

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	12 (2005), 1/2	S. 13-24	11Abb., 16 Lit.
------------------------------	--------------	----------------	----------	-----------------

Holozäne Sedimentstrukturen im Oderbruch und ihre Erkennbarkeit in flugzeuggestützten Radaraufnahmen

Holocene sediment structures in the Oderbruch and their recognition in aircraft based radar images

NORBERT SCHLAAK

1. Anlass und Untersuchungsansatz

Die weite Verbreitung oberflächennaher fluvialer Sedimentstrukturen im Oderbruch ist vor allem seit Nutzung von konventionellem Luftbildmaterial, u. a. für bodenrelevante Fragestellungen (MÜLLER et al. 2004) bekannt. Durch die Flutergebnisse an der Oder 1997 und der Elbe 2001 sind Fernerkundungsmethoden bei geowissenschaftlichen Untersuchungen des Deichumfelds wieder verstärkt in das Blickfeld der Forschung gerückt. So fiel die Idee und Planung des BMBF-Pilotprojektes „SediSAR“ („Sedimentbezogene Erkundung des Deichuntergrunds zur integrativen Stabilitätsanalyse durch Angewandte Geologie & Remote Sensing mit SAR“, FKZ 50 EE 038) ebenfalls in diesen Zeitraum. Zu den Vorarbeiten, die auch zu dem Projektansatz im Oderraum führten, gehört die im Oktober 1997 in Potsdam durchgeführte Tagung „Ingenieurgeologische Beiträge zur Stabilität von Flussdeichen“. Deren Ergebnisse wurden in einem Tagungsband zusammengefasst und sind in gleicher Schriftenreihe als Heft 5, 1998 erschienen. Unter anderem wurde bereits hier auf die Möglichkeit der Nutzung von Fernerkundungsdaten zur Deichzustandseinschätzung eingegangen (KÜHN & BROSE 1998).

Hauptziel des Projekts SediSAR (Laufzeit 2000-2004) bestand in der Erarbeitung von methodischen Grundlagen zur Erweiterung des Einsatzes von Fernerkundungsdaten, hier im Speziellen von synthetischen Radardaten. Es sollte geklärt werden, inwieweit Radardaten als nahezu wetterunabhängige und kostengünstige Informationsquelle zur Deutung von geologischen Strukturen und Sedimenten für Vorerkundungen verwendbar sind oder sich sogar bei der Vorabschätzung der Stabilität des Baugrunds vorhandener oder zu errichtender Deichbauten in geotechnischen Risikogebieten einsetzen lassen.

Untersuchungsansatz war der sich aus der Dynamik des Abflussgeschehens ergebende heterogene Aufbau der holozänen Flusslandschaft des Oderbruchs. Bedingt durch klimagesteuerte Laufverlegungen und schwankende Grundwasserstände kam es im weiten Niederungsgebiet der Oder zur Ablagerung von Sand, Kies, Auenlehm, Mudde und Torf, deren räumliche Verbreitung außerordentlich stark variiert.

Abgesehen vom aktuellen Neubau ganzer Deichabschnitte, ist ein großer Teil der gegenwärtigen Hochwasserschutzan-

lagen das Produkt der Bautätigkeit mehrerer Jahrhunderte und somit von einem inhomogenen Deichuntergrund und Deichaufbau auszugehen. Bei der Auswertung der Deichschadensbilder des letzten Oderhochwassers zeigte sich, dass Mudde und Torf als Sedimente verlandeter Oderaltarme im Untergrund errichteter Deiche eine erhöhte Grundbruchgefahr sowie eine Anfälligkeit gegenüber seitlichem Druck darstellen. Sandige Untergründe führten dagegen bei hohen Drücken unter Umständen auch zu Deichunterspülungen. Aus heutiger Sicht sind daher sowohl bei der Überwachung des Umfelds bestehender Deichbauten als auch bei der Planung von Neubauten neue und effiziente Methoden zur Erkundung des geologischen Untergrunds erforderlich.

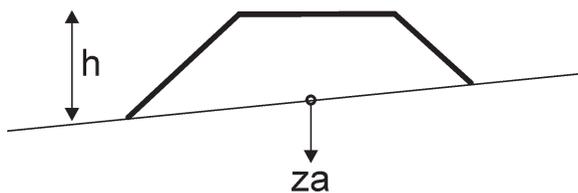
2. Projektpartner und technisch-praktischer Rahmen

Das Projekt SediSAR war als eine Kombination aus Fernerkundung und geologischer Untersuchung angelegt. Dabei lieferte das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme (Oberpfaffenhofen), als Auftragnehmer Radardaten aus vier Überfliegungen von einem von den Projektpartnern festgelegten Gebiet des Oderbruchs. Bei dem verwendeten flugzeuggetragenen Experimentellen Synthetic Aperture Radar (E-SAR, Trägerplattform DO-228, Flughöhe 3 000 m) handelt es sich um ein multifrequentes System mit Aufzeichnungsmöglichkeiten im P-, L-, C- und X-Band, wobei das System im L-Band die Möglichkeit hat, multipolarisierte Daten aufzuzeichnen. In den übrigen Bändern ist eine Wahl zwischen einer horizontal- und vertikalpolarisierten Send- und Empfangsmöglichkeit gegeben.

Die EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH (Münster) war der Projektpartner des damaligen Landesamts für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, LGRB, Kleinmachnow. Ein Expertenteam des Unternehmens, welches u. a. auf die Erstellung und Beschaffung fernerkundlicher Bildmedien über Basisleistungen der Georeferenzierung und Orthophotoberechnungen bis hin zu komplexen thematischen Auswerteleistungen spezialisiert ist, übernahm die Auswertung des durch das DLR aufgezeichneten Datenmaterials. Ein schneller Datenaustausch mit dem LGRB ermöglichte nach Auswertung der ersten Radarbefliegung ein flexibles Arbeiten.

Aufgrund der Erfahrungen auf dem Gebiet der präventiven und akuten Bewertung des Untergrunds von Flussdeichen an Oder, Neiße, Spree und Elbe und der Regionalkenntnisse zur Flussgeschichte der Oder war das LGRB für die geologischen Erkundungsarbeiten im Rahmen des Projekts SediSAR prädestiniert und zuständig. Damit bestand die Aufgabe einer Projektgruppe am Landesamt (Dr. N. Schlaak und Dipl.-Ing. J. Kahl, Leitung: Dr. habil. F. Brose, ab 5/2002 Dr. H. U. Thieke) mittels geeigneter Aufschlussverfahren im Gelände, die neu erlangten Fernerkundungsdaten mit geologischen Daten zu unterlegen, das heißt, die stratigraphischen Verhältnisse an ausgewählten Bohrtrassen im Testareal zwischen Reitweiner Sporn und Kienitzer Loose zu erfassen und zu bewerten.

Aus den Festlegungen der geltenden Baugrundvorschriften bezüglich Aufschlusstiefe und Aussagefähigkeit zur Eignung des Baugrunds für Deichbauten, ergab sich die Forderung nach einer möglichst detaillierten Erfassung der Stratigraphie bis zu einer Teufe von 6 m (Abb. 1).



$$0,8 \times h < z_a < 1,2 \times h \text{ und } z_a \geq 6\text{m}$$

Abb. 1
Erkundung des Untergrunds von Erdbauwerken nach DIN 4020

Fig. 1
Instruction DIN 4020 for the depth of research in the run-up to build dykes

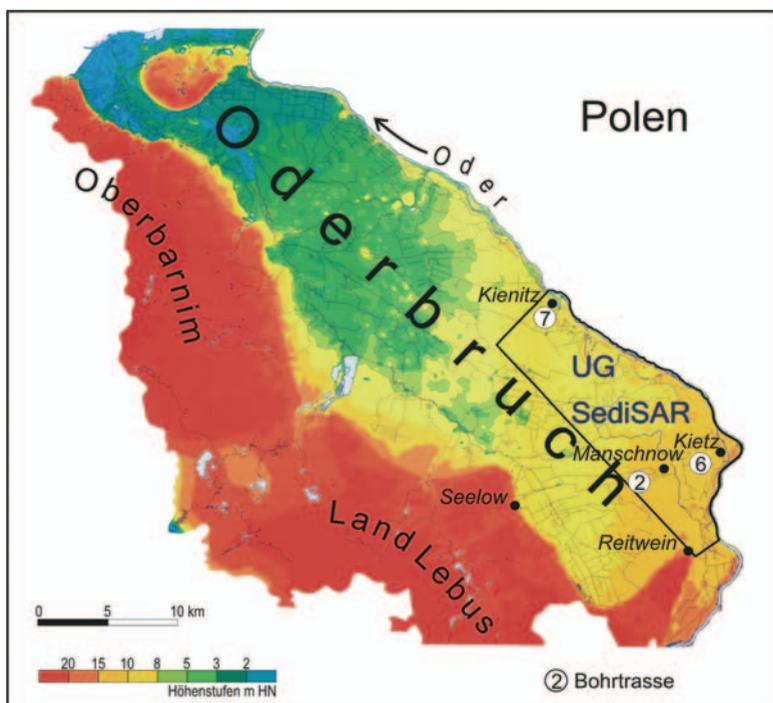


Abb. 2 Testgebiet
Fig. 2 Test area

Nach DIN 4020 gehören Deiche in die geotechnische Kategorie 3, die besonders schwierigen Baugrundverhältnissen mit geologisch jungen, wechselhaften Ablagerungen Rechnung trägt. Darüber hinaus sind die Abstände direkter Aufschlüsse (Bohrungen) bei Deichen mit 50 bis 200 m vorgegeben.

