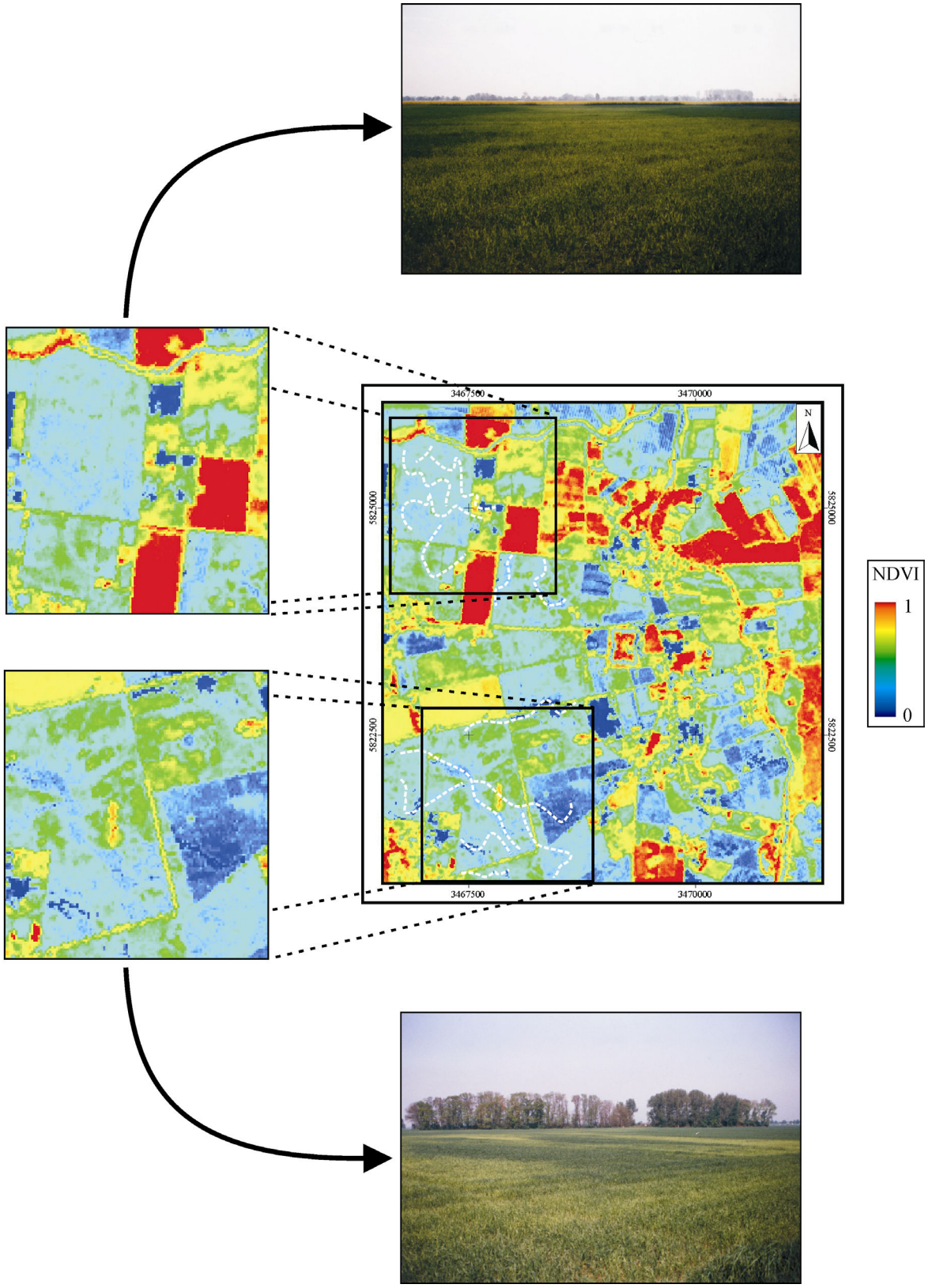

Abb. 6.20: **Farbkodierter Sekundärdatensatz NDVI für den Untersuchungsraum bei Golzow sowie Vitalitätsunterschiede innerhalb von Getreideflächen im Untersuchungsgebiet (Mai 2001).**

6.3.3 Historisches Kartenmaterial

Soweit historische Karten und Beschreibungen vorliegen, können sie gezielt als Grundlage für die Beschreibung des potentiell natürlichen Zustands des Gewässers und des Auenbereichs, ausgehend vom gegenwärtigen Zustand, unter Berücksichtigung irreversibler Veränderungen genutzt werden. Vor diesem Hintergrund erfolgten die Auswertungen der historischen Informationen.