3. Von der Radardatenaufzeichnung zum Bohrpunkt

Die vier geplanten Überfliegungen fanden 2001 und 2002 jeweils im April und August statt. Extrem ungünstige Wetterverhältnisse (Schneefall/Regen) führten 2001 und 2002 zu Terminverschiebungen. Es wurden bei jeder Befliegung Radardaten von einem ca. 150 km² großen Testgebiet in drei sich überlappenden Flugstreifen (NW-SE) zwischen Kienitzer Loose und Reitweiner Sporn aufgezeichnet (Abb. 2), bei guten Wetterbedingungen wurden zusätzlich RMK (Reihenmesskammer)-Aufnahmen angefertigt. Nach Sichtung des umfangreichen konventionellen Luftbildmaterials (Schwarz-Weiß, Echtfarben, CoIor-Infrarot) und einer Vorauswahl im Gelände (LGRB) wurden die gespeicherten Rohdaten zunächst gezielt aufbereitet und ausgewertet (EFTAS, MÜLLENHOFF 2004). Nach der Verschneidung sämtlicher Daten wurden die für den Projektansatz aussichtsreichen Testflächen eingegrenzt und Bohrtrassen für die terrestrische Überprüfung geplant (LGRB). Die GIS-basierte Arbeit ermöglichte dabei eine genaue Festlegung der Bohrpunkte, die Auffindung der Bohransatzstellen im Gelände anschließend metergenau mittels GPS (GEOMeter 12plus).

4. Bohrarbeiten unter erschwerten Bedingungen

Die Termine der Geländearbeiten wurden mit den Bewirtschaftern der landwirtschaftlichen Nutzflächen abgestimmt, um den Schaden an den Kulturen so gering wie möglich zu halten. Trotz der allgemein geringen Niederschlagsmengen im Niederungsgebiet des Oderbruchs, waren manche Abschnitte des Untersuchungsgebiets aufgrund der hohen Bodenfeuchte und des geringen Grundwasserflurabstands über mehrere Monate nicht betret- bzw. befahrbar (Abb. 3). Hier konnten die Bohrungen erst in den Wintermonaten bei anhaltendem Bodenfrost niedergebracht werden.



Abb. 3
Vernässte Testfläche bei Manschnow (Trasse 2-2)
März 2003

Fig. 3
Wet test area near Manschnow (section 2-2), march 2003



Abb. 3a
Testfläche 6 bei Neumanschnow, Winter 2002/2003

Fig. 3a
Test area 6 near Neumanschnow, winter 2002/2003

Der hohen Kampfmittelbelastung des gesamten SediSAR-Untersuchungsgebiets – es handelt sich hier um einen schwer umkämpften Raum des 2. Weltkriegs – kam während der Arbeiten im Gelände eine besondere Bedeutung zu. Alle geplanten Bohrpunkte lagen auf potenziellen Kampfmittel-

verdachtsflächen und bedurften der Freigabe durch den Staatlichen Munitionsbergungsdienst (StMBD), der eine zeitintensive Freisuche und Kampfmittelsicherung vorausging. Es wurden zahlreiche Munitionsteile sowie nicht detonierte Munition aus einer Tiefe zwischen 0,1 bis 1,0 m unter Flur vom StMBD geborgen und abtransportiert. In einigen Abschnitten behinderten bodengenetisch bedingte Eisenoxidausfällungen die Freisuche mit dem Eisendetektor stark. Luftbildmaterial aus dem Kriegsjahr 1945 mit indirekten Hinweisen auf Kampfmitteldichte bzw. -belastung konnte aufgrund geringer Qualität und unzureichender flächenhafter Abdeckung nur in geringem Umfang für eine Vorauswahl der Bohrtrassen genutzt werden.



Abb. 4
Fuß- und Kopfteil des Schutzrohrsystems mit geschlossener Rammkernsonde (oben) und gewonnener Bohrkern, geschnitten (Trasse 6, Bohrung 6)

Fig. 4
Drilling tackle (drilling and protective tube) and cutted drilling core (cross section 6, bore hole 6)

4.1 Kerngewinnung und Dokumentation

Um das effektivste Aufschlussverfahren zur schichtgetreuen Erfassung der Auensedimente zu finden, wurden vor allem in der Anfangsphase des Projekts mehrere Bohrverfahren getestet, denn Auensedimente gelten gemeinhin mit leichtem Gerät als schwer teufengenaubohrbar. Gründe dafür sind der beinahe regelmäßig ständige Substratwechsel zwischen Lehm, Sand, Kies, Torf und Mudde und der für das Oderbruch grundsätzlich geringe Grundwasserflurabstand. Handbohrverfahren, z. B. mit dem EDELMANN-Bohrer (Ø 70 bzw. 100 mm), eigneten sich lediglich im Bereich bis zur Oberkante des Grundwassers (im Untersuchungszeitraum ca. 1,0-1,5 m unter Flur). Wurden in dieser Teufe bereits reine limnische und telmatistische Bildungen (Mudden und Torfe) erreicht, konnten in Verbindung mit einer Klappsonde (500 mm-Kammer) auch Sedimente aus grös-

ren Tiefen schichtgetreu gewonnen werden. Derartige Konstellationen wurden jedoch äußerst selten angetroffen. Akzeptable Ergebnisse wurden schließlich mit dem leichten Hydraulikbohr- und Ziehgerät der Firma DUNKEL (München) in Verbindung mit einer geschlossenen Rammkernsonde (\varnothing 53 mm, Länge 1 m) mit PE-Liner (\varnothing 40 mm) und Kernfangring in Kombination mit einer 80 mm Schutzverrohrung erzielt, wobei die Funktionsfähigkeit der Schutzverrohrung mit Hilfe von Dipl.-Ing. Hans Joachim Bonitz (Eberswalde) und der Maschinenbaufirma PRÄZIMA GmbH (Berlin) schrittweise entwickelt wurde (Abb. 4).

Das Verrohrungssystem erfuhr im Verlauf der Arbeiten erhebliche konstruktive Änderungen, wodurch eine wichtige Voraussetzung zur erfolgreichen Bergung nahezu ungestörter Bohrkerne von bis zu 6 m Länge erfüllt wurde. Den Spezialisten und Technikern sei an dieser Stelle für ihre Unterstützung nochmals herzlich gedankt.

Die Kunststoffliner wurden entsprechend des Bohrfortschritts beschriftet, verpackt und am Ende der jeweiligen Geländekampagne tiefgefroren. Das Trennen der Bohrkerne, die fotografische Dokumentation, die Sedimentansprache und die Probenentnahme erfolgte unter einheitlichen Laborbedingungen im LGRB in Kleinmachnow.

5 Auswahl und Bewertung des Datenmaterials

5.1 Konventionelle Fernerkundungsdaten (Luftbilder)

Folgende Fernerkundungsdaten standen für das Arbeitsgebiet zur Verfügung:

CIR-Aufnahme 1991

Echtfarbenaufnahme 1997

SW-Luftaufnahme 1997/98

SW-Luftaufnahme 2001

RMK-Aufnahme 08/2001 oder 08/2002 (nicht vollständig vorhanden, da Bewölkung)

Die CIR-, Echtfarben-, und SW-Aufnahmen wurden vom LGB (Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg) zur Verfügung gestellt (Nutzung mit Genehmigung Nr. GB-G IV-2001). Die RMK-Aufnahmen lieferte das DLR, Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme (Oberpfaffenhofen).