Der Vergleich der aktuellen panchromatischen Luftbilder mit dem historischen Kartenmaterial ermöglicht eine Abschätzung der Veränderung hinsichtlich Wasserflächen und Nebengewässeranbindungen im Untersuchungsgebiet. Aus den Ergebnissen der Auswertungen wird ersichtlich, dass sich seit 1743 die Gewässerstrukturen im Untersuchungsgebiet deutlich verändert haben. Einige Strukturen sind vollkommen verschwunden, während andere stark eingeschränkt oder verändert wurden, so dass eine Verarmung und Vereinheitlichung der Strukturen erfolgte.

Die kartographische Qualität variiert in der Regel stark mit der zum Zeitpunkt der Kartenerstellung verfügbaren instrumentellen Technik. Des Weiteren wirken sich Zweck und Umstände der Entstehung und nicht zuletzt auch der Anspruch der Kartographen auf die Qualität aus. Das führt dazu, dass nicht immer die fachlichen Ansprüche aus heutiger Sicht erfüllt werden können.

Es ist davon auszugehen, dass die historischen Karten einen Zustand zeigen, der schon vom Menschen zielgerichtet beeinflusst ist. Die ersten größeren Eindeichungsarbeiten im Oderbruch fanden bereits 1717 und damit 26 Jahre vor der Erstellung des ältesten zur Verfügung stehenden Kartenmaterials statt (Kap. 2.1.3).

Die Auswertung des Kartenmaterials macht deutlich, dass die historischen Karten die meisten heutigen Grobstrukturen wie Deichverläufe und Altarme nahezu deckungsgleich abbilden. Lokale Abweichungen im Grundriss (seitliche Verschiebung von Strukturen, verzerrte Längenverhältnisse) sind nicht nur auf die historische Kartierungstechnik, sondern auch auf die Güte der verfügbaren historischen Passpunkte in der Georeferenzierung zurückzuführen.

Wie die Abb. 6.21 veranschaulicht, stellt die „Situationskarte der Oder“ von 1745 eine wertvolle Dokumentation der historischen Situation dar. Es ist auffallend, dass die Gewässerstrukturen in der „Situationskarte der Oder“ von 1745 z.T. abrupt enden. Dieses Phänomen ist vermutlich auf die Auswirkungen der ersten Eindeichungsarbeiten zurückzuführen, die bereits 28 Jahre vor den Kartierungsarbeiten durchgeführt wurden. Durch einen Vergleich der Gewässerstrukturen mit dem Mosaik aus den panchromatischen Luftbildern von 1997 macht deutlich, dass im Zuge der Trockenlegung des Bruchs sowie der Flurbereinigung und der landwirtschaftlichen Nutzung die Gewässerstrukturen südlich des Golzower Stroms z.T. heute nicht mehr existieren. Vereinzelt zeichnen typische Bildtexturen, die ihren Ursprung in der zyklischen Ablagerung von Sedimenten in Verbindung mit ehemaligen mäandrierenden Flussläufen haben, im panchromatischen Luftbild den Verlauf von Gewässerstrukturen der „Situationskarte der Oder“ von 1745 nach.