Konventionelle Luftbilder eignen sich aufgrund erkennbarer Bodenfeuchteunterschiede und dem differierenden Reflexionsvermögen zur Oberflächenkartierung unterschiedlicher Sedimente, die hier aus Zweckmäßigkeitsgründen zu Gruppen wie Sand/Kies, Auenlehm, Mudde/Torf zusammengefasst wurden. Voraussetzung sind jedoch vegetationsfreie bzw. vegetationsarme Flächen. Während der Vegetationsperiode lassen Wachstumsunterschiede (Farbvariationen) häufig Rückschlüsse auf Substrateigenschaften unter bestimmten Ackerbaukulturen zu. Der geologisch relevante Informationsgehalt wird damit maßgeblich vom Zeitpunkt der Aufnahme bestimmt. Die Auswertung verschiedener konventioneller Luftbilder ergab für einige Abschnitte des Oderbruchs ein teilweise sehr deutlich erkennbares System fluvi-aler Strukturen. In diesen Bereichen dominieren sandige Sub-

strate, was sich auf das Pflanzenwachstum unmittelbar negativ auswirkt. Schlussfolgerungen zur Mächtigkeit der Sedimente in dem erkannten Verteilungsmuster sind jedoch aufgrund unzureichender Feldbefunde und Erfahrungen nicht bekannt und damit auch nicht unmittelbar ableitbar.

5.2 Radardaten SediSAR

Die Grundlage der folgenden Auswertungen bildeten die Radaraufnahmen 04/2001, 08/2001, 04/2002 und 08/2002.

Da das langwellige L-Band die brauchbarsten Daten zu bodenrelevanten Eigenschaften lieferte, handelt es sich bei den dargestellten Radardaten um E-SAR Falschfarbenkomposite (L_{VV} , L_{HH} , L_{HV}). Leider konnten die ebenfalls während der Überfliegungen aufgezeichneten P-Band-Daten aufgrund starker Störungen nicht mit in die Auswertung einbezogen werden.

5.3 Niederschläge/Grundwasserflurabstände

Die Niederschlagswerte des Deutschen Wetterdienstes der Station Manschnow sowie die Daten von Messstationen landwirtschaftlicher Betriebe im Untersuchungsgebiet (Landwirtschaft Golzow Betriebs GmbH) wurden zur Auswertung der Ergebnisse herangezogen, ebenso die vom Landesumweltamt Brandenburg zur Verfügung gestellten Grundwasserflurabstände des Oderbruchmessnetzes. Die temporären Grundwasserflurabstände an den Bohrpunkten wurden während der Bohrkampagnen erfasst und sind in der Regel in den Bohrprofilen vermerkt.

5.4 Bodenfeuchte

Um im Labor einen repräsentativen Überblick zur aktuellen oberflächennahen Bodenfeuchte zu erhalten, wurden zeitgleich mit den ersten beiden Befliegungen Bodenproben aus einer Tiefe von 0-4 cm und 4-8 cm unter Flur bis zu 700 Proben von 11 Testflächen gewonnen und im Labor analysiert. Die Aussagekraft der ermittelten Werte in Bezug auf Korrelierbarkeit und Qualität der Radardaten wurde insgesamt jedoch als gering eingeschätzt, was sich auf die Beprobungsroutinen während der weiteren Projektdurchführung auswirkte. Das Fehlen deutlicher Zusammenhänge wird mit der Homogenisierung der oberen Bodenschicht (Ap-Horizont) erklärt, die durch intensive landwirtschaftliche Bodenbearbeitung in kurzer Folge durchgeführt wurde. Neben der Störung des Bodengefüges, die mit jeder Bodenbearbeitung einhergeht, kommt es beim Pflügen und Eggen zu einer lateralen Verschleppung des Bodenmaterials, was häufig an einem deutlichen Substratwechsel an der Untergrenze des Ap erkennbar ist.

6. Bohrergebnisse

Die Auswertung der Bohrdaten und die Ableitung von Schlussfolgerungen im Zusammenhang mit den bereitgestellten Radardaten beziehen sich auf 6 Bohrtrassen mit 52 Bohrungen, wobei die Befunde von vier Trassen (Manschnow

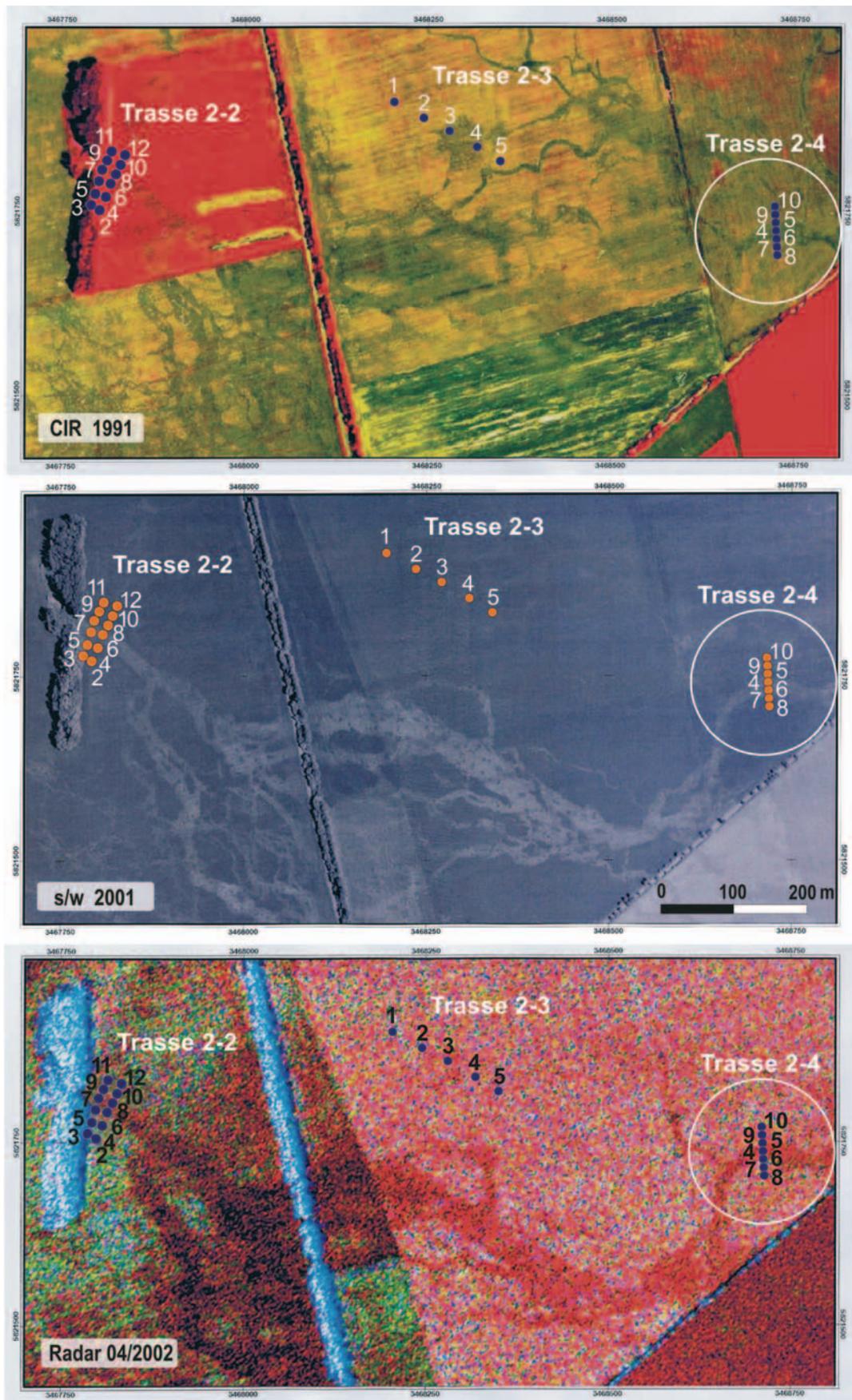


Abb. 5
Flussstrukturen in Luftbildern im Testgebiet 2 (Falschfarben-, Schwarz-Weiß - und Radaraufnahme) und Lage der Trassen
Fig. 5
Meander structures on air photographs of test area 2 (colored infrared, black-white and radar) with position of cross sections

2-4, Kietz 6, Kienitz 7-1 und 7-2) im Folgenden erläutert werden (Lage siehe Abb. 2, SCHLAAK & KAHL 2004). Die Genauigkeit der erfassten stratigraphischen Verhältnisse der im Mittel 5-6 m tiefen Bohrungen liegt aufgrund der eingesetzten Bohrtechnik im dm-Bereich. Alle beschriebenen Trassen wurden so angelegt, dass im Radarbild sichtbare fluviale Strukturen gleichmäßig geschnitten wurden, also die Bohransatzpunkte sowohl innerhalb als auch außerhalb der Strukturen lagen, um Zusammenhänge zwischen Stratigraphie und Radarbild herstellen zu können. Dabei wurde versucht, auch die diffusen Übergänge (Randbereiche) der Strukturen zu erfassen. Die vor allem in der Anfangsphase während der Bohrgerättauglichkeitstests abgeteufte zahlreichen Bohrungen geringerer Tiefe sowie Einzelbohrungen wurden in die Auswertung nicht mit einbezogen. Die geringen Höhenunterschiede der Bohransatzpunkte innerhalb der Trassen-

verläufe wurden durch Nivellements erfasst und bei der graphischen Darstellung berücksichtigt.