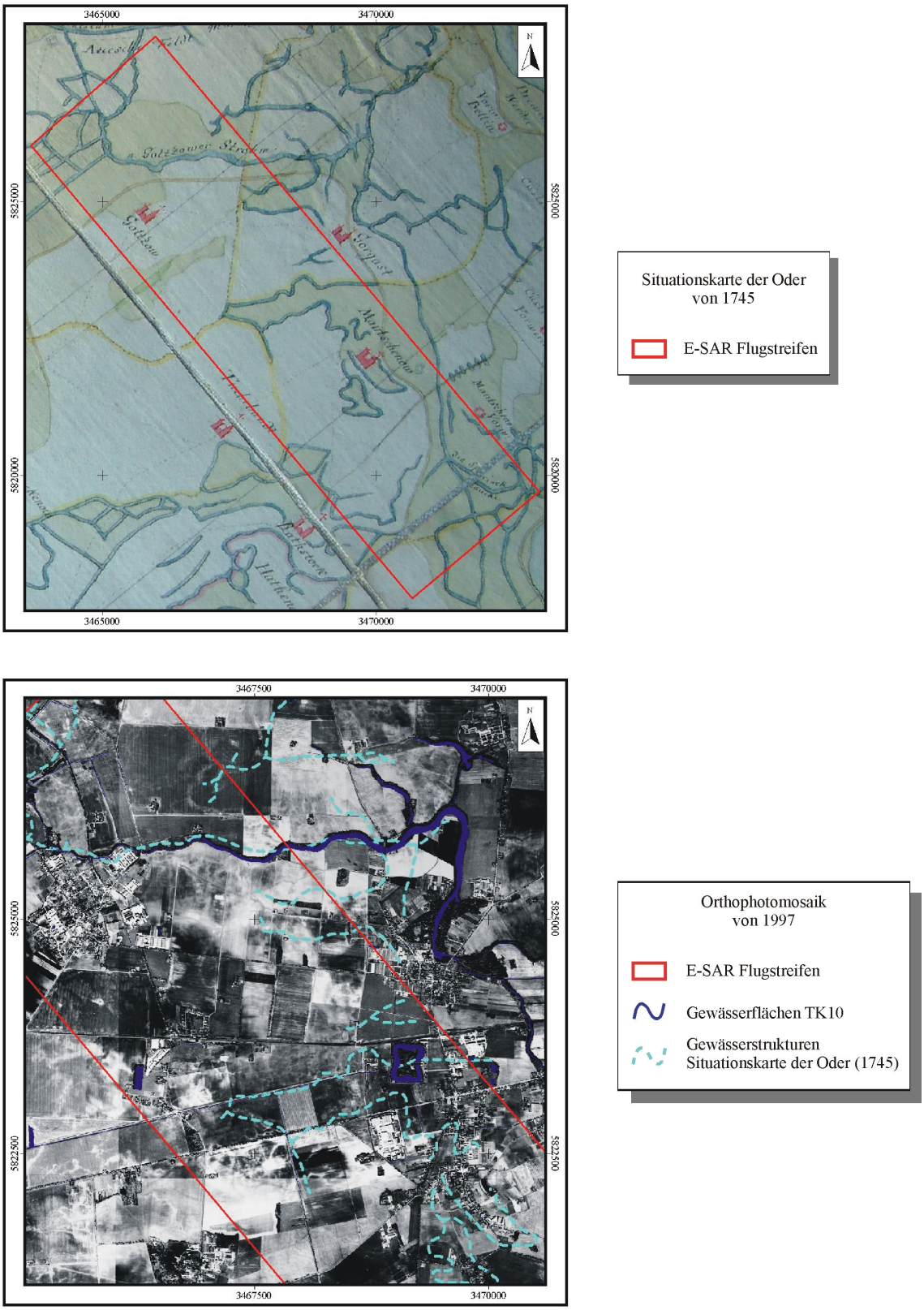

Abb. 6.21: **Ausschnitt der „Situationskarte der Oder“ von 1745 für das Untersuchungsgebiet. Ein Vergleich der Gewässerstrukturen von 1745 (hellblau) mit der aktuellen Gewässerstruktur aus der TK10 (blau) sowie dem panchromatischen Luftbild aus 1997 zeigt deutlich die Veränderung hinsichtlich Wasserflächen und Nebengewässeranbindungen im Untersuchungsgebiet.**

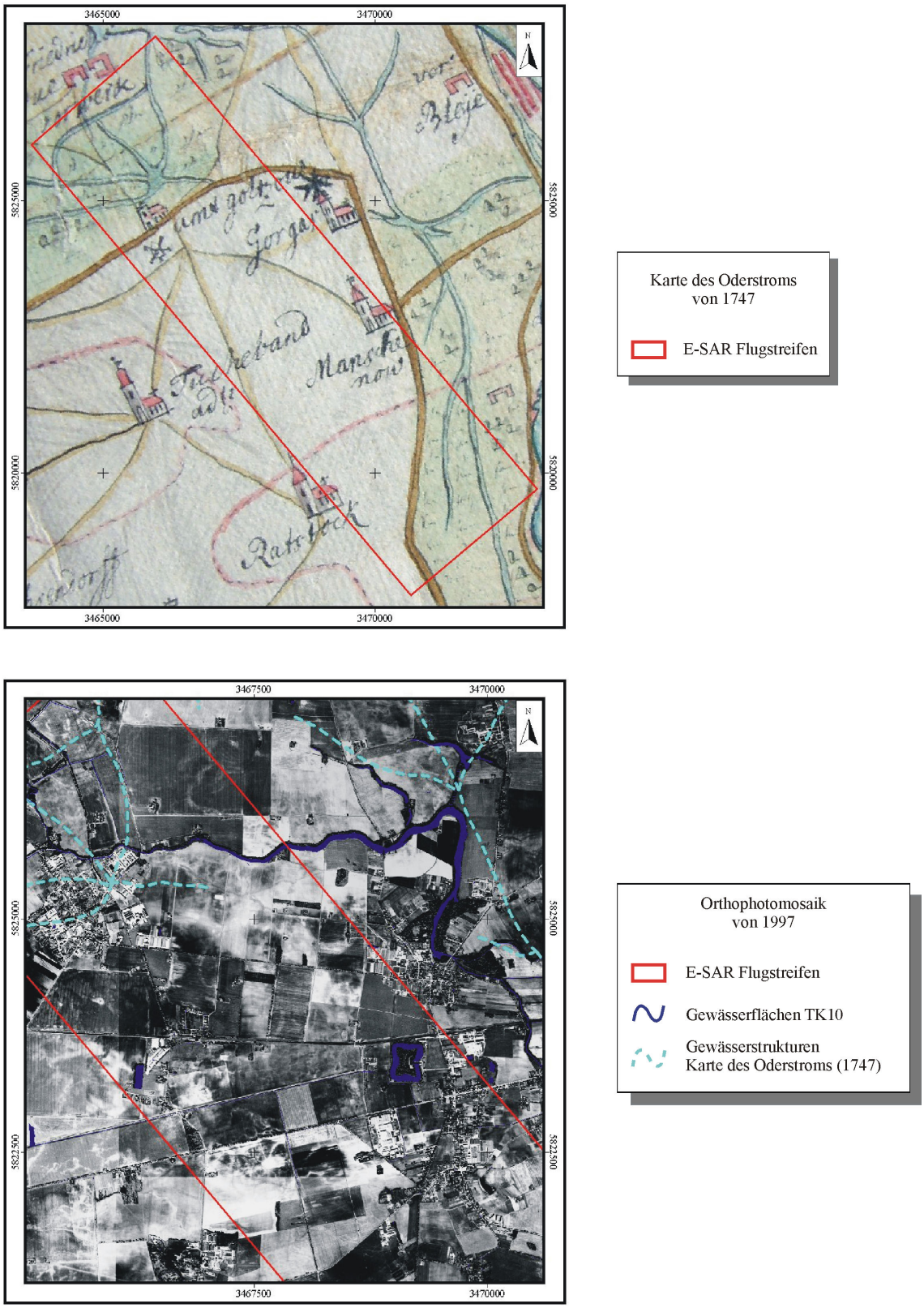

Abb. 6.22: **Ausschnitt der „Karte des Oderstroms“ von 1747 für das Untersuchungsgebiet. Ein Vergleich der verzeichneten Gewässerstrukturen von 1747 (hellblau) mit der aktuellen Gewässerstruktur aus der TK10 (blau) sowie dem panchromatischen Luftbild aus 1997 zeigt deutlich die Veränderung hinsichtlich Wasserflächen und Nebengewässeranbindungen im Untersuchungsgebiet.**