Bei den in den Profilschnitten angegebenen Kernverlusten handelt es sich in der Mehrzahl um bohrtechnisch bedingte Stauchungen innerhalb des laufenden Bohrmeters (sedimentabhängige Verdichtungen durch Vibration beim Abteufen). Diese wurden hauptsächlich in Abschnitten mit Fein- und Mittelsanden festgestellt.

Die Befunde werden im Folgenden an vier ausgewählten Bohrtrassen erläutert.

6.1 Manschnow 2-4

Mit der aus 7 Bohrungen bestehenden 58 m langen Trasse wurde eine ca. 20 m breite Struktur geschnitten, die sich morphologisch nur wenige Dezimeter über das umliegende Gelände erhebt. Analog zu den stratigraphischen Befunden der nahen Bohrtrasse Manschnow 2-2 liegen im Bereich der morphologisch aufragenden Struktur vor allem Sande und kiesige Sande, die in Bohrung 5 eine maximale Mächtigkeit von 4 m erreichen. Obwohl außerhalb der klar abgegrenzten Struktur nur in Bohrung 7 Schluffe und Tone an der Oberfläche angetroffen wurden, werden im Bereich der Bohrungen 8, 9 und 10, trotz einer Sandauflage von 0,3 bis 0,9 m, hohe Reflektionen angezeigt, die in Bohrung 8 und 10 somit auf eine Eindringtiefe der Radarsignale von mindestens 0,5 m hinweisen. Die Abbildungsqualität der fluvialen Strukturen im Radarbild ist bei den Überfliegungen 08/2001 und 04/2002 im Gebiet der Testfläche Manschnow 2 am höchsten, wogegen die Strukturen 08/2002 nur undeutlich, bzw. 04/2001 nicht abgebildet wurden. Hier wird der direkte Zusammenhang zur Niederschlagsmenge vor dem jeweiligen Überfliegungszeitpunkt deutlich. Für den Zeitraum von einer Woche vor der jeweiligen Überfliegung wurden von der nahe gelegenen Klimastation Manschnow folgende Niederschlagssummen registriert:

über das umliegende Gelände erhebt. Analog zu den stratigraphischen Befunden der nahen Bohrtrasse Manschnow 2-2 liegen im Bereich der morphologisch aufragenden Struktur vor allem Sande und kiesige Sande, die in Bohrung 5 eine maximale Mächtigkeit von 4 m erreichen. Obwohl außerhalb der klar abgegrenzten Struktur nur in Bohrung 7 Schluffe und Tone an der Oberfläche angetroffen wurden, werden im Bereich der Bohrungen 8, 9 und 10, trotz einer Sandauflage von 0,3 bis 0,9 m, hohe Reflektionen angezeigt, die in Bohrung 8 und 10 somit auf eine Eindringtiefe der Radarsignale von mindestens 0,5 m hinweisen. Die Abbildungsqualität der fluvialen Strukturen im Radarbild ist bei den Überfliegungen 08/2001 und 04/2002 im Gebiet der Testfläche Manschnow 2 am höchsten, wogegen die Strukturen 08/2002 nur undeutlich, bzw. 04/2001 nicht abgebildet wurden. Hier wird der direkte Zusammenhang zur Niederschlagsmenge vor dem jeweiligen Überfliegungszeitpunkt deutlich. Für den Zeitraum von einer Woche vor der jeweiligen Überfliegung wurden von der nahe gelegenen Klimastation Manschnow folgende Niederschlagssummen registriert:

04/2001	11,8 mm
08/2001	1,9 mm
04/2002	0,0 mm
08/2002	7,9 mm

Hinweise auf die in den Bohrungen 10, 9, 6 und 8 ab 1,8 m u. Fl. befindlichen Tonmudden können aus den

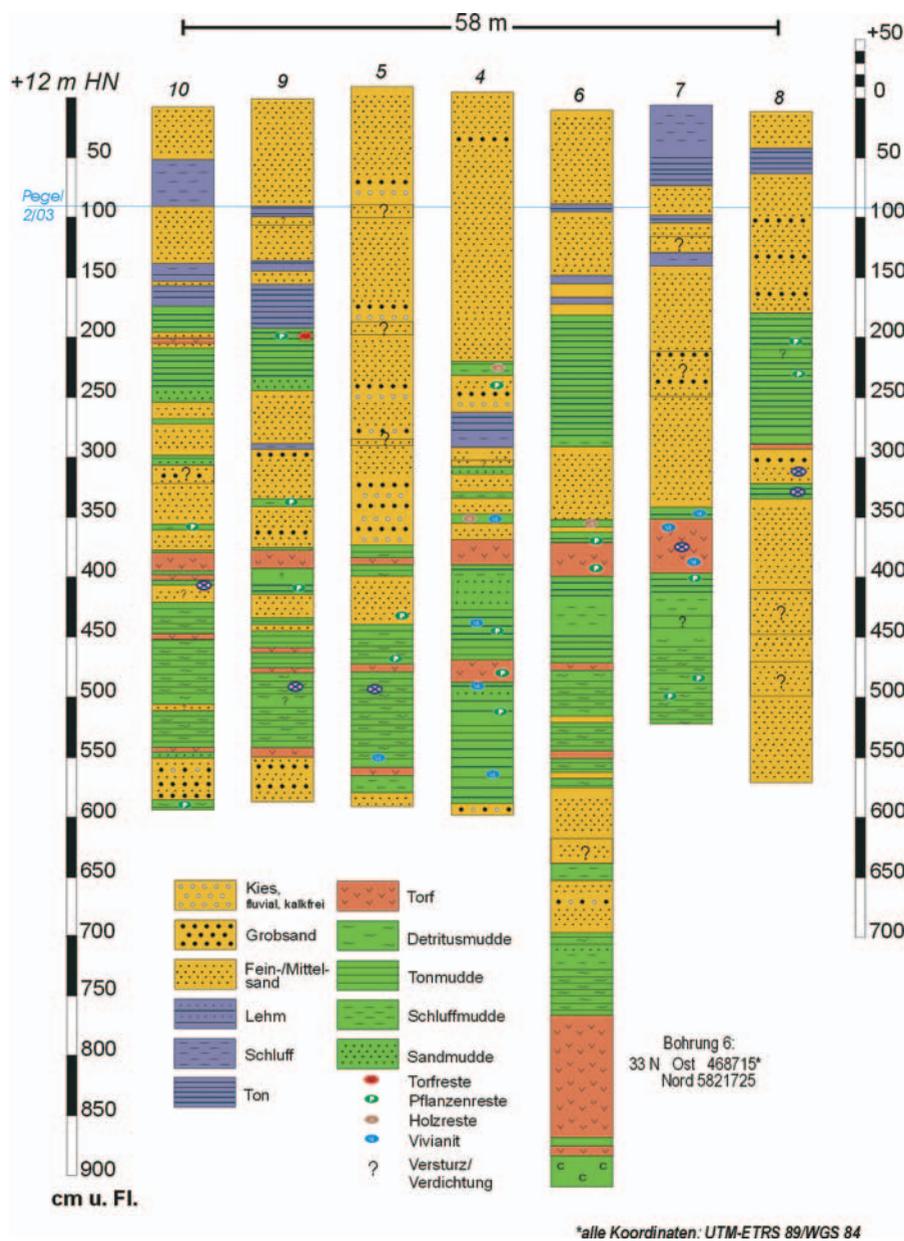


Abb. 6 Lithologie der Bohrtrasse 2-4
Fig. 6 Lithology of cross-section 2-4

Radardaten nicht abgeleitet werden. Ebenso wenig die bis auf Bohrung 8 in allen Bohrungen nachgewiesene 2 m mächtige Verlandungsfolge aus Mudden und Torfen ab 3,8 m u. Fl. Eine weitere 2 m mächtige Verlandungsfolge erreichte die tiefste Bohrung dieser Trasse (Bohrung 6) zwischen 7 und 9 m u. Fl. Datierungen an den organogenen Sedimenten wurden an dieser Bohrtrasse nicht vorgenommen, Parallelen zu den Befunden aus zwei nahe gelegenen Bohrungen SW der Ortslage Manschnow sind jedoch wahrscheinlich (SCHLAAK et al. 2003). Bei der ersten Bohrung (UTM-ETRS 89/WGS 84: 33N 469099 Ost; 5821408 Nord) ergab die ¹⁴C-Datierung an einer Torflage aus 8 m unter Flur = 3 m HN ein

Alter von $9\,890 \pm 65$ Jahre v.h. (9 240 - 9 040 BC, Hv 24498). Der pollenanalytischen Einstufung zufolge handelt es sich hier um einen präborealen Torf, der während des Subboreals verlagert wurde. Die zwei Proben aus der zweiten Bohrung (UTM-ETRS 89/WGS 84: 33N 469104 Ost; 5821471 Nord) aus 2,9 m und 1,6 m unter Flur erbrachten ¹⁴C-Alter von $3\,040 \pm 90$ Jahre v. h. (1 405 - 1 125 BC, Hv 24497) und $2\,365 \pm 65$ Jahre v. h. (480 - 380 BC, Hv 24496).