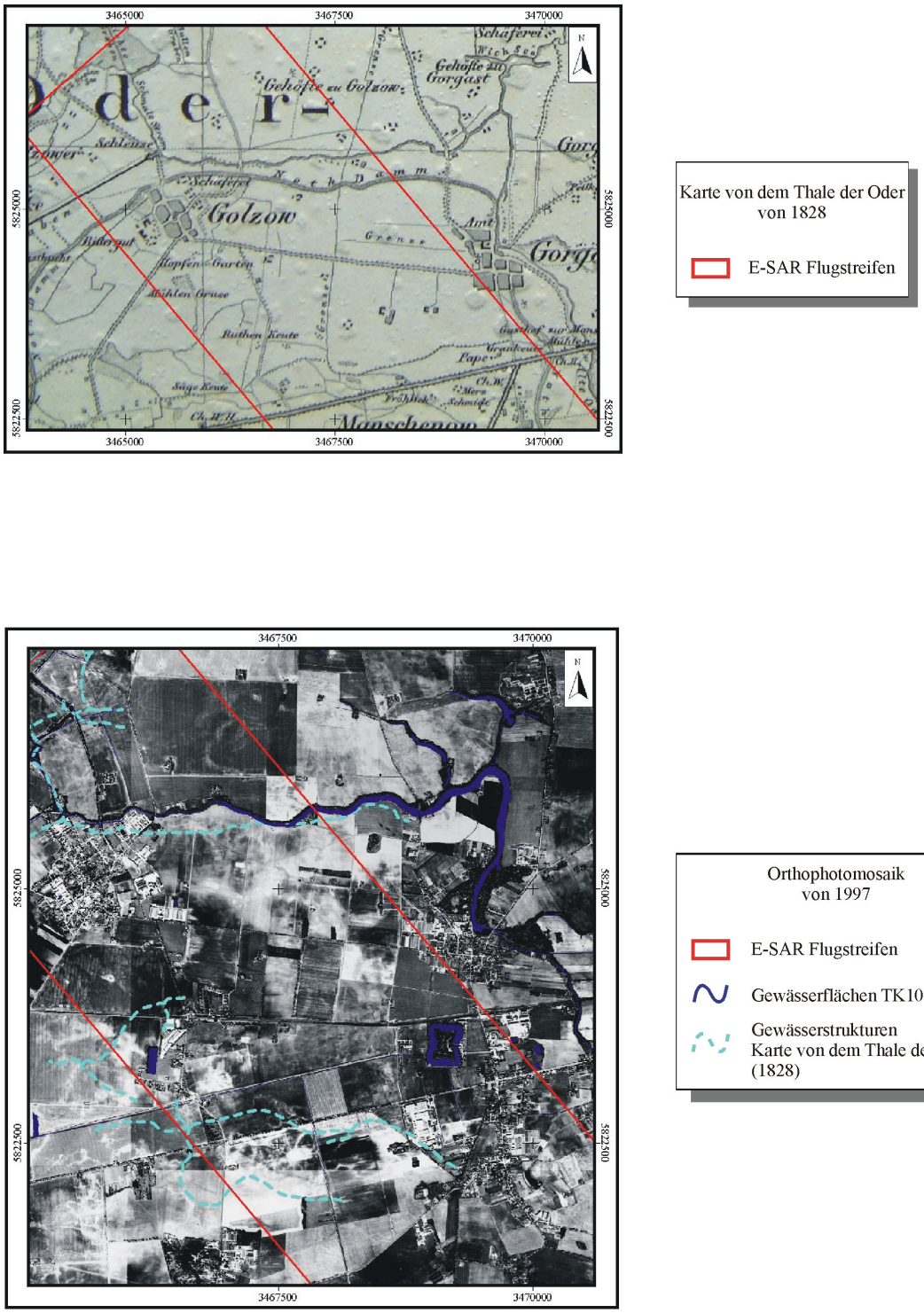

Abb. 6.23: **Ausschnitt der „Karte von dem Thale der Oder“ aus den Jahren 1828 und 1829 für das Untersuchungsgebiet. Ein Vergleich der verzeichneten Gewässerstrukturen aus diesen Jahren (hellblau) mit der aktuellen Gewässerstruktur aus der TK10 (blau) sowie dem panchromatischen Luftbild aus 1997 zeigt deutlich die Veränderung hinsichtlich Wasserflächen und Nebengewässeranbindungen im Untersuchungsgebiet.**