6.2 Kietz 6

Die Bohrtrasse SW von Kietz wurde so gelegt, dass eine ca. 50 m breite Struktur eines alten Flusslaufs geschnitten wur-

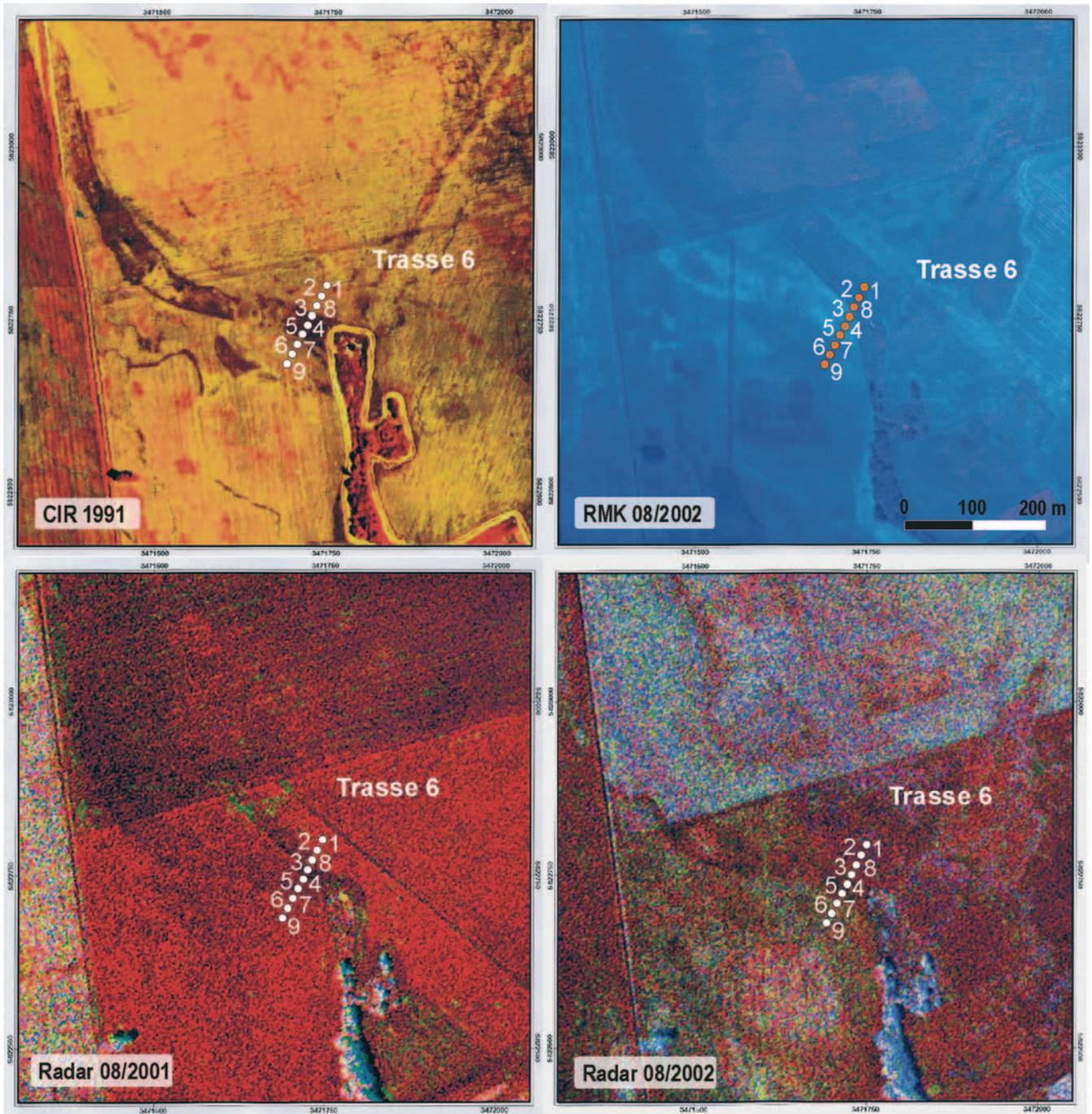


Abb. 7 Flussstruktur in Luftbildern im Testgebiet 6 (Falschfarben- und Radaraufnahmen) und Lage der Bohrtrasse
 Fig. 7 Meander structure on air photographs of test area 2 (colored infrared and radar) with position of cross section

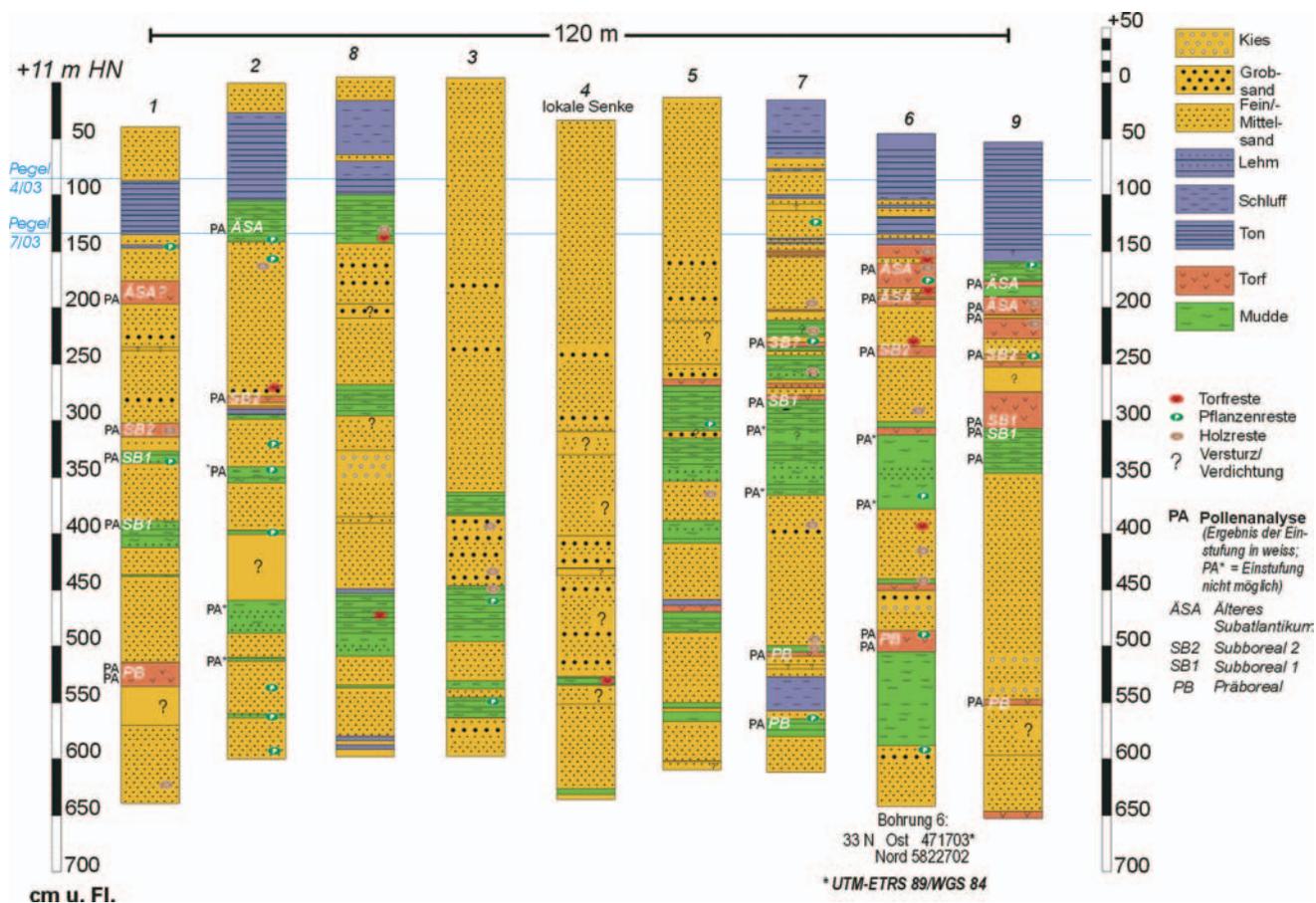


Abb. 8 Lithologie der Bohrtrasse 6
Fig. 8 Lithology of cross-section 6

de. Morphologisch erhebt sich diese im Radarbild deutlich abgebildete Struktur als Höhenrücken ca. 0,5 m über ihr Umland. Drei Bohrungen wurden auf der Struktur, drei nordöstlich und drei südwestlich davon in etwa gleichen Abständen platziert, dabei lag Bohrung 4 in einer kleinen lokalen Senke. Trotz des geringen Horizontalabstands der Bohrungen von nur ca. 12 bis 15 m zeigt der Schichtaufbau auch in diesem Abschnitt des Untersuchungsgebiets einen inhomogenen Aufbau mit einem häufigen Wechsel von Sand, Mudde und eingeschalteten Torflagen. Die Ergebnisse der pollenstratigraphischen Einstufung der limnisch-telmatischen Kurzprofile ist in Abbildung 7 ersichtlich.