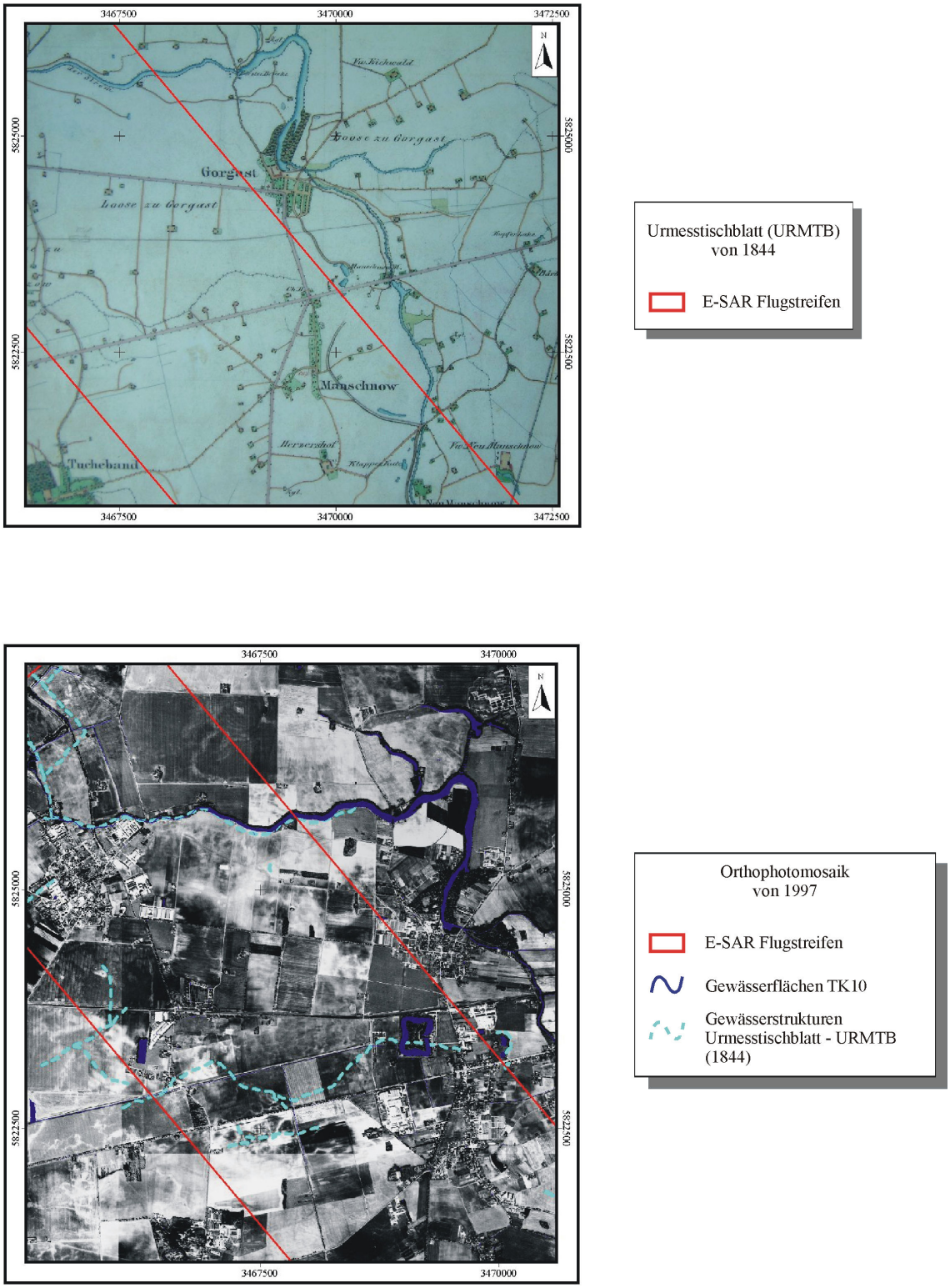

Abb. 6.24: **Ausschnitt des Urmesstischblatts (URMTB) aus dem Jahre 1844 für das Untersuchungsgebiet. Ein Vergleich der verzeichneten Gewässerstrukturen aus diesem Jahr (hellblau) mit der aktuellen Gewässerstruktur aus der TK10 (blau) sowie dem panchromatischen Luftbild aus 1997 zeigt deutlich die Veränderung hinsichtlich Wasserflächen und Nebengewässeranbindungen im Untersuchungsgebiet.**

Die Abb. 6.22 stellt die historische Situation des Untersuchungsgebietes im Jahre 1747 dar. In diesem Jahr begannen die abschließenden Bauarbeiten, um der Oder einen kürzeren Abfluss zu verschaffen sowie eine vollständige Eindeichung der westlichen Oderseite zu erreichen (Kap. 2.1.3). Im Vergleich zum Kartenmaterial von 1745 weist die „Carte des Oderstroms“ von 1747 wesentlich weniger Gewässerstrukturen für den Untersuchungsraum aus. Dieses Erscheinungsbild ist nicht auf die beginnende Trockenlegung des Oderbruchs zurückzuführen, sondern hat vielmehr ihre Ursache in dem eigentlichen Zweck der Kartenerstellung, der Darstellung des geplanten Verlaufs der Oder sowie der Ausweisung der 130.000 Morgen zusätzlichen Ackerlandes. Dennoch zeigt der Vergleich der verzeichneten Gewässerstrukturen mit dem panchromatischen Luftbildmosaik von 1997 z.T. noch heute existierende Gemeinsamkeiten mit den aktuellen Wasserflächen bzw. mit den typischen Bildtexturen, die ihren Ursprung in der zyklischen Ablagerung von Sedimenten in Verbindung mit ehemaligen mäandrierenden Flussläufen haben.

Analog zu den historischen Karten aus dem 18. Jahrhundert wurde die „Karte von dem Thale der Oder“ aus den Jahren 1828 und 1829 auf verzeichnete Gewässerstrukturen im Untersuchungsgebiet hin ausgewertet (Abb. 6.23). Dieses Kartenwerk stellt die historische Situation im Oderbruch nach den Eindeichungsarbeiten, die bis 1753 andauerten, dar. Bereits 1749 wurden das neu gewonnene Land durch die Eindeichung des Westufers der Oder an Kolonisten verteilt. Die Landwirtschaft entwickelte sich seit der Trockenlegung des Oderbruchs fortwährend (Kap. 2.3.1) und veränderte nachhaltig den Auencharakter des Bruchs. Die komplette Deichschüttung und damit Abtrennung von Stromoder und Alter Oder bei Güstebiese erfolgte erst 1832. Ein Vergleich der verzeichneten Gewässerstrukturen mit dem panchromatischen Luftbildmosaik und den Gewässerflächen der TK10 zeigt deutlich die Veränderung hinsichtlich Wasserflächen und Nebengewässeranbindungen im Untersuchungsgebiet. Auch hier wird die allgemeine Tendenz der Verarmung und Vereinheitlichung der Gewässerstrukturen deutlich. Z.T. sind Gemeinsamkeiten der verzeichneten, aber heute nicht mehr vorhandenen Gewässerstrukturen mit den typischen Texturen und Grautönen im panchromatischen Luftbildmosaik festzustellen, welche auf die wechselnde Ablagerung von Mudden/Torfen und sandigen Böden zurückzuführen sind.

Die Auswertung der Urmesstischblätter von 1843 und 1844 (Abb. 6.24) weist das fortgeschrittene Stadium der Urbarmachung des Oderbruchs nach den Eindeichungsmaßnahmen der Oder aus. Anhand eines Vergleichs mit dem panchromatischen Luftbildmosaik aus dem Jahre 1997 wird deutlich, dass die Grundzüge der heutigen Infrastruktur im Untersuchungsgebiet bereits um 1843/44 vorhanden waren. Das Hauptwegenetz sowie Entwässerungsgräben wurden in der Mitte des 19. Jahrhundert angelegt und prägen noch heute das Untersuchungsgebiet. Die in den Urmesstischblättern verzeichneten Gewässerstrukturen entsprechen in etwa dem aktuellen Erscheinungsbild des Oderbruchs. Vereinzelte Gewässerstrukturen aus den Urmesstischblättern, die heute nicht mehr existent sind, besonders im zentralen Untersuchungsgebiet, sind z.T. in den typischen Bildmerkmalen im panchromatischen Luftbildmosaik, die auf den Verlauf von Gewässerstrukturen hindeuten, wieder zu finden.

Eine Gegenüberstellung der aus dem historischen Kartenmaterial gewonnenen Ergebnisse mit der Reichsbodenschätzung des Landes Brandenburg belegt, dass die Rekonstruktion von ehemaligen Flussläufen im Untersuchungsgebiet nicht auf Grundlage der Reichsbodenschätzung erfolgen kann. Die Reichsbodenschätzung für den zentralen Untersuchungsraum, überlagert von der TK10 und den Gewässerstrukturen aus dem historischen Kartenmaterial ist in Abb. 5.25 dargestellt. Ablagerungen, die auf den Verlauf dieser Gewässerstrukturen zurückzuführen sind und sich in den Fernerkundungsdaten lokalisieren lassen (Kap. 6.3), werden nicht in der Reichsbodenschätzung wiedergegeben.