Die Radaraufnahmen sind wiederum von unterschiedlicher Aussagekraft. Die Aufnahme 04/2001 zeigt aufgrund der hohen Bodenfeuchte zum Aufnahmezeitpunkt keine Strukturen. In der Aufnahme von 04/2002 sind dagegen vermehrt dunkle Bereiche sichtbar, die auf offene Wasserflächen hindeuten (beide nicht abgebildet). Tonige bis schluffige Substrate in Verbindung mit einem geringen Grundwasserflurabstand von 0,8 m verhinderten in diesen Gebieten über einem längeren Zeitraum das Schwinden der Staunässe. In Radarbild 08/2002 wird ein derartiger kreisrunder Bereich mit einem Durchmesser von ca. 150 m unmittelbar SW der Bohrtrasse durch hellere Farbwerte markiert. Für die Abgrenzung der sandigen fluvialen Strukturen lieferten vor allem die Sommerbefliegungen 08/2001 und 08/2002 auswertbare Ergebnisse. Der zentrale Abschnitt erscheint in diesen Radarbil-

dern besonders dunkel. Bei den Bohrungen 3, 4 und 5 wurde hier ein mächtiges Paket aus Fein- und Mittelsanden mit eingeschalteten Lagen von Grobsanden angetroffen. Es erreicht bei Bohrung 4 eine max. Mächtigkeit von 5 m. Außerhalb der Struktur dominieren oberflächennah bis zu 1 m mächtige Tone und Schluffe. Im nordöstlichen Abschnitt (Bohrungen 1, 2 und 8) werden diese von 0,3-0,5 m Sand bedeckt. Während die Sandüberdeckung auch in der Radaraufnahme 08/2002 abgebildet wird, zeigt Aufnahme 8/2001 bei Bohrung 1 und 2 helle Farbwerte, also eine höhere Reflexion an der 0,5 m tief liegenden Ton-/Schlufflage. Nur in diesem Radarbild wird eine Aufspaltung der sandigen Struktur in nordwestlicher Richtung sichtbar. Für diese Struktur liefert die RMK-Aufnahme von 8/2002 einen Hinweis, da hier eine Beackerungsgrenze verläuft. Zwischen 2001 und 2002 wurde entlang dieser Grenze außerdem eine starke Befahrung mit landwirtschaftlichem Gerät und eine oberflächennahe Sandanhäufung beobachtet.

6.3 Kienitz 7

Kienitz 7 befindet sich im Norden des Untersuchungsgebiets. Das Testareal wurde gewählt, weil sich in diesem Raum besonders breite Mäanderstrukturen auf den Radarbildern abzeichneten. Außerdem wurden in wenigen Kilometern Entfernung neben den holozänen Auensedimenten schon in geringer Teufe pleistozäne Sedimente erkundet, so dass im

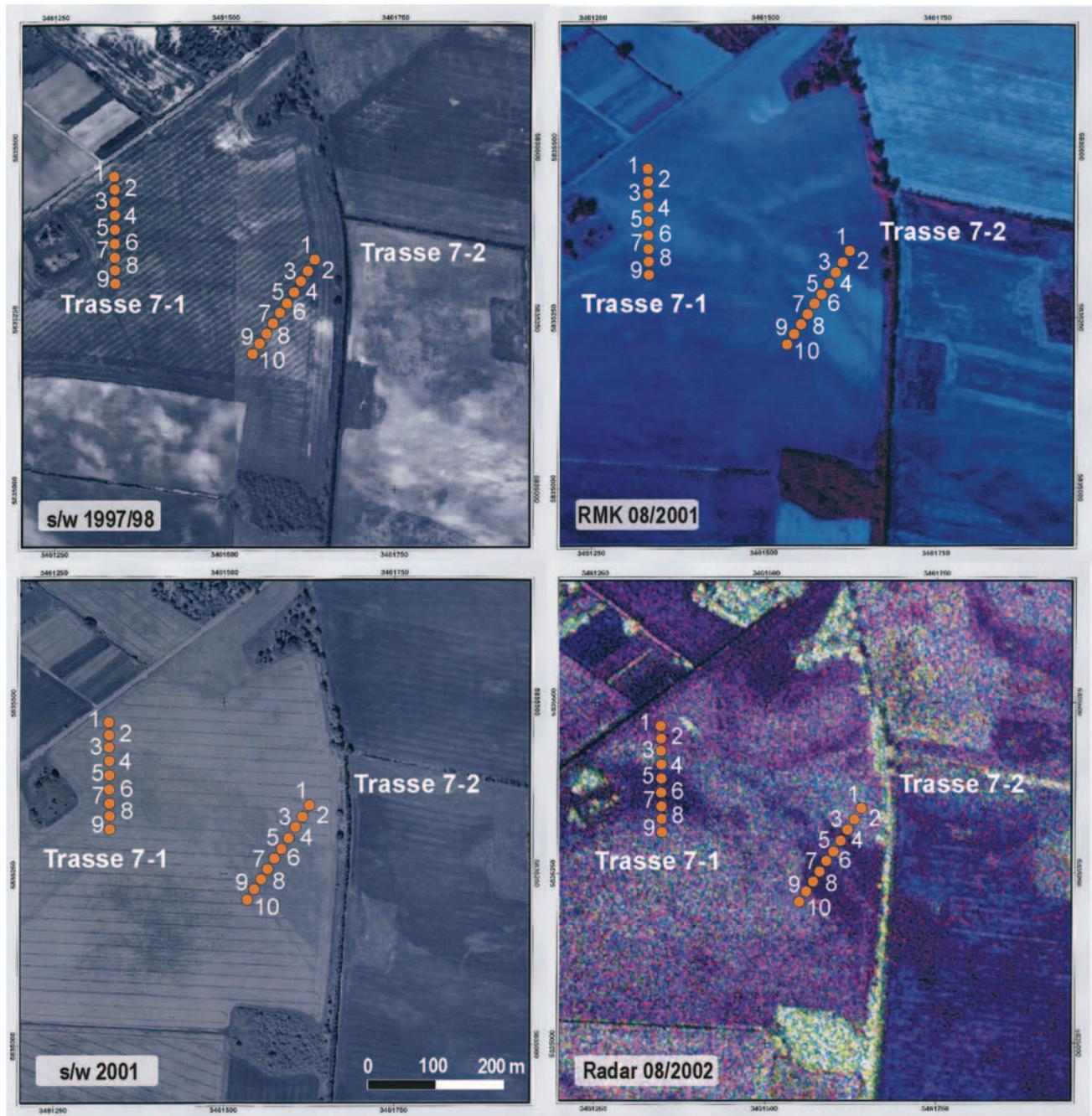


Abb. 9 Breite Flusstruktur in Luftbildern im Testgebiet 7 (Schwarz-Weiß-, Falschfarben- und Radaraufnahme) und Lage der Bohrtrassen

Fig. 9 Flat meander structure on air photographs of test area 7 (black and white, color infrared and radar), position of cross sections

Unterschied zu den bisherig abgebohrten Trassen hier nun auch ältere Sedimente erwartet werden konnten (deren Abbildung durch das E-SAR im bisherigen Gebiet aufgrund der Tiefenlage nicht möglich war). Es wurden zwei Bohrtrassen mit 9 bzw. 10 Bohrungen so angelegt, dass die 100-110 m breite fluviatile Struktur rechtwinklig geschnitten wurde. Wie aus der Profildarstellung der N-S-orientierten Trasse 7-1 hervorgeht, beherrschen Fein- und Mittelsande den ge-

samten Schichtaufbau. Vornehmlich in den Randbereichen des breiten Mäanders dominieren an der Oberfläche Schluffe mit einer Mächtigkeit von 0,3 bis 0,6 m. Im Gegensatz zu den bisherigen Beobachtungen, wonach die morphologisch höchsten Bereiche der Strukturen grundsätzlich aus sandigen Substraten aufgebaut waren, wurde gerade in den Bohrungen 7 und 8 bindiges Material an der Oberfläche ange-
 getroffen. Dies belegt anschaulich, dass der stratigraphische