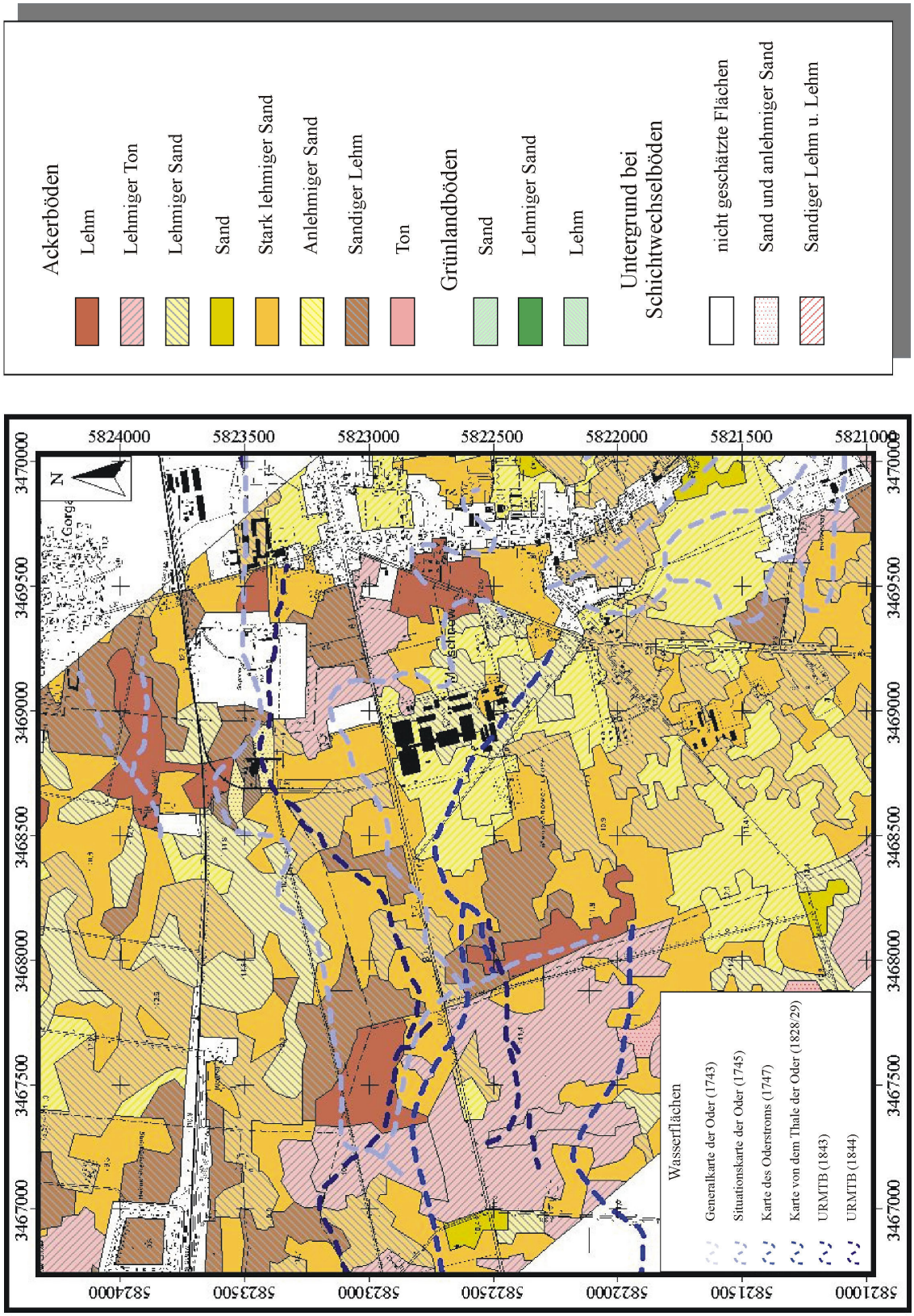

Abb. 6.25: **Ausschnitt der Reichbodenschätzung für den zentralen Untersuchungsraum westlich des Fort Gorgast, überlagert von der TK10 und den Gewässerstrukturen der historischen Karten (blau gestrichelt).**