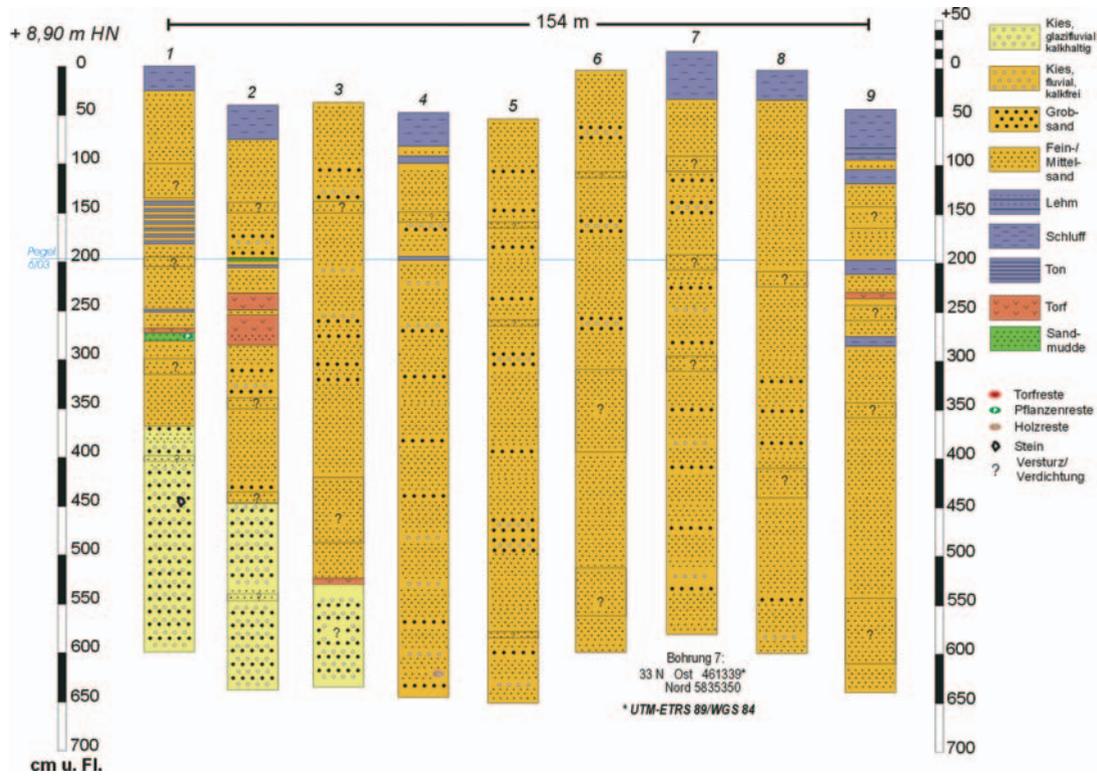
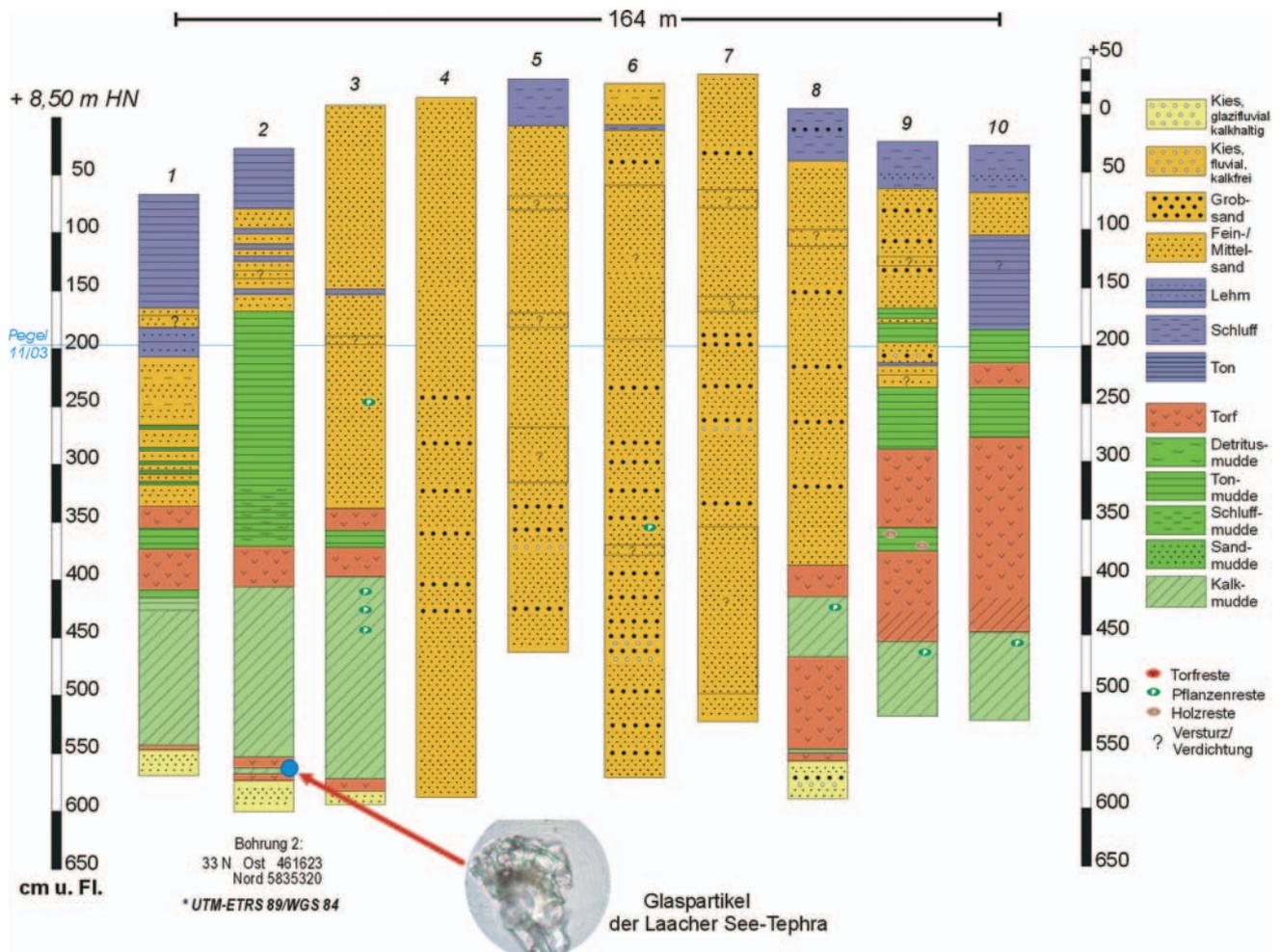


Abb. 10/11 Lithologie der Bohrtrassen 7-1 und 7-2

Fig.10/11 Lithology of cross-sections 7-1 and 7-2



Aufbau nicht grundsätzlich von der Morphologie des Geländes abgeleitet werden kann, wohl aber die sandigen und hoch liegenden trockenen Bereiche dunkel abgebildet werden, wie im Radarbild 8/2002 ersichtlich. Die Basis der holozänen Sande wurde in den Bohrungen 4-9 nicht erreicht. Dagegen konnte der in den Bohrungen 1-3 bis auf 3,7 m unter Flur aufsteigende pleistozäne Untergrund, bestehend aus kalkhaltigen glazifluvialen Sanden, Kiesen und Schottern, erfasst werden. Die Bohrungen 1, 2 und 3 liegen bereits im Bereich einer hauptsächlich in E-W Richtung verlaufenden dunklen Struktur, die sich nur in der Radaraufnahme 08/2002 deutlich vom umliegenden Gelände abhebt und im weiteren Verlauf nach ENE abbiegt. Die konventionellen Luftbilder liefern hier keine vergleichbaren Informationen. Wahrscheinlich deutet das Radarbild auf die im Untergrund ausgebildete pleistozäne Basis des Oderbruchs. Nur wenige 100 m weiter nördlich geben größere Geschiebe ebenfalls Hinweise auf die Nähe pleistozänen Materials zur rezenten Oberfläche. Bei einer 2,5 km NW bei Kienitz Nord niedergebrachten Rammkernsondierung (UTM ETRS 89/WGS 84: 33N 459474 Ost; 5837153 Nord) wurde, von Auensanden bedeckt, bereits zwischen 1,5 und 3,0 m u. Fl. ein stark kreidehaltiger Geschiebemergel erbohrt und beprobt. Nach seiner Zusammensetzung (TGL 25232) wird er als saalekaltzeitliche (Warthe-) Grundmoräne [qs(WA)] eingestuft (freundl. Mitteilung A. SONNTAG, 2003].

Die östlich liegende Trasse 7-2 erreicht erst in einer Teufe von 5,5 m glazifluviale Schichten. Im Hangenden wurde in mehreren Bohrungen eine mindestens 2 m mächtige spätglazial-holozäne Verlandungsserie nachgewiesen, bestehend aus Feindetrituskalkmudden und Torfen, deren Ablagerung nach pollenstratigraphischen Untersuchungen und durch die Anwesenheit des Laacher See Tuffs (STRAHL 2004) bereits mindestens im Alleröd einsetzte (Mikroskopaufnahme - Glaspartikel in Abb. 11). Die deutliche Zweiteilung der Struktur auf Höhe der Trasse 7-2 im Radarbild 08/2002 steht für eine höhere Reflektion der Radarsignale aufgrund der hier abgelagerten Schluffe.

Zusammenfassung

Zur Beurteilung der Datenqualität und der geologischen Aussagemöglichkeiten von Radardaten kamen E-SAR Falschfarbenkomposite (L_{VV} , L_{HH} , L_{HV}) zu vier verschiedenen Überfliegszeitpunkten (2 x Frühjahr, 2 x Sommer) aus einem Testgebiet des Oderbruchs zur Anwendung. Während der Datenaufzeichnungen lagen im Testgebiet insgesamt geringe Grundwasserflurabstände von 0,8 bis 1,5 m vor. Dennoch ließen sich die Radaraufnahmen mittels visueller Interpretation zur Kartierung von alten Flussläufen einsetzen. Dabei wurden die sandigen Substrate aufgrund der geringeren Rückstreuung (Textur, geringere Feuchtehaltefähigkeit) dunkel abgebildet, bindige Substrate, wie Lehm, Schluff und Ton dagegen hell.

Die Abbildung bindigen Substrats unter einer 0,5 m mächtigen Sanddecke belegt die Durchdringung des Radars (langwelliges L-Band) unter günstigen Bedingungen (geringe Niederschlagsmengen vor der Überfliegung) bis zu dieser Teufe.

Die im Radarbild auch unter Vegetation deutlich abgrenzbaren Mäanderstrukturen mit einer Breite von 30-50 m treten morphologisch häufig als 0,5 m hohe Wälle in Erscheinung. In ihren zentralen Bereichen wurden Sand-/Kiesmächtigkeiten von 3 bis 5 m festgestellt.

Flächenhaft vorhandene limnische und telmatische Sedimente (Mudden, Torfe) in einer Teufe von 1-2 m und einer Mächtigkeit von über einem Meter lassen sich nach den vorliegenden Radardaten nicht erkennen.

Da die Gewinnung von SAR-Daten nicht den starken Einschränkungen wie bei optischen Systemen unterworfen ist (z. B. Tageslicht, Wolkenbedeckung, Vegetationsbedeckung), sind SAR-Systeme störgrößenunabhängiger und in der Lage, beinahe ganzjährig auswertbare Informationen zu liefern. Voraussetzungen für eine hohe Datenqualität sind geringe Niederschläge vor den Datenaufzeichnungen sowie möglichst niedrige Grundwasserflurabstände. Nach den vorliegenden Befunden ist eine Nutzung der SAR-Daten auch im unmittelbaren Umfeld von Deichbauten einsetzbar. Durch die klare Abbildung von Bodenfeuchteunterschieden im Bereich von Deichen können Schwächezonen des Deichkörpers und darüber hinaus Substratunterschiede im näheren Deichumfeld erkannt werden.

Summary

The air based images (E-SAR coloured infrared composites L_{VV} , L_{HH} , L_{HV}) of four different times (2x spring, 2x summer) of the Oderbruch were evaluated concerning their quality and geological interpretation. During the surveying the small distance between the groundwater table and the surface in the test area was 0,8 to 1,5 m. Nevertheless, the mapping of old river courses by visual interpretation of the radar images was possible.

Due to the smaller backscattering of sandy parts (texture, less moisture retention) they gave a dark picture whereas loam, silt and clay were depicted brightly. The detection of cohesive substratum beneath a 0,5 m thick sand cover proves the radar penetration (long wavy L-band) until this depth under favorable conditions (low precipitations).

The clear distinguishable meander structures being visible in the radar image occur as flat embankment of 0,5 m height and 30 to 50 m width. Sand and gravel layers with a thickness of 3 to 5 m were determined in the central reaches of this embankments. However silt and peat layers with a thickness of more than 1 m in a depth of 1 to 2 m could not be detected.

SAR data are not, like optical systems submitted to restrictions as daylight, clouding, vegetation cover but can provide undisturbed interpretable information almost the whole season. Preconditions for a high data quality are small precipitations before the surveying and a low distance between the groundwater table and the surface. The gained evidences recommend a practical use of SAR data in the direct neighbourhood of dikes. Weak zones as well as differences of soil

moisture and substratum in dikes and around them can be clearly recognized.

Danksagung

Für die fachliche Durchsicht des Manuskriptes und die Übersetzung der Zusammenfassung danke ich Herrn Dr. H. U. Thieke, LBGR Kleinmachnow.

Literatur

- BRANDT, G. & C. RICHTER (1998): Geophysikalische Untersuchung der Beschaffenheit der Deichanlagen und geohydraulische Eigenschaften des Untergrundes. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **5**, 1, S. 43-49, Kleinmachnow
- BROSE, F. (1998): Genese holozäner Flussauen, dargestellt am Beispiel des unteren Odertales. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **5**, 1, S. 7-13, Kleinmachnow
- DIN, Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.) (1993): Erkundung und Untersuchung des Baugrunds: Normen. - DIN-Taschenbuch Nr. 113, 393 S., Berlin (Beuth)
- EHLE, N. & S. EICHHORN (1998): Demonstration einer Standsicherheitsuntersuchung am Oderdeich. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **5**, 1, S. 37-42, Kleinmachnow
- HAJNSEK, I. (1999): Pilotstudie Radarbefliegung der Elbaue - Endbericht zum Verbundvorhaben Morphodynamik der Elbe. - (FKZ 0339566), FU Berlin (unveröff.)
- KNOLL, P., HERBST, R. & J. PREUSS (1998): Methodische Fortschritte zur Untersuchung des Aufbaus und des Zustandes vorhandener Deichbauten. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **5**, 1, S. 51-57, Kleinmachnow
- KÜHN, F. & F. BROSE (1998): Die Auswertung von Fernerkundungsdaten zur Deichzustandseinschätzung. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **5**, 1, S. 59-63, Kleinmachnow
- MÜLLENHOFF, O. (2003): Evaluation of Multi-Frequency and Multi-Polarization Airborne SAR data for marsh land and River Dyke Analysis. - In: FRITSCH, D. (Hrsg.): Photogrammetric Week. - p. 197-203, Stuttgart
- MÜLLER, L., BEHRENDT, A. & U. SCHINDLER (2004): Strukturasspekte der Bodendecke und Bodeneigenschaften zweier Niederungsstandorte in Nordostdeutschland. - Archives of Agronomy and Soil Science, Vol. 50, 3, S. 289-307, Abingdon
- NIESCHE, H. & F. KRÜGER (1998): Das Oder-Hochwasser 1997 - Verlauf, Deichschäden und Deichverteidigung. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **5**, 1, S. 15-22, Kleinmachnow
- RECHTERN, J. (1998): Konstruktion und Bemessung von Hochwasserschutzdeichen. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **5**, 1, S. 31-36, Kleinmachnow
- SCHLAAK, N., KAHL, J. & J. STRAHL (2003): Sedimentologische und stratigraphische Befunde aus Uferwall und Aue: Beispiele zwischen Manschnow und Alt Tucheband. - In: Schroeder, J. H. & Brose, F. (Hrsg.): Oderbruch und Märkische Schweiz. - Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg Nr. 9, S. 71-78, Berlin
- SCHLAAK, N. & J. KAHL (2004): Sedimentbezogene Erkundung des Deichuntergrundes zur Integrativen Stabilitätsanalyse durch Angewandte Geologie und Remote Sensing mit SAR (SediSAR) – Pilotprojekt im Odergebiet bei Kietz. - Schlussbericht, BMBF, FKZ 50 EE 038, , 30 S, Kleinmachnow (unveröff.)
- SPIEGELBERG, K. (2001): Das Oderstromsystem. Kulturlandschaft in Mitteleuropa. - 256 S. Frankfurt (O) (n. o. - Agentur)
- STRAHL, J. (2004): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von 48 Proben aus Bohrungen des Transectes 6-1 (Neumanschnow) und 7-1 (Kienitz), Land Brandenburg. - LGRB, Kleinmachnow (unveröff.)
- WEICHEL, W. & R. GRIESBACH (1998): Beiträge der Fernerkundung zur Lösung von Umweltproblemen in der Oderregion. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **5**, 1, S. 23-30, Kleinmachnow

Anschrift des Autors:
 Dr. Norbert Schlaak
 Landesamt für Bergbau, Geologie
 und Rohstoffe
 Bereich Geologie
 Stahnsdorfer Damm 77
 14532 Kleinmachnow

Mitteilung aus dem Landesamt No. 193